

## **INCORPORAÇÃO DE PÓ DE TONER NA PRODUÇÃO DE PAVERS: ANÁLISE DO DESEMPENHO FÍSICO E SUSTENTÁVEL**

**Vinícius de Santi Phelippe Nunes<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente - SP, Brasil, [vinicius.santi@unesp.br](mailto:vinicius.santi@unesp.br).*

Resumo: Blocos de concreto intertravados, popularmente chamados de pavers, são elementos produzidos a partir da mistura de cimento, agregados graúdos e miúdos e água, em proporções previamente definidas. Com o avanço da construção sustentável, cresce o interesse em incorporar resíduos à sua composição, visando reduzir a extração de matérias-primas e mitigar impactos ambientais. Este estudo investigou a viabilidade do uso de resíduos de pó de toner — material de difícil reciclagem e potencialmente poluente — como substituto parcial da areia na produção de pavers. Foram confeccionados corpos de prova com traço 1:2:3 (cimento:areia:brita), substituindo a areia por 0%, 3% e 5% de resíduo. Os blocos foram submetidos a ensaios de resistência à compressão e absorção de água. Aos 28 dias de cura, os pavers com 0% e 3% de toner apresentaram resistência média de 39,87 MPa e 37,98 MPa, respectivamente, ambos acima do mínimo exigido pela NBR 9781/2013 (35 MPa). Portanto, conclui-se que a incorporação de 3% de resíduos de pó de toner é uma alternativa tecnicamente viável e ambientalmente benéfica para a fabricação de pavers, promovendo práticas mais sustentáveis na construção civil.

Palavras-chave: Engenharia. Paver. Sustentabilidade. Toner.

## **INCORPORATION OF TONER POWDER IN PAVER PRODUCTION: ANALYSIS OF PHYSICAL AND SUSTAINABLE PERFORMANCE**

**Vinícius de Santi Phelippe Nunes<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *São Paulo State University, Presidente Prudente - SP, Brazil, [vinicius.santi@unesp.br](mailto:vinicius.santi@unesp.br).*

Summary: Interlocking concrete blocks, commonly known as pavers, are elements produced from a mixture of cement, fine and coarse aggregates, and water, in previously defined proportions. With the advancement of sustainable construction, there is growing interest in incorporating waste materials into their composition, aiming to reduce the extraction of raw materials and mitigate environmental impacts. This study investigated the feasibility of using toner powder waste — a material that is difficult to recycle and potentially harmful to the environment — as a partial replacement for sand in paver production. Test specimens were prepared using a 1:2:3 mix ratio (cement:sand:gravel), with sand replaced by 0%, 3%, and 5% of toner waste. The blocks were subjected to compressive strength and water absorption tests. After 28 days of curing, the pavers containing 0% and 3% toner showed average compressive strengths of 39,87 MPa and 37,98, respectively, both exceeding the minimum requirement of 35 MPa established by NBR 9781/2013. Therefore, it is concluded that the incorporation of 3% toner powder waste is a technically feasible and environmentally beneficial alternative for paver manufacturing, promoting more sustainable practices in civil construction.

Key words: Engineering. Paver. Sustainability. Toner.

## INTRODUÇÃO

A crescente urbanização e industrialização têm gerado inúmeros desafios ambientais, especialmente no que diz respeito à gestão de resíduos sólidos (Mulder; Bremmer, 2005). O setor de equipamentos eletrônicos, como impressoras, por exemplo, contribui para a geração desses resíduos, principalmente devido ao descarte inadequado de cartuchos de toner (Parthasarathy, 2021). Estudos indicam que mais de 500 milhões de cartuchos de toner são descartados anualmente em aterros sanitários, e os resíduos de pó de toner, presentes nesses cartuchos, representam um perigo ambiental, uma vez que contêm partículas não degradáveis e potencialmente tóxicas (Fernández et al., 2022).

Diante desse problema, uma solução é a incorporação dos resíduos de pó de toner em outros setores, como a indústria da construção civil. Esta, por sua vez, é uma das maiores consumidoras de recursos naturais e geradoras de resíduos, o que torna urgente a busca por alternativas sustentáveis que reduzam seu impacto ambiental (Nascimento; Moraes; Lopes, 2022). O uso de materiais reciclados, como o pó de toner, na produção de blocos de concreto intertravados, conhecidos como pavers, pode não apenas contribuir para a diminuição do descarte inadequado de resíduos eletrônicos, mas também oferecer um novo material com características adequadas para a pavimentação urbana.

Ao alinhar dois setores importantes, o tecnológico e o da construção civil, promove-se o desenvolvimento de soluções ambientais sustentáveis. A crescente preocupação com a preservação do meio ambiente e a redução de resíduos sólidos, aliada à necessidade de inovações na construção civil, fortalece essa busca por alternativas viáveis. O reaproveitamento de resíduos de pó de toner pode representar uma economia de recursos, uma vez que esses materiais, antes descartados, passam a ser reutilizados em um novo contexto industrial. Assim, surge um processo que atenda os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, promovendo uma destinação mais adequada aos resíduos e diminuindo a extração de recursos naturais.

Portanto, busca-se avaliar a viabilidade técnica e ambiental do uso de resíduos de pó de toner na fabricação de pavers, analisando suas propriedades mecânicas e seu desempenho em comparação aos pavers convencionais, com o intuito de contribuir para a redução de resíduos sólidos e promover alternativas sustentáveis na construção civil.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Materiais**

#### **Cimento**

Para a realização desta pesquisa, foi utilizado o cimento CPV-ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial), da marca Votorantim Cimentos. A escolha desse cimento se deu, pois, o mesmo é utilizado em fábricas de artefatos de cimento e possui propriedades satisfatórias para confecção de peças pré-moldadas de concreto (Natalli et al., 2021).

#### **Resíduos de Pó de Toner**

Os resíduos de pó de toner utilizados neste estudo foram obtidos por meio de doações de empresas locais especializadas em manutenção de cartuchos e impressoras.

#### **Agregados**

Como agregado miúdo, utilizou-se areia média de origem natural, classificada como quartzosa, em conformidade com os limites da NBR 7211/2022 (Agregados para concreto – Requisitos). O agregado graúdo empregado foi a brita 0, também conhecida como pedrisco, com dimensão nominal de 9,5 mm, cuja granulometria também atende aos requisitos estabelecidos pela mesma norma.

#### **Água**

A água utilizada na fabricação do concreto foi proveniente do sistema de abastecimento público, fornecido pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). Por ser destinada ao consumo humano, enquadra-se nos padrões da NBR 15900-1:2009 (Água para amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos), sendo, portanto, adequada para o preparo do concreto (Garcia et al., 2023).

## Métodos

### Fluorescência de Raios-X

O ensaio de Fluorescência de Raios-X foi realizado para as amostras de cimento, areia, brita e resíduos de pó de toner. Para a realização do ensaio foi utilizado o equipamento Shimadzu, modelo XRF-700, com capacidade de varredura de Sódio (Na) a Escândio (Sc) e de Alumínio (Al) a Urânio (U).

### Fabricação dos Blocos

Os blocos intertravados foram produzidos por meio de moldagem mecânica. A partir do traço previamente definido, os materiais foram homogeneizados em betoneira e, em seguida, despejados em fôrmas de PVC. Para garantir a compactação adequada e evitar a formação de bolhas de ar, todas as fôrmas foram submetidas ao mesmo tempo de vibração em mesa vibratória. Após três dias de cura inicial, os blocos foram desenformados e armazenados em local coberto e ventilado, protegidos da exposição direta ao sol e à chuva, pelo período de cura estabelecido. Ao todo, foram fabricados 90 blocos, sendo 30 unidades para cada traço. Cada bloco apresenta dimensões de 20 cm de comprimento, 10 cm de largura e 6 cm de espessura.

### Determinação dos traços

Foi proposto como traço controle a proporção 1:2:3:0,67 (cimento CPV-ARI, areia média, brita 0, água). Além do controle, foram desenvolvidos mais dois traços, com 3 e 5% de resíduos de pó de toner substituindo a areia.

### Resistência à Compressão Mecânica

O ensaio de resistência à compressão mecânica foi feito de acordo com a NBR 9781/2013. Os blocos foram saturados em água a  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , por no mínimo 24h antes do ensaio. Em seguida, utilizando o equipamento EMIC CCE 1MN, foi aplicada uma carga uniforme de 550 N/s para o rompimento dos blocos.

O ensaio foi realizado com 7, 14, 28 e 90 dias de cura, com 6 blocos para cada traço em cada data de rompimento. A resistência à compressão (MPa) foi obtida dividindo-se a carga de ruptura (N), pela área do paver ( $\text{mm}^2$ ), multiplicando-se o resultado pelo fator p, em função da altura da peça (0,95), conforme exigido pela NBR 9781/2013.

### **Absorção de água**

A absorção de água foi determinada conforme a NBR 9781/2013 e usando a equação a seguir, onde, A = absorção de água em porcentagem (%); M1: massa seca em estufa (kg); M2: massa saturada (kg):

$$A = (M2 - M1) / (M1 * 100) \quad (1)$$

O ensaio foi realizado aos 21 e 28 dias de cura, utilizando-se três blocos de cada traço em cada período. Inicialmente, os blocos foram submersos em água por 24 horas, sendo a massa de cada um registrada ao final desse tempo. A pesagem foi repetida a cada 2 horas, até que duas medições consecutivas apresentassem variação inferior a 0,5% em relação à anterior, indicando estabilização da massa saturada. Em seguida, os corpos de prova foram levados à estufa a uma temperatura de  $(110 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ , onde permaneceram por 24 horas. Após esse período, os blocos foram pesados individualmente. A pesagem também foi repetida a cada 2 horas, seguindo o mesmo critério de estabilização para a determinação da massa seca.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Fluorescência de Raios-X**

A Tabela 1 apresenta os resultados do ensaio de Fluorescência de Raios-X para cada material utilizado na produção do paver: A análise dos materiais revelou que o cimento tem o óxido de cálcio (CaO) como principal componente. Além disso, o teor de gesso no cimento é expresso através do nível de trióxido sulfato ( $\text{SO}_3$ ), que controla o tempo de pega, garantindo uma trabalhabilidade adequada (Mohammed; Safiullah, 2018).

Nos agregados, a areia é predominantemente composta por SiO<sub>2</sub> (85,693%), atuando como material que proporciona resistência e retração a seco do concreto. A brita 0 também contém uma quantidade significativa de SiO<sub>2</sub> (55,983%), além de maiores teores de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (14,971) e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (14,629), contribuindo para a resistência à compressão dos pavers. Já o pó de toner é formado em maioria por Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (81,25%) e SiO<sub>2</sub> (14,76%).

**Tabela 1.** Fluorescência de Raios-X dos materiais

Cimento CP V		Pó de Toner		Areia Média		Brita 0	
CaO	67,949	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	81,249	SiO <sub>2</sub>	85,693	CaO	72,145
SiO <sub>2</sub>	17,593	SiO <sub>2</sub>	14,765	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,903	SiO <sub>2</sub>	17,072
SO <sub>3</sub>	5,306	SrO	1,11	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,049	SO <sub>3</sub>	5,802
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,375	SO <sub>3</sub>	1,089	TiO <sub>2</sub>	2,81	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,088
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,936	TiO <sub>2</sub>	0,796	K <sub>2</sub> O	1,309	K <sub>2</sub> O	1,213
K <sub>2</sub> O	1,234	CaO	0,522	CaO	0,664	TiO <sub>2</sub>	0,311
Outros	0,607	Outros	0,469	Outros	0,572	Outros	0,369

### Resistência a Compressão Mecânica

A resistência à compressão média dos pavers ao longo de quatro diferentes períodos de cura é mostrada na Tabela 2. De acordo com a NBR 9781/2013, os pavers devem atingir, aos 28 dias, no mínimo 35 MPa de resistência à compressão, e antes dos 28 dias, 80% desse valor, ou seja, 28 MPa.

**Tabela 2.** Resistência a Compressão

Blocos	Resistência a Compressão (MPa)			
	7 dias	14 dias	28 dias	90 dias
Com 0% de resíduo	29,82	30,39	39,87	40,06
Com 3% de resíduo	28,64	30,69	37,98	38,14
Com 5% de resíduo	22,77	24,44	25,89	32,12

Os únicos traços que conseguiram atingir o mínimo exigido pela NBR 9781/2013 foram os blocos controle (39,87 MPa) e os blocos com substituição de 3% de areia por resíduos de pó de toner (37,98MPa). O bloco com 5% de resíduo não conseguiu atingir a resistência mínima de 35 MPa aos 28 dias, apresentando valor de 25,89 MPa.

## Absorção de Água

A Tabela 3 mostra os valores de absorção de água para pavers com 21 e 28 dias de cura. Observa-se que o traço com 3% de resíduo apresentou os menores valores de absorção em ambos os períodos, abaixo do limite máximo de 6% exigido pela NBR 9781/2013.

**Tabela 3.** Absorção de Água

Blocos	Absorção de Água (%)	
	21 dias	28 dias
Com 0% de resíduo	5,51	4,87
Com 3% de resíduo	4,74	4,70
Com 5% de resíduo	5,20	5,17

O comportamento geral observado nos resultados de absorção de água pode ser explicado pela influência dos estearatos metálicos presentes no pó de toner. Esses compostos formam uma fina película de revestimento ao redor das partículas de ligação e dos vazios, contribuindo para a criação de uma matriz hidrofóbica (Shawnim; Mohammad, 2018).

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a incorporação de resíduos de pó de toner na produção de pavers é tecnicamente viável, desde que utilizada em proporções adequadas. Os blocos com 3% de substituição da areia por toner apresentaram resistência à compressão compatível com os requisitos estabelecidos pela NBR 9781/2013, além de atenderem aos limites normativos de absorção de água. Esses dados indicam que a adição controlada do resíduo não compromete o desempenho mecânico dos blocos, configurando-se como uma alternativa sustentável para a fabricação de pavers e contribuindo para a redução do impacto ambiental na construção civil.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15900-1 - Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro - RJ, Brasil. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9781 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro - RJ, Brasil. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7211 - Agregados para concreto – Requisitos. Rio de Janeiro - RJ, Brasil. 2022.

FERNÁNDEZ, Begoña *et al.* Recycling of Waste Toner Powder as Adsorbent to Remove Aqueous Heavy Metals. *Materials*, v. 15, n. 12, 1 jun. 2022.

GARCIA, André Luiz Capela *et al.* A Viabilidade Técnica Da Utilização De Águas Pluviais Para Fabricação De Concreto Usinado. *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*, v. 23, n. 1, 2023.

MOHAMMED, Siline; SAFIULLAH, Omary. Optimization of the SO<sub>3</sub> content of an Algerian Portland cement: Study on the effect of various amounts of gypsum on cement properties. *Construction and Building Materials*, v. 164, p. 362–370, 10 mar. 2018.

MULDER, Ed de; BREMMER, Chris. Urbanization, Industrialization, and Mining. *In: The Physical Geography of Western Europe*. Oxford University Press, 2005.

NASCIMENTO, Emilli Rodrigues do; MORAIS, Denilson Pedro Ferreira de; LOPES, Shara Carvalho. Sustentabilidade na construção civil no Brasil: Uma revisão da literatura. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 14, p. e524111436611, 5 nov. 2022.

NATALLI, Juliana Fadini *et al.* A review on the evolution of Portland cement and chemical admixtures in Brazil. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 14, n. 6, 2021.

PARTHASARATHY, Meera. Challenges and emerging trends in toner waste recycling: A review. *RecyclingMDPI*. 1 set. 2021.

SHAWNIM, P. A.; MOHAMMAD, F. Toner Used In The Development Of Foamed Concrete For Structural Use *Journal of Civil Engineering*. 2018.