

## RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 16/09/2027.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
“Júlio de Mesquita Filho”  
Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais – POSMAT

Vinícius de Santi Phelippe Nunes

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE *PAVERS* UTILIZANDO  
RESÍDUOS DE PÓ DE TONER

PRESIDENTE PRUDENTE

2025

**Vinícius de Santi Phelippe Nunes**

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE *PAVERS* UTILIZANDO  
RESÍDUOS DE PÓ DE TONER**

Dissertação apresentada como requisito à obtenção do título de Mestre à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, área de concentração Caracterização de Materiais, sob a orientação do Prof. Dr. Silvio Rainho Teixeira e coorientação da Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rebeca Delatore Simões.

**PRESIDENTE PRUDENTE**

2025

Nunes, Vinícius de Santi Phelippe.

Desenvolvimento e Caracterização Física de *Pavers* Utilizando Resíduos de Pó de Toner / Vinícius de Santi Phelippe Nunes. – Presidente Prudente, 2025  
153 f. : tabs, fotos.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual  
Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente  
Orientador: Silvio Rainho Teixeira  
Coorientadora: Rebeca Delatore Simões

1. *Paver*. 2. Resíduos de Pó de Toner. 3. Concreto. 4. Pavimentos. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. II. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE VINÍCIUS DE SANTI PHELIPPE NUNES, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, DA FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CÂMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE.**

Aos 16 dias do mês de setembro do ano de 2025, às 14h, por meio de Videoconferência,

realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de VINÍCIUS DE SANTI PHELIPPE NUNES, intitulada **Desenvolvimento e Caracterização Física de Pavers Utilizando Resíduos de Pó de Toner.**, sob orientação do Prof. Dr. Silvio Rainho Teixeira. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. SILVIO RAINHO TEIXEIRA (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Física Química e Biologia / Faculdade de Ciências e Tecnologia UNESP, Profa. Dra. RÚBIA MARA BOSSE (Participação Virtual) do(a) : Engenharia Civil / UTFPR Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Prof. Dr. LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia de Tupã - UNESP. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final **APROVADO**. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Documento assinado digitalmente



SILVIO RAINHO TEIXEIRA  
Data: 17/09/2025 10:11:42-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. SILVIO RAINHO TEIXEIRA

Dedico este trabalho aos meus pais, minhas irmãs e aos meus avós, por serem o alicerce de toda a minha jornada.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por tornar possível a realização deste trabalho. A minha família sem a qual jamais conseguiria estar aqui hoje. Especialmente meu pai Edmilson, pela ideia de tema do projeto, e minha mãe Francine, por não medir esforços para estar sempre ao meu lado. As minhas irmãs, Giovana e Bruna, que sempre me deram o suporte necessário.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Silvio Rainho Teixeira, e minha Coorientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rebeca Delatore Simões, por todo auxílio prestado durante esses anos.

A minha psicóloga Thainara Ankudovicius Bressan, por todos os conselhos. Sem seu acolhimento, jamais teria continuado esse trabalho.

Ao Uenderval Savoldi, da empresa Lajes Horizonte, que gentilmente disponibilizou seus materiais, equipamentos e funcionários para a confecção dos corpos de prova.

Ao Prof. Elton dos Reis, da Toledo Prudente Centro Universitário, por me disponibilizar os contatos para o uso do Laboratório de Materiais de Construção, e a laboratorista Thaoane, por me ajudar a realizar todos os ensaios de resistência a compressão, mesmo sem ser sua obrigação.

Ao Prof. Fernando Sérgio Okimoto, por disponibilizar os laboratórios do Centro de Pesquisa e Extensão em Tecnologias Sustentáveis para o desenvolvimento de ensaios nos materiais, e ao laboratorista Anderson, por me auxiliar durante a realização dos mesmos.

Ao Prof. Felipe André dos Santos, da FCE/UNESP, por disponibilizar o equipamento multiusuário para realizar as medidas de absorção atômica.

Ao Prof. Aldo Eloizo Job, pelos ensinamentos ao longo do mestrado.

Aos colegas Vitor e Alessandra, que me ajudaram no desenvolvimento da pesquisa. Sem seus conhecimentos, a realização destas etapas não seria possível.

“Eu não chuto. Como cientista eu chego a conclusões baseadas em observação e experimentação.” (Sheldon Cooper, 2007).

NUNES, V. S. P. **Desenvolvimento e Caracterização Física de *Pavers* Utilizando Resíduos de Pó de Toner**. 2025. 153f. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Unesp, Faculdade de Ciência e Tecnologia de Presidente Prudente, 2025.

## RESUMO

Blocos de concreto intertravados, também conhecidos como *pavers*, são produzidos através da mistura de cimento, agregados graúdos e miúdos e água, em proporções de massa previamente estabelecidas. Devido às propriedades físico-mecânicas favoráveis, diversos estudos têm buscado a incorporação de novos materiais à composição de *pavers*, promovendo a sustentabilidade, dando um novo destino a certos resíduos e reduzindo a extração de matérias-primas. Este trabalho fabricou e avaliou *pavers* produzidos com diferentes porcentagens de resíduos de pó de toner, que são materiais de difícil reciclagem e, quando descartados inadequadamente, prejudiciais ao meio ambiente. Através do processo de fabricação artesanal, corpos de prova foram produzidos utilizando o traço 1:2:3 (cimento, areia, brita), com substituições de 1, 2, 3, 4, 5 e 7% de areia por resíduos. Os agregados foram caracterizados por ensaios de Massa Específica, Massa Unitária e Granulometria. Os resíduos foram analisados por Difração de Raios X, Densidade e Análise Térmica. Para os corpos de prova curados foram realizados ensaios de Resistência à Compressão Mecânica, Absorção de Água, Lixiviação, FRX, Microscopia Óptica e FTIR. Como resultado, aos 28 dias de cura, os *pavers* com 0% e 3% de resíduos de pó de toner apresentaram resistência a compressão média ( $f_{pk}$ ) de 39,59 e 35,41 MPa, respectivamente. Os traços com 1%, 2%, 4%, 5% e 7% não atingiram a resistência mínima de 35 MPa exigidos pela NBR 9781/2013. Para absorção de água, o traço com 3% apresentou o menor valor (4,23%) em relação aos outros traços. Observou-se que a substituição parcial da areia por pó de toner influenciou diretamente o comportamento mecânico dos *pavers*. Dos seis traços produzidos com a inserção do resíduo, cinco apresentaram desempenho inferior ao traço controle. Apenas o traço com 3% de substituição mostrou resultados positivos. A presença de componentes como  $Fe_2O_3$  e  $SiO_2$ , aliada ao comportamento hidrofóbico e ao pequeno tamanho das partículas do pó de toner (cerca de 10  $\mu m$ ), contribuiu para a redução da porosidade dos *pavers*, resultando em menor absorção de água e maior resistência à compressão. Assim, a utilização de 3% de resíduos de pó de toner é uma opção viável para a produção de *pavers*, promovendo a sustentabilidade na construção civil.

Palavras-chave: concreto; materiais; *paver*; pó de toner; resíduos.

NUNES, V. S. P. **Development and Physical Characterization of Pavers Using Toner Powder Waste**. 2025. 153p. Dissertation (Master in Materials Science and Technology) – Unesp, University of Science and Technology of Presidente Prudente, 2025.

## ABSTRACT

Interlocking concrete blocks, also known as pavers, are produced by mixing cement, coarse and fine aggregates and water in previously established mass proportions. Due to their favorable physical and mechanical properties, several studies have sought to incorporate new materials into the composition of pavers, promoting sustainability, giving a new destination to certain waste and reducing the extraction of raw materials. This study manufactured and evaluated pavers produced with different percentages of toner powder waste, which are materials that are difficult to recycle and, when disposed of improperly, are harmful to the environment. Through the artisanal manufacturing process, test specimens were produced using the 1:2:3 ratio (cement, sand, gravel), with replacements of 1, 2, 3, 4, 5 and 7% of sand by waste. The aggregates were characterized by Specific Mass, Unit Mass and Granulometry tests. The waste was analyzed by X-ray Diffraction, Density and Thermal Analysis. Mechanical Compression Strength, Water Absorption, Leaching, XRF, Optical Microscopy and FTIR tests were performed on the cured specimens. As a result, after 28 days of curing, the pavers with 0% and 3% toner powder residues showed average compressive strength (f<sub>pk</sub>) of 39.59 and 35.41 MPa, respectively. The mixes with 1%, 2%, 4%, 5% and 7% did not reach the minimum resistance of 35 MPa required by NBR 9781/2013. For water absorption, the mix with 3% presented the lowest value (4.23%) in relation to the other mixes. It was observed that the partial replacement of sand by toner powder directly influenced the mechanical behavior of the pavers. Of the six mixes produced with the insertion of the residue, five presented inferior performance to the control mix. Only the mix with 3% replacement showed positive results. The presence of components such as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub>, combined with the hydrophobic behavior and small particle size of the toner powder (approximately 10 µm), contributed to reducing the porosity of the pavers, resulting in lower water absorption and greater compressive strength. Thus, the use of 3% toner powder waste is a viable option for the production of pavers, promoting sustainability in civil construction.

Keywords: concrete; materials; paver; toner powder; waste

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) da ONU .....	21
Figura 2 – Estrutura química do negro de fumo .....	30
Figura 3 – Coleta de resíduos sólidos de construção por regiões em 2021 .....	37
Figura 4 – Estrutura de pavimentos intertravados .....	40
Figura 5 – Distribuição de cargas de pavimentos intertravados .....	41
Figura 6 – Tipologia de <i>pavers</i> .....	43
Figura 7 – Principais arranjos de <i>pavers</i> .....	44
Figura 8 – Aspectos gerais de <i>pavers</i> .....	48
Figura 9 – Curva granulométrica da areia média .....	68
Figura 10 – Curva granulométrica da brita 0 .....	69
Figura 11 – Ensaio de densidade do resíduo de pó de toner .....	71
Figura 12 – Difração de raios X .....	72
Figura 13 – Calorimetria exploratória diferencial (DSC) – Resíduo de pó de toner .....	74
Figura 14 – Análise termogravimétrica (TG) – Resíduo de pó de toner .....	74
Figura 15 – Slump test – Traço controle .....	78
Figura 16 – Processo de fabricação dos <i>pavers</i> com resíduo de pó de toner .....	80
Figura 17 – <i>Pavers</i> com resíduo de pó de toner alinhados em espinha de peixe .....	81
Figura 18 – (a) Ensaio de compressão mecânica em T0 saturado; (b) Corpo de prova T2 após o ensaio de compressão mecânica .....	82
Figura 19 – Resistência à compressão ( $f_{pk}$ ) do 1º lote .....	83
Figura 20 – Resistência à compressão ( $f_{pk}$ ) do 2º lote .....	85
Figura 21 – Resistência à compressão ( $f_{pk}$ ) final .....	86
Figura 22 – Absorção de água .....	88
Figura 23 – Densidade aparente seca .....	90
Figura 24 – Espectros vibracionais de absorção no infravermelho para as amostras de resíduo de pó de toner .....	93
Figura 25 – Espectros vibracionais de absorção no infravermelho para as amostras de cimento .....	94
Figura 26 – Espectros vibracionais de absorção no infravermelho para as amostras do agregado miúdo (areia média) .....	94
Figura 27 – Espectros vibracionais de absorção no infravermelho para as amostras do agregado graúdo (brita 0) .....	95

Figura 28 – Espectros vibracionais de absorção no infravermelho coletados para cada traço após 28 dias de cura.....	97
Figura 29 – MO digital da face externa das amostras com ampliação de 10 vezes .....	98
Figura 30 – MO digital interna das amostras com ampliação de 10 vezes .....	100
Figura 31 – Espectros vibracionais de absorção no infravermelho das amostras lixiviadas .....	103
Figura 32 – Microscopia eletrônica de varredura do pó de toner .....	105
Figura 33 – Microscopia eletrônica de varredura da face interna .....	105
Figura 34 – Microscopia eletrônica de varredura da face interna – Região 1 .....	107
Figura 35 – Microscopia eletrônica de varredura da face interna – Região 2 .....	109
Figura 36 – Simulação visual de <i>pavers</i> em pavimento para calçadas representados pelos traços: (a) T0; (b) T3; e (c) T6 .....	113
Figura 37 – Simulação visual de <i>pavers</i> em pavimento para casas representados pelos traços: (a) T0; (b) T3; e (c) T6 .....	114
Figura 38 – Simulação visual de <i>pavers</i> em pavimento para parques representados pelos traços: (a) T0; (b) T3; e (c) T6 .....	115
Figura 39 – Simulação visual de <i>pavers</i> em pavimento para ruas representados pelos traços: (a) T0; (b) T3; e (c) T6 .....	116

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistência à compressão ( $f_{pk}$ ) exigida para <i>pavers</i> .....	47
Tabela 2 – Critérios para resistência à abrasão.....	48
Tabela 3 – Caracterização do cimento CP V-ARI .....	55
Tabela 4 – Caracterização física dos agregados miúdo e graúdo .....	66
Tabela 5 – Granulometria dos agregados – Areia e Brita.....	67
Tabela 6 – Densidade do resíduo de pó de toner .....	72
Tabela 7 – Fluorescência de raios X dos materiais (%).....	75
Tabela 8 –Traços com resíduo de pó de toner .....	77
Tabela 9 – Traço final – T0.....	79
Tabela 10 – Slump test.....	79
Tabela 11 – Resistência à compressão ( $f_{pk}$ ) do 1º lote em MPa (média $\pm$ dp).....	83
Tabela 12 – Resistência à compressão ( $f_{pk}$ ) do 2º lote em MPa (média $\pm$ dp).....	85
Tabela 13 – Resistência à compressão ( $f_{pk}$ ) final em MPa (média $\pm$ dp).....	86
Tabela 14 – Valores da absorção de água em % (média $\pm$ dp) .....	88
Tabela 15 – Resultados da densidade aparente seca ( $\text{kg/m}^3$ ) (média $\pm$ dp) .....	90
Tabela 16 – Fluorescência de raios X dos principais traços (%).....	92
Tabela 17 – Comparação entre os principais modos vibracionais encontrados nos espectros obtidos para o resíduo de pó de toner, cimento, areia média e brita 0.....	95
Tabela 18 – Comparação entre os principais modos vibracionais encontrados nos espectros obtidos para os traços T0 a T6 .....	97
Tabela 19 – Composição financeira T0 .....	111
Tabela 20 – Composição financeira T3 .....	111

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de Resíduos Sólidos pela NBR 10004/2004 .....	23
Quadro 2 – Classificação de Resíduos Sólidos pela Anvisa.....	24
Quadro 3 – Classificação de Resíduos Sólidos pela Política Nacional de Resíduos Sólidos...	25
Quadro 4 – Classificação dos Resíduos de Construção e Demolição pelo CONAMA.....	37
Quadro 5 – Classificação de pavimentos.....	39
Quadro 6 – Tipos de Intertravamentos .....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
a.C.	Antes de Cristo
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
Anvisa	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
Art.	Artigo
ATR-FTIR	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier
IARC	Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer
CePETes	Centro de Pesquisa e Extensão em Tecnologias Sustentáveis
cm	Centímetro
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPV-ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
°C	Graus Celsius
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
EDS	Espectroscopia por Energia Dispersiva
FCT	Faculdade de Ciências e Tecnologia
FRX	Fluorescência de Raios X
Fpk	Resistência característica do concreto à compressão
g	Gramas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Kg	Quilograma
LaCOM	Laboratório de Catálise Organometálica e Materiais
LBS	Laboratório de Biosistemas
LCGRS	Laboratório de Caracterização e Gestão de Resíduos Sólidos
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
Mw	Milivatts
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
mg/m <sup>3</sup>	Miligrama por metro cúbico
ml	Mililitro

MO	Microscopia Óptica
MPa	Megapascal
Mm	Micrômetro
NBR	Norma Brasileira
N/s	Newton por segundo
Nº	Número
N	Newton
ONU	Nações Unidas
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
pH	Potencial hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PET	Politereftalato de etileno
R\$	Real (moeda brasileira)
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
TGA	Análises Termogravimétricas
UNESP	Universidade Estadual Paulista
XIX	Número romano 19
XX	Número romano 20
XXI	Número romano 21
%	Porcentagem
≤	Menor ou igual
≥	Maior ou igual
±	Mais ou menos
°/min	Graus por minuto

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1 Justificativa .....	18
1.2 Estrutura do Trabalho.....	18
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>19</b>
2.1 Objetivo Geral .....	19
2.2 Objetivos Específicos .....	19
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>20</b>
3.1 Impactos do Desenvolvimento .....	20
3.2 Definição e Classificação de Resíduos Sólidos.....	21
3.2.1 Definição de Resíduos Sólidos .....	21
3.2.2 Classificação de Resíduos Sólidos.....	22
3.2.2.1 Classificação da Associação Brasileira de Normas Técnicas.....	22
3.2.2.2 Classificação da Anvisa.....	23
3.2.2.3 Classificação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010).....	25
3.3 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil.....	27
3.4 Pó de Toner.....	28
3.4.1 Composição .....	29
3.4.2 Descarte e Reciclagem.....	30
3.4.3 Meio Ambiente e Saúde .....	31
3.4.4 Manuseio e armazenamento.....	33
3.4.5 Utilização em outras indústrias.....	33
3.5 Construção Civil.....	34
3.5.1 Impacto Econômico .....	34
3.5.2 Consumo de matéria prima na Construção Civil .....	35
3.5.3 Sustentabilidade na Construção Civil .....	35
3.5.3.1 Resíduos Sólidos na Construção Civil .....	36
3.5.3.2 Reciclagem de Resíduos Sólidos na Construção Civil.....	37
3.6 Pavimentos Urbanos .....	38
3.6.1 Pavimentos de vias públicas .....	38
3.6.2 Pavimentos intertravados - Conceito Histórico .....	39
3.6.3 Conceito Estrutural .....	40
3.6.4 Definições .....	42

3.6.4.1	Tipologias .....	42
3.6.4.2	Dimensões .....	43
3.6.4.3	Arranjos .....	44
3.6.5	Intertravamento dos <i>pavers</i> .....	45
3.6.6	Materiais dos blocos intertravados .....	45
3.6.7	Vantagens da utilização de <i>pavers</i> .....	46
3.6.8	Normas Brasileiras para Peças de Concreto para Pavimentação .....	47
3.6.8.1	Inspeção Visual e Dimensional .....	48
3.6.9	Processo de Fabricação .....	49
3.6.9.1	Processo de Moldagem Mecânico.....	49
3.6.9.2	Processo de Moldagem Artesanal .....	49
3.6.10	Dosagem dos Blocos para Pavimento Intertravado .....	49
3.6.11	Assentamento de <i>Pavers</i> .....	50
3.6.12	Patologias.....	51
3.6.13	<i>Pavers</i> com Adição de Resíduos.....	52
<b>4.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>54</b>
4.1	Metodologia.....	54
4.2	Matérias-primas .....	54
4.2.1	Cimento.....	54
4.2.2	Agregados .....	55
4.2.3	Resíduos de Pó de Toner.....	55
4.2.4	Água.....	56
4.3	Métodos .....	56
4.3.1	Primeira Etapa: Caracterização das matérias-primas.....	56
4.3.1.1	Ensaio Físicos .....	56
4.3.1.2	Difração de Raios X.....	56
4.3.1.3	Análise Térmica.....	57
4.3.1.4	Fluorescência de Raios X (FRX) dos materiais .....	57
4.3.2	Segunda Etapa: Definição do traço e fabricação dos blocos .....	58
4.3.2.1	Determinação da consistência do concreto .....	58
4.3.2.2	Fabricação dos corpos de prova .....	58
4.3.3	Terceira Etapa: Caracterização Estrutural dos Traços.....	59
4.3.3.1	Resistência a Compressão Mecânica.....	59
4.3.3.2	Absorção de Água .....	60

4.3.3.3 Densidade Aparente Seca .....	60
4.3.3.4 Fluorescência de Raios X (FRX) dos <i>pavers</i> .....	61
4.3.3.5 Espectroscopia Vibracional de Absorção no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).....	61
4.3.3.6 Microscopia Óptica (MO) .....	61
4.3.3.7 Ensaio de Lixiviação .....	62
4.3.3.7.1 Digestão Ácida das Amostras Lixiviadas .....	62
4.3.3.7.2 Espectrometria de Absorção Atômica.....	63
4.3.3.8 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	63
4.3.4 Quarta Etapa: Estudo de aplicação visual e comparativo financeiro .....	64
4.3.4.1 Comparativo financeiro .....	64
4.3.4.2 Simulação Visual.....	65
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>66</b>
5.1 Primeira Etapa: Caracterização das matérias-primas .....	66
5.1.1 Ensaio Físicos dos Materiais Agregados .....	66
5.1.2 Caracterização do Resíduo de Pó de Toner.....	70
5.1.3 Difração de Raios X (DRX).....	72
5.1.4 Análise Térmica .....	73
5.1.5 Fluorescência de Raios X dos materiais .....	75
5.2 Segunda Etapa: Definição do traço e fabricação dos blocos .....	76
5.2.1 Determinação do traço .....	76
5.2.2 Determinação dos Traços com resíduos de pó de toner .....	77
5.2.3 Determinação da consistência do concreto .....	78
5.2.4 Fabricação dos lotes.....	79
5.3 Terceira Etapa: Caracterização estrutural dos traços .....	82
5.3.1 Resistência a Compressão Mecânica .....	82
5.3.1.1 Resistência a Compressão Mecânica do Primeiro Lote .....	82
5.3.1.2 Resistência a Compressão Mecânica do 2º Lote .....	84
5.3.1.3 Resistência a Compressão Mecânica Final .....	86
5.3.2 Absorção de Água .....	88
5.3.3 Densidade Aparente Seca.....	90
5.3.4 Fluorescência de Raios X dos <i>pavers</i> .....	91
5.3.5 Espectroscopia Vibracional de Absorção no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) .....	92

5.3.6 Microscopia Óptica (MO).....	98
5.3.7 Ensaio de Lixiviação.....	101
5.3.7.1 Espectroscopia Vibracional de Absorção no Infravermelho por Transformada de Fourier (ATR-FTIR).....	102
5.3.7.2 Espectrometria de Absorção Atômica .....	104
5.3.8 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) .....	104
5.4 Quarta Etapa: Estudo de aplicação visual e comparativo financeiro.....	111
5.4.1 Comparativo Financeiro .....	111
5.4.2 Simulação Visual .....	112
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>117</b>
<b>7. PERSPECTIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>119</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>130</b>
ANEXO A – Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010, Art. 20 .....	130
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>131</b>
APÊNDICE A – Resultados da Granulometria dos Agregados.....	131
APÊNDICE B – Resultados de Compressão de 7 Dias do Primeiro Lote .....	132
APÊNDICE C – Resultados de Compressão de 14 Dias do Primeiro Lote .....	134
APÊNDICE D – Resultados de Compressão de 28 Dias do Primeiro Lote .....	136
APÊNDICE E – Resultados de Compressão de 90 Dias do Primeiro Lote .....	138
APÊNDICE F – Resultados de Compressão de 7 Dias do Segundo Lote.....	140
APÊNDICE G – Resultados de Compressão de 14 Dias do Segundo Lote .....	141
APÊNDICE H – Resultados de Compressão de 21 Dias do Segundo Lote .....	142
APÊNDICE I – Resultados de Compressão de 28 Dias do Segundo Lote .....	143
APÊNDICE J – Resultados de Compressão de 90 Dias do Segundo Lote .....	144
APÊNDICE K – Resultados Individuais de Absorção de Água (21 Dias).....	145
APÊNDICE L – Resultados Individuais de Absorção de Água (28 Dias) .....	147
APÊNDICE M – Resultados Individuais de Absorção de Água (90 Dias).....	149

## 1. INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional, associado ao desenvolvimento econômico, tem contribuído para gerar uma instabilidade ambiental, sobretudo pela ausência de um planejamento adequado para a gestão dos resíduos provenientes dos processos industriais.

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). Levantamentos 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; Morais; Lopes, 2022).

O uso de resíduos, como o pó de toner, na produção de blocos de concreto intertravados, conhecidos como *pavers*, pode não apenas surgir como uma ideia que contribua 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 incorretamente em aterros, passam a ser reutilizados em um novo contexto industrial. Assim, surge um processo que atenda os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, mais especificamente ao ODS “Indústria, Inovação e Infraestrutura”; “Cidades e Comunidades Sustentáveis”; e “Consumo e Produção Responsáveis”, promovendo uma destinação mais adequada aos resíduos e diminuindo a extração de recursos naturais.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo investigar a viabilidade técnica e econômica da incorporação de resíduos de pó de toner na fabricação de *pavers*. Para isso, foram estabelecidos objetivos específicos que abrangem a caracterização

física e química dos materiais utilizados, o desenvolvimento de composições com diferentes teores de resíduo, além da avaliação do desempenho mecânico e do custo dos blocos produzidos. Unindo a gestão sustentável de resíduos com soluções inovadoras para a engenharia civil, busca-se contribuir para a diminuição dos impactos ambientais e promover práticas sustentáveis para a indústria da construção.

## 1.1 Justificativa

A justificativa para a escolha deste projeto de pesquisa vem, primeiro da possibilidade de proporcionar uma destinação adequada aos resíduos de pó de toner e evitar que poluam o meio ambiente e, em segundo, a redução da utilização de recursos não renováveis, como a areia.

Sendo assim, analisando o volume de insumos necessários para a confecção de *pavers*, nota-se a importância de se economizar materiais finitos (agregados naturais), substituindo-os por novos resíduos (industriais e urbanos) que se adequem à matriz do concreto.

Desta forma, neste trabalho, substituiu-se parcialmente a areia por resíduos de pó de toner sem nenhum tratamento prévio na matriz cimentícia, visando a reutilização do resíduo sem que o concreto sofra perdas significativas em suas propriedades mecânicas e físicas.

## 1.2 Estrutura do Trabalho

Para melhor compreensão dos resultados, o presente trabalho está estruturado nas seguintes partes:

- Revisão Literária, que aborda a definição e gestão de resíduos sólidos; políticas públicas; especificações do pó de toner; impacto da construção civil; e as propriedades de blocos de concreto intertravados;
- Materiais e Métodos, tópico que informa os materiais utilizados na pesquisa, além dos métodos, permitindo a reprodução por outros autores;
- Resultados e Discussões, onde são apresentados os dados obtidos para cada análise realizada. Neste tópico haverá a discussão e a comparação dos resultados com os dados encontrados na literatura;
- Conclusão, como último capítulo, em que são apresentadas as conclusões sobre os ensaios e o direcionamento de aplicação do material elaborado.

## 6. CONCLUSÃO

Durante a pesquisa foi realizada uma revisão de literatura em busca de tecnologias voltadas à criação de novos materiais com a inclusão de resíduos de pó de toner, sendo identificada, nesse contexto, a aplicação inédita desse material em blocos de concreto intertravado, também conhecidos como *pavers*, algo que até então não havia sido proposto por nenhum autor.

O estudo dos materiais utilizados para a confecção dos *pavers* possibilitou a determinação de suas principais características, o que permitiu definir o traço controle ideal de 1:2:3 (cimento:areia:brita) para a produção dos blocos. No caso dos resíduos de pó de toner, uma análise mais profunda revelou sua baixa cristalinidade e uma composição química diversificada, informações importantes para a avaliação de seus possíveis impactos no desempenho do concreto nas etapas seguintes da pesquisa.

Através do traço controle determinado, diferentes porcentagens de substituição da areia pelo resíduo de pó de toner foram elaboradas, variando de 0 a 7% de substituição. Para garantir que atendiam aos requisitos exigidos pelas normas da ABNT, diferentes ensaios foram realizados. Para a resistência a compressão ( $f_{pk}$ ), o traço T3, com 3% de substituição, atingiu 35,41 MPa, enquanto o traço piloto (T0) alcançou 39,59 MPa aos 28 dias. Todos os demais traços apresentaram resistências abaixo do limite mínimo exigido pela NBR 9781/2013, de 35 MPa.

Com base nos resultados obtidos para a absorção de água, observou-se que o traço piloto (T0) apresentou desempenho dentro do limite estabelecido pela NBR 9781/2013 (6%). Por outro lado, os traços T1 e T2 excederam o limite permitido. Já os traços T3, T4, T5 e T6, embora tenham apresentado valores superiores ao piloto, permaneceram dentro do intervalo aceito por norma, confirmando sua viabilidade técnica. Entre todos, T3 destacou-se como o mais eficiente aos 90 dias, apresentando 4,23% de absorção de água.

Os ensaios de lixiviação e absorção atômica demonstraram que a quantidade de cromo total liberado para o meio ambiente pelos blocos é indetectável, ou seja, abaixo do permitido pela NBR 10004/2004, de forma que a utilização dos *pavers* com resíduos de pó de toner possa ser empregada sem gerar problemas ambientais.

Ao comparar o traço piloto (T0) com os traços que utilizam resíduos de pó de toner, observou-se que o traço piloto apresenta maior resistência mecânica e menor absorção de água, reforçando sua eficiência técnica. Em relação a custos, T0 apresentou valores de R\$ 0,18 acima

de T3, de modo que, embora tecnicamente mais eficiente, o traço piloto se mostra economicamente menos vantajoso.

Entre os blocos com resíduos, o traço T3 destacou-se como uma alternativa viável ao atender os critérios normativos, além de contribuir para a sustentabilidade do setor. Embora o traço apresente algumas desvantagens como adequação no processo produtivo, dificuldade de obtenção e separação do resíduo, e adição de equipamentos de proteção individual, ele compensa ao equilibrar a qualidade dos blocos produzidos com os benefícios ambientais associados.

Os resultados obtidos neste estudo também indicam que o pó de toner pode apresentar melhor desempenho quando utilizado como *filler*, atuando como um material de preenchimento fino, em vez de substituto direto da areia. Além disso, estratégias como o uso de aditivos plastificantes e a combinação com outros materiais recicláveis podem ser exploradas para aprimorar ainda mais o desempenho dos concretos com adição desse resíduo.

De forma geral, a incorporação de resíduos de pó de toner em blocos de concreto intertravado promove a reutilização de um material de difícil reciclagem e potencialmente prejudicial ao meio ambiente quando descartado em aterros. Apesar do baixo grau de cristalinidade e do comportamento hidrofóbico do resíduo, a substituição de 3% da areia por toner, conforme o traço desenvolvido neste estudo, permitiu a produção de *pavers* que atendem aos requisitos normativos, oferecendo uma alternativa sustentável para a indústria da construção civil.

## 7. PERSPECTIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante dos resultados obtidos, é possível, em trabalhos futuros, realizar aprimoramentos nos *pavers*, a fim de se obter melhores resultados. Dentre as etapas possíveis a serem desenvolvidas, destaca-se:

- Processo de fabricação com homogeneização dos resíduos simultânea com os outros materiais;
- Fabricação com diferentes dosagens;
- Utilização de aditivo plastificante para contribuições com maiores porcentagens de resíduos;
- Maiores porcentagens de adição de resíduos de pó de toner;
- Estudo de abrasão dos blocos;
- Utilização do pó de toner como *filler*.
- Explorar tratamento estatístico com testes de significância (ANOVA, Tukey, regressão).

## REFERÊNCIAS

- ABDELBASIR, S. M.; HASSAN, S. S. M.; KAMEL, A. H.; EL-NASR, R. S. **Status of electronic waste recycling techniques: a review**. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2136-6>
- ABRAINCO. **PIB da Construção tem alta de 6,9% em 2022 e puxa crescimento da economia**. 2023. Disponível em: <https://www.abrainc.org.br/construcao-civil/2023/03/02/pib-da-construcao-tem-alta-de-69-em-2022-e-puxa-crescimento-da-economia>. Acesso em: 10 dez. 2024.
- AFINKO POLIMEROS. **Ensaios Químicos**. 2016. Disponível em: <https://afinkopolimeros.com.br/servicos/ensaios-laboratoriais/ensaios-quimicos/#:~:text=A>. Acesso em: 17 dez. 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução Nº 56**. Brasil: 2008. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2008/res0056\\_06\\_08\\_2008.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2008/res0056_06_08_2008.html). Acesso em: 8 fev. 2024.
- AGUIAR, E. S. de; RIBEIRO, M. M.; VIANA, J. H.; PONTES, A. N. Panorama da disposição de resíduos sólidos urbanos e sua relação com os impactos socioambientais em estados da Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 13, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.013.e20190263>
- AHMADI, A.; WILLIAMSON, B. H.; THEIS, T. L.; POWERS, S. E. Life-cycle inventory of toner produced for xerographic processes. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, n. 5, p. 573–582, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00090-2](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00090-2)
- ALALOUL, W. S.; MUSARAT, M. A.; RABBANI, M. B. A.; ALTAF, M.; ALZUBI, K. M.; SALAHEEN, M. Al. Assessment of Economic Sustainability in the Construction Sector: Evidence from Three Developed Countries (the USA, China, and the UK). **Sustainability (Switzerland)**, v. 14, n. 10, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14106326>
- ALCANTARA, P. S. X. de. **Blocos Intertravados Coloridos Para Pavimentação com incorporação de Resíduos de Cerâmica Vermelha em Prol da Redução de Pigmentos**. 2015. Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2015.
- ALVES, A. L.; GOTARDI, F. G. N.; GODOY, G. de L. Z.; ZANFOLIM, A. A.; TORRES, R. de M. Estudo das propriedades mecânicas de pavers de concreto obtidos através da introdução de resíduos plásticos industriais. **Ambiência**, v. 15, n. 1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2019.01.05>
- ANDRADE, N. C. **Propriedades de Pisos Intertravados Produzidos com Resíduos Vegetais e Industriais**. 2019. - Universidade Federal da Lavras, Lavras, 2019.
- ANGULO, S. C. **Materiais de Construção Civil II - Agregados**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. São Paulo. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual de Pavimento Intertravado**. 1ª ed. São Paulo – SP. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Brasil. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004 - Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro – RJ. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10007 - Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro – RJ. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10005 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido**. Rio de Janeiro – RJ. 2004.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15953 - Pavimento Intertravado com Peças de Concreto - Execução**. Rio de Janeiro - RJ, Brasil. 2011.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8953 - Concreto para fins estruturais — Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro – RJ. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16889 - Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro – RJ. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211 – Agregados para concreto – Requisitos**. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro – RJ. 2022.

AZEVEDO, L. M. M. de; BATISTA, W. R. R. F.; NETO, V. F.; SILVA, J. B. da; MENDONÇA, A. M. G. D. **Caracterização Física e Mecânica do Concreto Incorporado com Polímero**. 2016.

BALASUBRAMANIAN, S.; KANAGARATHINAM, S.; CINGARAM, R.; BAKTHAVACHALAM, V.; KULATHU IYER, S.; RAJENDRAN, S.; NATESAN SUNDARAMURTHY, K.; RANGANATHAN, S. Waste toner-derived porous iron oxide pigments with enhanced catalytic degradation property. **Environmental Research**, v. 216, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114695>

BARDINI, C.; GODINHO, D. dos S. da S. Análise Micro Estrutural do Concreto Produzido com Agregados Reciclados Sob Altas Temperaturas. **Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC**, 2018.

BARROS, V. A. de; NETO, J. A. P.; PETZOLD, A. Análise Comparativa Do Custo-Benefício Entre Pavimentação Asfáltica E A Com Blocos Intertravados De Concreto. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, 2021.

BASTOS, F. **Entenda a Política Nacional de Resíduos Sólidos e como avançar na economia circular**. 2023. Disponível em: <https://exame.com/esg/entenda-a-politica-nacional-de-residuos-solidos-e-como-avancar-na-economia-circular/>.

BATISTA, L. S. **Efeitos Da Incorporação De Resíduos Da Mineração Nas Propriedades Físicas, Mecânicas E De Durabilidade Em Pavimentos Intertravados**. 2022. Universidade Federal De Campina Grande, Campina Grande, 2022.

BENITTEZ, L. H.; BENITTEZ, L. R. F.; BARRETO, D.; SERRA, S. M. B. **Capacidade De Infiltração De Piso Intertravado Em Pátios De Estacionamento**. 2021. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/488>.

BOGGIO, A. J. **Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland**. 2000. Universidade Federal do Rio Grande de Sul, Porto Alegre, 2000.

BRASIL. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Brasília, DF. 2010. Disponível em: [www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)

BRITO, G. do P. S. **Estudo da Viabilidade Técnica de Paver com Resíduo de Pneu em Substituição Parcial dos Agregados**. Alegrete – RS. 2013.

CABRAL, K. O. **Influência da areia artificial oriunda da britagem de rocha granito-gnaiss nas propriedades do concreto convencional no estado fresco e endurecido**. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. 2025.

CANHADA, J. C. dos S. **Produção De Concreto Com Resíduos Sólidos De Curtumes Tipo “Wet Blue” A Partir Da Substituição Parcial De Agregado Miúdo**. Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2021.

CARRIJO, P. M. **Análise da Influência da Massa Específica de Agregados Graúdos Provenientes de Resíduos de Construção e Demolição no Desempenho Mecânico do Concreto**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2005.

CAYUMIL, R.; KHANNA, R.; KONYUKHOV, Y.; BURMISTROV, I.; KARGIN, J. B.; MUKHERJEE, P. S. An Overview on Solid Waste Generation and Management: Current Status in Chile. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 11644, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132111644>

CHOUDHARY, D.; KAITHWAS, S.; KAMLESH; SHARMA, R. K.; MISHRA, A.; SINGHAI, S.; POWAR, S.; SINGH, A. Recycling of waste toner derived from exhausted printer cartridges as adsorbent for defluoridation of water. **Environmental Technology & Innovation**, v. 34, p. 103572, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103572>

CINQUETTI, H. S. **Lixo, resíduos sólidos e reciclagem: uma análise comparativa de recursos didáticos**. Curitiba. 2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 313**. Brasil, 2002. Disponível em: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=263>. Acesso em: 18 dez. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 307**.

CRUZ, L. O. M. **Pavimento intertravado de concreto: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento**. 2003. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

DANIEL, S. R.; REIS, F. M. D.; REIS, M. J.; RAMOS, S. B.; PINTO, R. A. N.; REIS, C.; BORGES, V. de O.; BUENO, I. B. V.; MARTINS, E.; REIS, J. C. Estudo de caso: manifestações patológicas de pavimento intertravado no município de Passos-MG. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 6, p. e4665, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n6-002>

DAVE, N.; MISRA, A. K.; SRIVASTAVA, A.; SHARMA, A. K.; KAUSHIK, S. K. Green quaternary concrete composites: Characterization and evaluation of the mechanical properties. **Structural Concrete**, v. 19, n. 5, p. 1280–1289, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/suco.201800073>

DE OLIVEIRA, C. I. R.; ACEVEDO, N. I. A.; ROCHA, M. C. G.; DE SOUZA, I. D.; REYES, V. M. T.; DE ASSIS, J. T. Development and characterization of concretes produced by replacing fine aggregate with residues from oil rig mooring cables. **Revista Materia**, v. 26, n. 2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210002.1294>

DHIR, R. K.; BRITO, J. de; MANGABHAI, R.; LYE, C. Q. Production and Properties of Copper Slag. *In: Sustainable Construction Materials: Copper Slag*. Elsevier, 2017. p. 27–86. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100986-4.00003-1>

DNIT, D. N. de I. de T. **Manual de Pavimentação**. 2006.

DONG, L.; HUANG, Z.; RUAN, J.; ZHU, J.; HUANG, J.; HUANG, M.; KONG, S.; ZHANG, T. Pyrolysis Routine of Organics and Parameter Optimization of Vacuum Gasification for Recovering Hazardous Waste Toner. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, v. 5, n. 11, p. 10038–10045, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b02024>

DURDYEV, S.; ISMAIL, S. **Role of the construction industry in economic development of Turkmenistan**. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*. 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/288750131>.

ELSHEEKH, K. M.; KAMEL, R. R.; ELSHERIF, D. M.; SHALABY, A. M. Achieving sustainable development goals from the perspective of solid waste management plans. **Journal of Engineering and Applied Science**, v. 68, n. 1, p. 9, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s44147-021-00009-9>

FENG, J. Q.; HAYS, D. A. Relative importance of electrostatic forces on powder particles. **Powder Technology**, v. 135–136, p. 65–75, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2003.08.005>

FERNÁNDEZ, B.; AYALA, J.; DEL VALLE, E.; MARTÍNEZ-BLANCO, D.; CASTAÑÓN-GARCÍA, A. M.; MENÉNDEZ-AGUADO, J. M. Recycling of Waste Toner Powder as Adsorbent to Remove Aqueous Heavy Metals. **Materials**, v. 15, n. 12, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma15124150>

FILHO, N.; SILVA, H. E. B. ; SOUSA, R. C. P. ; SOUZA, O. S. Espectroscopia no Infravermelho FT-IR e Difractometria de Raios X Aplicada no Acompanhamento do Processo de Polimerização do Óleo de Andiroba, **Rev. Virtual Quim**. 2019.

FILHO, R. A. G. **Estudo De Dosagem Experimental De Concreto De Cimento Portland Classe C 30 Com Agregados Disponíveis Em Manaus – Am**. 2019. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

FIORITI, C. F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. 2007. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/T.18.2007.tde-27092007-184727>

GITNUX. **UK Construction Industry Statistics: £117 Billion Contribution, 2.7 Million Employed**. 2022. Disponível em: <https://blog.gitnux.com/construction-industry-in-the-uk-statistics/#:~:text=Construction>.

GODINHO, D. P. **Pavimento Intertravado: Uma Reflexão Sob a Ótica da Durabilidade e Sustentabilidade**. 2009. Universidade Federal De Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

GOMES, P. C. C.; ALENCAR, T. F. F. de; SILVA, N. V. da; MORAES, K. A. de M.; ANGULO, S. C. Obtenção de concreto leve utilizando agregados reciclados. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 3, p. 31–46, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000300024>

GOVERNO FEDERAL. **Estudos para o Plano Nacional de Mineração 2050**. 2022.

HAMMANI, S.; BARHOUM, A.; NAGARAJAN, S.; BECHELANY, M. Toner waste powder (twp) as a filler for polymer blends (LDPE/HIPS) for enhanced electrical conductivity. **Materials**, v. 12, n. 19, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma12193062>

HP. **Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos**. 2023.

HUANG, J.; LI, X.; KUMAR, G. S.; DENG, Y.; GONG, M.; DONG, N. Rheological properties of bituminous binder modified with recycled waste toner. **Journal of Cleaner Production**, v. 317, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128415>

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-e-residuos/residuos/politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs>. Acesso em: 8 dez. 2024.

ITOUA, P. I.; SUN, D.; LI, P.; SHEN, S. Influence of Waste Toner on Asphalt Binder: Chemical and Rheological Characterization. **Molecules**, v. 28, n. 6, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules28062794>

JOHN, V. M. **Materiais de Construção Civil II**. São Paulo: Programa de Construção Civil (PCC - USP), 2017.

JUNIOR, J. de A. F. **Materiais de Construção**. Universidade Federal do Paraná, 2013.

KUMAR, A.; SINGH, S. Application of X-ray fluorescence spectroscopy in the analysis of concrete and its components. **Journal of Building Materials and Structures**, p. 45–52, 2018.

KWAN, K. S.-W.; KAN, C.-W. Comparison and Analysis of Colorant in Toner Cartridges: A Material Safety Data Sheet Study. *In: Dyes and Pigments - Insights and Applications*. IntechOpen, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.107439>

LASKOWSKA, A. Elastomer based composites filled with layered fillers and ionic liquids. **Lodz University of Technology**, 2014.

LEMOS, A. B. Generalidade da Análise Térmica. **Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens**, v. 15, n. 3, 2003.

LIMA, M. C. A. de; SILVA, A. K. B. da; JUNIOR, M. A. B. da S. Certificação ambiental de habitações: um instrumento para ações sustentáveis na construção civil. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, 2020.

LIMA, D. L. S. **Técnicas Analíticas Aplicadas Na Revelação E Caracterização de Impressões Digitais no Ambito da Papiloscopia Forense**. 2023. Centro Universitário Campo Limpo Paulista, Campo Limpo Paulista, 2023.

LIMANTARA, A. D.; WIDODO, A.; WINARTO, S.; KRISNAWATI, L. D.; MUDJANARKO, S. W. Optimizing the use of natural gravel Brantas river as normal concrete mixed with quality  $f_c = 19.3$  Mpa. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 140, p. 012104, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/140/1/012104>

LIMA, P. H. A.; BARBOSA, T. K.; SANTOS, K. de O.; CABRAL, S. C.; GOMES, A. J. de L. Análise teórica e comparativa entre diferentes métodos de dosagem do concreto: ABCP, IPT, INT e ITERS. **Revista Vozes dos Vales**, v. 23, 2023.

LIU, F.; NIU, G.; GUO, W. A Study on the Sintering Mechanism of High-Strength Light Bricks Manufactured from Coal Gasification Slag. **Sustainability (Switzerland)**, v. 15, n. 6, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15064860>

- LOPES, K. L. **Avaliação de Argamassa com Incorporação de Resíduos de Beneficiamento de Rochas Ornamentais**. 2020. Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2020.
- LOPES, T. B. **Comparação da microestrutura do concreto auto adensável com o concreto convencional**. 2016. Universidade Estadual de Campinas, Limeira, SP, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2016.974280>
- LUO, Y.; XIANG, P.; WANG, Y. Investigate the Relationship between Urbanization and Industrialization using a Coordination Model: A Case Study of China. **Sustainability**, v. 12, n. 3, p. 916, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12030916>
- MACHADO, T. G. **Estudo da adição de resíduo de scheelita em matriz cerâmica: formulação, propriedades físicas e microestrutura**. 2012. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.
- MATOS, L. H. L. D. de. **Pavimentos Intertravados de Concreto Utilizando Resíduos de PET**. 2019. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2019.
- MELNJAK, I.; VUČINIĆ, A. A.; RADETIĆ, L.; GRČIĆ, I. Waste Toner Powder In Concrete Industry: An Approach Towards Circular Economy. **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 18, n. 9, p. 1897–1906, 2019. Disponível em: <http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/>; <http://www.eemj.eu>
- MEYER, T. J. *et al.* Evaluation of the cytotoxic and genotoxic potential of printer toner particles in a 3D air-liquid interface, primary cell-based nasal tissue model. **Toxicology Letters**, v. 379, p. 1–10, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2023.03.004>
- MINATTI, G. de O.; FISCH, F. Comparativo entre CAA com filer calcário e CAA com resíduo de beneficiamento de mármore e granito. **CONCRETO & Construções**, v. LI, n. 111, p. 78–83, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/1809-7197.2023.111.0010>
- MOHAMMED, S.; SAFIULLAH, O. 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, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.218>
- MULDER, E. de; BREMMER, C. Urbanization, Industrialization, and Mining. *In: The Physical Geography of Western Europe*. Oxford University Press, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/oso/9780199277759.003.0031>
- MUNARO, M. R.; TAVARES, S. F. Analysis of Brazilian public policies related to the implementation of circular economy in civil construction. **Ambiente Construído**, v. 22, n. 2, p. 129–142, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212022000200597>
- NABESHIMA, C. K. Y.; ORSOLIN, K.; DOS SANTOS, R. K. X. **Análise Comparativa Entre Sistemas de Pavimentação Urbana Baseados em Concreto Asfáltico e Blocos de Concreto Intertravados (Pavers)**. 2011. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Curitiba, 2011.
- NAÇÕES UNIDAS. **China e Estados Unidos lideram lista de países que mais geram lixo eletrônico**. 2020. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2020/07/1719142>. Acesso em: 9 jul. 2023.
- NAÇÕES UNIDAS. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 8 dez. 2023.
- NASCIMENTO, E. R. do; MORAIS, D. P. F. de; LOPES, S. C. Sustentabilidade na construção civil no Brasil: Uma revisão da literatura. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. e524111436611, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i14.36611>

NERY, C. **Concentração na Indústria da Construção cai a menos da metade em 10 anos.** 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/36981-concentracao-na-industria-da-construcao-cai-a-menos-da-metade-em-10-anos>. Acesso em: 10 dez. 2024.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 5. ed. Porto Alegre – RS. 2016.

NEWLANDS, M.; CSETENYI, L.; ZHENG, L. Feasibility of recovered toner powder as an integral pigment in concrete. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials**, v. 172, n. 4, p. 201–212, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1680/jcoma.18.00023>

NOTANI, M. A.; HAJIKARIMI, P.; NEJAD, F. M.; KHODAI, A. Rutting resistance of toner-modified asphalt binder and mixture. **International Journal of Pavement Research and Technology**, v. 13, n. 1, p. 1–9, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42947-019-0131-z>

OLIVEIRA, L. S. de. **Metaestabilidade Estrutural Do Sistema Ni-Ti-Ge Induzida Por Mechanical Alloying.** 2017. - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

OLIVEIRA, J. de J. **Análise Da Capacidade De Infiltração Do Pavimento Intertravado De Concreto.** 2018. Faculdades Unificadas De Teófilo Otoni, Teófilo Otoni, 2018.

PAGNUSSAT, D. T. **Utilização de escória granulada de fundição (EGF) em blocos de concreto para pavimentação.** 2004. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PAIXÃO, L. **O que é Construção Civil?** 2022. Disponível em: <https://www.aarquitectura.com.br/blog/construcao-civil/>. Acesso em: 10 abr. 2024.

PARTHASARATHY, M. **Challenges and emerging trends in toner waste recycling: A review.** MDPI, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/recycling6030057>

PEREIRA, P. A. **Como identificar patologias em pisos intertravados?** 2022. Disponível em: <https://papereira.com.br/como-identificar-patologias-em-pisos-intertravados/>. Acesso em: 16 dez. 2024.

PIRELA, S. V.; SOTIRIOU, G. A.; BELLO, D.; SHAFER, M.; BUNKER, K. L.; CASTRANOVA, V.; THOMAS, T.; DEMOKRITOU, P. Consumer exposures to laser printer-emitted engineered nanoparticles: A case study of life-cycle implications from nano-enabled products. **Nanotoxicology**, v. 9, n. 6, p. 760–768, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3109/17435390.2014.976602>

**PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.** 2022.

PURCHASE, C. K.; AL ZULAYQ, D. M.; O'BRIEN, B. T.; KOWALEWSKI, M. J.; BERENJIAN, A.; TARIGHALESAMI, A. H.; SEIFAN, M. **Circular economy of construction and demolition waste: A literature review on lessons, challenges, and benefits.** MDPI, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma15010076>

RAHMAN, S.; ULLAH, A. Effects Of Different Sizes Of Crushed Stones On Mechanical Strength Of Concrete . **4 th International Conference on Advances in Civil Engineering 2018 (ICACE 2018)**, 2018.

RANGEL, R. de C. C. **Efeito da Implantação Iônica por Imersão em Plasmas sobre a Bioatividade de Titânio.** 2012. Universidade Estadual Paulista - UNESP, Sorocaba, 2012.

RIBEIRO, A. K. dos S. P.; MARQUES, S. K. J.; RIBEIRO, I. B. G.; MAIA, S. M. F. Quantificação E Classificação Dos Resíduos Procedentes Da Construção Civil No Município De Maceió-AL363. **R. gest. sust. ambient.** 2021

- RIBEIRO, F. R. C.; MOREIRA, K. M. de V.; MARQUES, A. S.; MODOLO, R. C. E. Incorporation of vinyl ethylene acetate residue into the production of interlocking concrete blocks for paving. **Revista Materia**, v. 25, n. 4, p. 1–11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200004.1155>
- RING, P.; CORDOBA, G.; DELBIANCO, N.; PRIANO, C.; RAHHAL, V. Circular Economy Approach: Recycling Toner Waste in Cement-Based Construction Materials. **Sustainability**, Buenos Aires, v. 16, n. 11, p. 4707, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su16114707>
- RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. 1984.
- ROSA, L. A. B. da; COHEN, M.; CAMPOS, W. Y. Y. Z.; ÁVILA, L. V.; RODRIGUES, M. C. M. Circular economy and sustainable development goals: main research trends. **Revista de Administração da UFSM**, v. 16, n. 1, p. e9, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1983465971448>
- RUAN, J.; LI, J.; XU, Z. An environmental friendly recovery production line of waste toner cartridges. **Journal of Hazardous Materials**, v. 185, n. 2–3, p. 696–702, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.074>
- SANTANA, L. A.-S. **Estudo da Aderência Entre Concretos de Diferentes Idades**. 2004. - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes - RJ, 2004.
- SANTOS, J. W. dos. **Caracterização E Separação Dos Materiais Presentes Em Cartuchos De Toner Pós Consumo - Avaliando O Potencial Econômico Para Reciclagem**. Porto Alegre – RS, 2019.
- SANTOS, W. E. Dos. **Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos com Areia Natural e Areia Artificial com Uso de Aditivo Polifuncional**. 2021. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2021.
- SCHILLER, G.; ROSCHER, J. Impact of urbanization on construction material consumption: A global analysis. **Journal of Industrial Ecology**, v. 27, n. 3, p. 1021–1036, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jiec.13392>
- SHAH, W. U. H.; YASMEEN, R.; SARFRAZ, M.; IVASCU, L. The Repercussions of Economic Growth, Industrialization, Foreign Direct Investment, and Technology on Municipal Solid Waste: Evidence from OECD Economies. **Sustainability**, v. 15, n. 1, p. 836, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15010836>
- SHAWNIM, P. A.; MOHAMMAD, F. **Toner Used In The Development Of Foamed Concrete For Structural Use** *Journal of Civil Engineering*. 2018.
- SILVA, C. O. **Pavimento Intertravado: Manual de Desempenho**. São Paulo. 2022.
- SILVA, B. C. L. da; GACHET, L. A.; LINTZ, R. C. C. Análise microscópica de concreto pigmentado com resíduos de borracha aplicado em piso intertravado. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 4, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1517-707620200004.1197>
- SILVA, E. R. da. **Análise do comportamento estrutural e funcional de um pavimento experimental com blocos pré-moldados de concreto**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- SILVA, M. C. da; SANTOS, G. O. dos. Densidade Aparente de Resíduos Sólidos Recém Coletados. **V Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica**, 2011.
- SILVA, W. B. C. da; BARROSO, S. H. de A.; CABRAL, A. E. B. Avaliação da aplicação de cinzas pesadas de termelétrica em blocos intertravados de concreto para pavimentos. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0895>

SOCRATES, G. **Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies**. 3. Ed. John Wiley & Sons Ltd, 2001.

SOUZA, B. C. G. de; TRIGO, A. P. M.; FURINI, R. C. B.; SIMÕES, M. N.; ANONI, L. G. Dosagem de pavers de concreto permeável com agregado reciclado misto. **Concreto & Construções**, v. L, n. 108, p. 76–80, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/1809-7197.2022.108.0005>

SOUZA, R. da S. **Terraplanagem e Pavimentação**. 2018.

SPADOTTO, A.; GADDA, T. M. C.; NAGALLI, A. Design for disassembly as an instrument for the preservation of water resources in civil construction industry. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 57, n. 3, p. 353–363, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/z217694781291>

SRIVASTAVA, K.; TERKAR, R.; SIDDIQUE, U. **Remanufacturing for Sustainable Development**. Mumbai. 2019. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3363072>.

SZYNKOWSKA, M. I.; CZERSKI, K.; PARYJCZAK, T.; PARCZEWSKI, A. Ablative analysis of black and colored toners using LA-ICP-TOF-MS for the forensic discrimination of photocopy and printer toners. **Surface and Interface Analysis**, v. 42, n. 5, p. 429–437, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/sia.3194>

TERUNUMA, N.; IKEGAMI, K.; KITAMURA, H.; ANDO, H.; KUROSAKI, S.; MASUDA, M.; KOCHI, T.; YANAGI, N.; OGAMI, A.; HIGASHI, T. A Cohort study on respiratory symptoms and diseases caused by toner-handling work: Longitudinal analyses from 2003 to 2013. **Atmosphere**, v. 10, n. 11, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/atmos10110647>

THE WORLD BANK. **Solid Waste Management**. 2022. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>. Acesso em: 8 dez. 2024.

THIVES, L. P.; GHISI, E.; JÚNIOR, J. J. T. An outlook on the management of construction and demolition waste in Brazil. **Cleaner Materials**, v. 6, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clema.2022.100153>

TOMONAGA, T.; IZUMI, H.; YOSHIURA, Y.; MYOJO, T.; OYABU, T.; LEE, B. W.; OKADA, T.; LI, Y.; KAWAI, K.; HIGASHI, T.; MORIMOTO, Y. Assessment of Pulmonary Toxicity Induced by Inhaled Toner with External Additives. **BioMed Research International**, v. 2017, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2017/4245309>

TORRES, J. C. de L. **Obtenção de Emulsões Asfálticas Convencionais e Modificadas com Argilas e Nanoargilas**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

TORRES, T. L. P. **Pavimento Com Blocos Intertravados De Concreto: da fabricação à execução – Estudo de casos em São Luís/MA**. Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2017.

TSATSIS, D. E.; VALTA, K. A.; VLYSSIDES, A. G.; ECONOMIDES, D. G. Assessment of the impact of toner composition, printing processes and pulping conditions on the deinking of office waste paper. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 4, p. 103258, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103258>

USEPA. **SW 846 - Test methods for evaluating solid waste; Physical/Chemical methods (METHOD 1311)**. 1992.

VERLY, R. C. **Conceitos essenciais sobre Patologias em Estruturas de Concreto**. Brasília. 2022.

VERMA, N.; KUMAR, R.; SHARMA, V. Analysis of laser printer and photocopier toners by spectral properties and chemometrics. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 196, p. 40–48, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.02.001>

VIEIRA, E. G.; REZENDE, E. N. Mineração de areia e meio ambiente: é possível harmonizar? **Revista do Direito Público**, v. 10, n. 3, p. 181, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1980-511X.2015v10n3p181>

VIJAY, M.; SINGH, G. **Analysis of Toner Powder Using Different Techniques**. **JETIR2106708 Journal of Emerging Technologies and Innovative Research**. JETIR, 2021. Disponível em: [www.jetir.org/f53](http://www.jetir.org/f53).

XEROX. **Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos**. 2015.

YASEEN, S. A.; YISEEN, G. A.; LI, Z. Elucidation of Calcite Structure of Calcium Carbonate Formation Based on Hydrated Cement Mixed with Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide. **ACS Omega**, v. 4, n. 6, p. 10160–10170, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00042>

YILDIRIM, Y.; HAZLETT, D.; DAVIO, R. Toner-modified asphalt demonstration projects. *In*: 2004, **Resources, Conservation and Recycling**. p. 295–308. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2004.04.008>

YORDANOVA, D.; ANGELOVA, S.; DOMBALOV, I. **Utilisation Options for Waste Toner Powder**. Sófia, Bulgaria. 2014. Disponível em: <http://environment.scientific-journal.com/articles/3/23.pdf>.

ZHANG, W. **Market value of the construction industry in China**. 2023. Disponível em: Source: <https://www.statista.com/statistics/1068161/china-construction-industry-value/>. Acesso em: 24 ago. 2024.

ZHAO, Z.; CHEN, J.; WANG, J.; ZHUANG, S.; CHEN, H.; ZHAO, H.; WANG, C.; ZHANG, L.; LI, M.; LI, G.; REN, J. Effect Mechanisms of Toner and Nano-SiO<sub>2</sub> on Early Strength of Cement Grouting Materials for Repair of Reinforced Concrete. **Buildings**, v. 12, n. 9, p. 1320, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings12091320>

## ANEXO

### ANEXO A – Lei N° 12.305, de 2 de agosto de 2010, Art. 20

Art. 20. Estão sujeitos à elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos:

I - os geradores de resíduos sólidos previstos nas alíneas “e”, “f”, “g” e “k” do inciso I do art. 13;

II - os estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços que:

a) gerem resíduos perigosos;

b) gerem resíduos que, mesmo caracterizados como não perigosos, por sua natureza, composição ou volume, não sejam equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal;

III - as empresas de construção civil, nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama;

IV - os responsáveis pelos terminais e outras instalações referidas na alínea “j” do inciso I do art. 13 e, nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e, se couber, do SNVS, as empresas de transporte;

V - os responsáveis por atividades agrossilvopastoris, se exigido pelo órgão competente do Sisnama, do SNVS ou do Suasa.

## APÊNDICE

### APÊNDICE A – Resultados da Granulometria dos Agregados

<b>Granulometria da Areia Média</b>								
<b>Peneira (mm)</b>	<b>Material Retido (g)</b>		<b>Material Retido (%)</b>		<b>Variação (±4%)</b>	<b>Média Material Retido (%)</b>	<b>Material Retido Acumulado (%)</b>	<b>Percentual Passante do Material (%)</b>
	<b>Ensaio A</b>	<b>Ensaio B</b>	<b>Ensaio A</b>	<b>Ensaio B</b>				
9,5	0	0	0	0	0	0	0	100,00
4,75	1,40	3,40	0,48	1,14	0,66	0,81	0,81	99,19
2,36	6,10	9,30	2,08	3,12	1,05	2,60	3,41	96,59
1,19	28,90	30,00	9,84	10,07	0,23	9,95	13,36	86,64
0,59	157,00	156,00	53,44	52,37	1,07	52,90	66,26	33,74
0,297	42,20	43,60	14,36	14,64	0,27	14,50	80,76	19,24
0,149	44,80	43,40	15,25	14,57	0,68	14,91	95,67	4,33
Fundo	13,40	12,20	4,56	4,10	0,47	4,33	100,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>293,80</b>	<b>297,90</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>0,00</b>			
<b>Granulometria da Brita 0</b>								
<b>Peneira (mm)</b>	<b>Material Retido (g)</b>		<b>Material Retido (%)</b>		<b>Variação (+ 4%)</b>	<b>Média Material Retido (%)</b>	<b>Material Retido Acumulado (%)</b>	<b>Percentual Passante do Material (%)</b>
	<b>Ensaio A</b>	<b>Ensaio B</b>	<b>Ensaio A</b>	<b>Ensaio B</b>				
12,5	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	100,00
9,5	22,70	17,20	2,28	1,82	0,46	2,05	2,05	97,95
6,3	377,40	381,70	37,92	40,39	2,48	39,16	41,21	58,79
4,75	368,90	355,26	37,06	37,60	0,53	37,33	78,54	21,46
2,36	210,10	174,70	21,11	18,49	2,62	19,80	98,33	1,67
Fundo	16,20	16,10	1,63	1,70	0,08	1,67	100,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>995,30</b>	<b>944,96</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>0,00</b>			

Fonte: Os autores (2025).

**APÊNDICE B – Resultados de Compressão de 7 Dias do Primeiro Lote**

<b>T0</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,639	534,59	27,41	2,55	523,43	26,84	2,678	578,81	29,68
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,615	579,74	29,73	2,688	631,93	32,41	2,654	640,63	32,85

<b>T1</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,55	283,73	14,55	2,626	286,32	14,68	2,638	307,69	15,78
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,576	315,49	16,18	2,569	371,49	19,05	2,576	370,99	19,03

<b>T2</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,618	276,46	14,18	2,259	340,55	17,46	2,587	351,41	18,02
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,552	297,42	15,25	2,571	433,53	22,23	2,547	376,91	19,33

<b>T3</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,67	514,3	26,37	2,678	647,99	33,23	2,656	496,74	25,47
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,655	429,18	22,01	2,7	620,6	31,83	2,692	642,17	32,93

<b>T5</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,6	434,19	22,27	2,547	388,79	19,94	2,634	496,04	25,44
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,616	413,49	21,20	2,628	453,23	23,24	2,593	478,5	24,54

Fonte: Os autores (2025).

**APÊNDICE C – Resultados de Compressão de 14 Dias do Primeiro Lote**

<b>T0</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,63	656,9	33,69	2,638	632,16	32,42	2,66	635,79	32,60
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,688	507,69	26,04	2,614	634,21	32,52	2,653	589,1	30,21

<b>T1</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,672	415,41	21,30	2,601	365,46	18,74	2,618	321,01	16,46
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,611	365,41	18,74	2,59	367,16	18,83	2,63	289,02	14,82

<b>T2</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,584	373,03	19,13	2,553	422,76	21,68	2,59	418,59	21,47
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,562	324,45	16,64	2,549	416,87	21,38	2,567	292,36	14,99

<b>T3</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,691	487,54	25,00	2,703	648,89	33,28	2,717	592,3	30,37
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,725	591,99	30,36	2,675	621,33	31,86	2,624	648,51	33,26

<b>T5</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,643	496,04	25,44	2,641	482,85	24,76	2,596	489,21	25,09
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,57	488,42	25,05	2,584	423,51	21,72	2,625	479,03	24,57

Fonte: Os autores (2025).

**APÊNDICE D – Resultados de Compressão de 28 Dias do Primeiro Lote**

<b>T0</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,679	786,43	40,33	2,616	700,94	35,95	2,648	702,72	36,04
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,713	789,54	40,49	2,616	765,15	39,24	2,688	790,23	40,52

<b>T1</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,587	423,9	21,74	2,585	426,28	21,86	2,561	428,72	21,99
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,564	415,08	21,29	2,681	404,96	20,77	2,589	391,11	20,06

<b>T2</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,61	466,24	23,91	2,6	438,88	22,51	2,55	470,53	24,13
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,582	458,17	23,50	2,568	481,77	24,71	2,553	461,47	23,67

<b>T3</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,675	763,85	39,17	2,595	710,07	36,41	2,703	700,3	35,91
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,655	729,26	37,40	2,698	697,61	35,77	2,661	715,08	36,67

<b>T5</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,601	474,61	24,34	2,622	506,11	25,95	2,617	509,57	26,13
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,571	496,91	25,48	2,579	504,46	25,87	2,627	535,79	27,48

Fonte: Os autores (2025).

**APÊNDICE E – Resultados de Compressão de 90 Dias do Primeiro Lote**

<b>T0</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,522	722,03	37,03	2,543	732,85	37,58	2,558	794,71	40,75
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,517	771,97	39,59	2,532	735,86	37,74	2,505	840,59	43,11

<b>T1</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,488	420,99	21,59	2,483	437,4	22,43	2,506	501,51	25,72
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,431	413,78	21,22	2,4	423,37	21,71	2,478	423,83	21,73

<b>T2</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,354	473,8	24,30	2,39	501,28	25,71	2,382	500,74	25,68
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,438	447,91	22,97	2,364	484,55	24,85	2,401	463,79	23,78

<b>T3</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,598	729,99	37,44	2,544	748,69	38,39	2,506	710,82	36,45
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,538	741,22	38,01	2,575	850,38	43,61	2,494	709,6	36,39

<b>T5</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,447	631,6	32,39	2,46	670,67	34,39	2,525	693,26	35,55
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,513	653,32	33,50	2,503	556,16	28,52	2,497	553,5	28,38

Fonte: Os autores (2025).

**APÊNDICE F – Resultados de Compressão de 7 Dias do Segundo Lote**

<b>T3</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,579	641,28	32,89	2,63	700,48	35,92	2,653	509,29	26,12
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,582	529,53	27,16	2,612	604,79	31,01	2,627	499,99	25,64

<b>T4</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,637	599,53	30,75	2,581	653,6	33,52	2,699	559,07	28,67
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,587	491,07	25,18	2,588	500,25	25,65	2,609	560,86	28,76

<b>T6</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,588	442,22	22,68	2,56	411,23	21,09	2,539	415,49	21,31
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,597	483,03	24,77	2,507	403,57	20,70	2,538	481,78	24,71

<b>T0</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,614	696,38	35,71	2,563	616,62	31,62	2,618	686,43	35,20

Fonte: Os autores (2025).

**APÊNDICE G – Resultados de Compressão de 14 Dias do Segundo Lote**

<b>T3</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,539	658,19	33,75	2,576	651,55	33,41	2,54	571,01	29,28
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,578	598,31	30,68	2,597	545,09	27,95	2,581	535,69	27,47

<b>T4</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,627	613,94	31,48	2,598	617,83	31,68	2,588	604,21	30,99
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,61	527,76	27,06	2,583	602,79	30,91	2,587	523,2	26,83

<b>T6</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,552	436,8	22,40	2,559	530,51	27,21	2,484	432,04	22,16
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,526	453,98	23,28	2,507	474,79	24,35	2,536	444,66	22,80

<b>T0</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,575	745,79	38,25	2,625	744,26	38,17	2,57	732,44	37,56

Fonte: Os autores (2025).

**APÊNDICE H – Resultados de Compressão de 21 Dias do Segundo Lote**

<b>T3</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,528	730,44	37,46	2,547	612,09	31,39	2,526	581,48	29,82
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,588	599,07	30,72	2,59	590,97	30,31	2,597	580,81	29,79

<b>T4</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,542	576,41	29,56	2,482	573,19	29,39	2,599	595,06	30,52
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,567	585,18	30,01	2,563	593,18	30,42	2,599	573,48	29,41

<b>T6</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,489	453,79	23,27	2,555	437,83	22,45	2,493	519,35	26,63
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,484	473,09	24,26	2,525	438,26	22,47	2,549	466,11	23,90

<b>T0</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,586	792,54	40,64	2,566	886,13	45,44	2,531	766,29	39,30
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,572	736,57	37,77	2,631	854,56	43,82	2,575	864,73	44,35

Fonte: Os autores (2025).

**APÊNDICE I – Resultados de Compressão de 28 Dias do Segundo Lote**

<b>T3</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,533	717,59	36,80	2,536	690,43	35,41	2,571	707,24	36,27
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
24,78	699,94	35,89	2,511	688,99	35,33	2,524	678,71	34,81

<b>T4</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,524	601,94	30,87	2,534	605,85	31,07	2,538	614,12	31,49
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,526	595,06	30,52	2,587	591,95	30,36	2,556	641,74	32,91

<b>T6</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,545	472,97	24,25	2,519	475,45	24,38	2,535	520,34	26,68
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,502	487,81	25,02	2,455	446,49	22,90	2,498	505,6	25,93

<b>T0</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,62	960,75	49,27	2,697	902,44	46,28	2,637	817,76	41,94

Fonte: Os autores (2025).

**APÊNDICE J – Resultados de Compressão de 90 Dias do Segundo Lote**

<b>T3</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,538	791,71	40,60	2,526	684,65	35,11	2,584	880,53	45,16
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,571	740,44	37,97	2,601	733,04	37,59	2,604	720,36	36,94

<b>T4</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,516	762,79	39,12	2,602	645,94	33,13	2,603	682,9	35,02
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,576	683,86	35,07	2,635	685,08	35,13	2,563	779,07	39,95

<b>T6</b>								
Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,572	644,36	33,04	2,516	450,36	23,10	2,562	578,72	29,68
Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,576	614,67	31,52	2,609	554,45	28,43	2,579	509,16	26,11

<b>T0</b>					
Bloco 1			Bloco 2		
Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)	Massa (kg)	Rompimento (KN)	Resistência final (MPa)
2,571	935,84	47,99	2,6	1027,2	52,68

Fonte: Os autores (2025).

## APÊNDICE K – Resultados Individuais de Absorção de Água (21 Dias)

21 DIAS											
T0											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,488	2,64	2,618	2,609	2,524	2,676	2,658	2,649	2,484	2,63	2,611	2,601
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,609	2,485	2,487	2,488	2,649	2,518	2,523	2,524	2,601	2,474	2,484	2,484
T1											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,37	2,539	2,523	2,51	2,4	2,61	2,596	2,583	2,434	2,603	2,584	2,571
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,51	2,366	2,37	2,37	2,583	2,37	2,382	2,393	2,571	2,43	2,433	2,434
T2											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,398	2,605	2,594	2,585	2,343	2,546	2,534	2,527	2,331	2,526	2,51	2,503
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,585	2,389	2,396	2,398	2,527	2,336	2,342	2,343	2,503	2,328	2,331	2,331
T3											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,463	2,603	2,59	2,584	2,548	2,692	2,679	2,668	2,58	2,731	2,716	2,707
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,584	2,426	2,438	2,45	2,668	2,507	2,52	2,532	2,707	2,576	2,578	2,58
T4											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,583	2,651	2,638	2,633	2,595	2,662	2,653	2,648	2,59	2,655	2,643	2,638
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,633	2,478	2,484	2,486	2,648	2,487	2,491	2,492	2,638	2,473	2,485	2,486

T5											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,462	2,644	2,631	2,62	2,478	2,623	2,611	2,601	2,451	2,573	2,562	2,551
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,62	2,456	2,462	2,462	2,601	2,473	2,478	2,478	2,551	2,446	2,449	2,449

  

T6											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,526	2,617	2,604	2,596	2,429	2,52	2,507	2,502	2,532	2,622	2,609	2,604
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,596	2,442	2,444	2,446	2,502	2,348	2,349	2,349	2,604	2,443	2,444	2,445

Fonte: Os autores (2025).

## APÊNDICE L – Resultados Individuais de Absorção de Água (28 Dias)

28 DIAS											
T0											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,563	2,644	2,631	2,618	2,612	2,677	2,664	2,651	2,578	2,633	2,621	2,608
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,618	2,487	2,495	2,497	2,651	2,52	2,529	2,53	2,608	2,479	2,489	2,489
T1											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,457	2,626	2,614	2,601	2,451	2,618	2,605	2,594	2,473	2,646	2,633	2,62
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,601	2,426	2,438	2,451	2,594	2,408	2,42	2,433	2,62	2,438	2,45	2,463
T2											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,346	2,546	2,534	2,522	2,317	2,512	2,499	2,49	2,341	2,539	2,53	2,518
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,522	2,344	2,346	2,346	2,49	2,309	2,316	2,317	2,518	2,337	2,34	2,341
T3											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,45	2,601	2,588	2,576	2,435	2,583	2,572	2,556	2,48	2,629	2,616	2,603
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,576	2,445	2,447	2,45	2,556	2,429	2,432	2,435	2,603	2,472	2,479	2,48
T4											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,478	2,634	2,622	2,609	2,486	2,628	2,615	2,6012	2,479	2,634	2,621	2,608
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,609	2,445	2,455	2,467	2,6012	2,44	2,452	2,4644	2,608	2,447	2,458	2,464

T5											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,42	2,564	2,556	2,544	2,428	2,58	2,572	2,568	2,49	2,648	2,635	2,625
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,544	2,406	2,41	2,42	2,568	2,421	2,433	2,445	2,625	2,467	2,479	2,495

  

T6											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,441	2,592	2,579	2,567	2,347	2,501	2,49	2,478	2,438	2,591	2,578	2,566
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,567	2,434	2,44	2,441	2,478	2,341	2,345	2,347	2,566	2,436	2,438	2,438

Fonte: Os autores (2025).

## APÊNDICE M – Resultados Individuais de Absorção de Água (90 Dias)

90 DIAS											
T0											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,611	2,689	2,676	2,667	2,602	2,664	2,652	2,645	2,557	2,613	2,6	2,591
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,667	2,537	2,543	2,544	2,645	2,534	2,546	2,548	2,591	2,462	2,472	2,473

T1											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,435	2,557	2,545	2,536	2,515	2,628	2,619	2,609	2,46	2,585	2,574	2,563
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,536	2,384	2,378	2,36	2,609	2,463	2,467	2,477	2,563	2,416	2,424	2,429

T2											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,379	2,505	2,502	2,49	2,465	2,602	2,589	2,577	2,448	2,583	2,58	2,568
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,49	2,317	2,327	2,339	2,577	2,391	2,402	2,41	2,568	2,395	2,405	2,406

T3											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,539	2,611	2,598	2,587	2,534	2,595	2,583	2,577	2,591	2,639	2,629	2,624
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,587	2,479	2,4782	2,485	2,577	2,471	2,474	2,477	2,624	2,506	2,508	2,51

T4											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,566	2,644	2,633	2,629	2,589	2,649	2,639	2,632	2,608	2,647	2,635	2,631
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,629	2,47	2,482	2,494	2,632	2,487	2,499	2,511	2,631	2,493	2,504	2,511

T5											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,471	2,585	2,576	2,565	2,493	2,602	2,59	2,578	2,472	2,574	2,565	2,558
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,565	2,429	2,431	2,44	2,578	2,448	2,449	2,455	2,558	2,424	2,429	2,434

T6											
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Saturada Após 24h (kg)	Massa Saturada Após 2h (kg)	Massa Saturada Após 4h (kg)
2,472	2,563	2,555	2,544	2,44	2,508	2,496	2,489	2,55	2,597	2,588	2,581
Bloco 1				Bloco 2				Bloco 3			
Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)	Massa Inicial (kg)	Massa Seca Após 24h (kg)	Massa Seca Após 2h (kg)	Massa Seca Após 4h (kg)
2,544	2,404	2,415	2,416	2,489	2,357	2,365	2,366	2,581	2,46	2,461	2,461

Fonte: Os autores (2025).