

CARLOS EDUARDO SANCHES DE ANDRADE  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

# APPLIED TRANSPORT ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

CARLOS EDUARDO SANCHES DE ANDRADE  
(ORGANIZADOR)

---

*Collection:*

# APPLIED TRANSPORT ENGINEERING

---

Atena  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



## Collection: applied transport engineering

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Carlos Eduardo Sanches de Andrade

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied transport engineering / Organizador  
Carlos Eduardo Sanches de Andrade. – Ponta Grossa -  
PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-863-9

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.639221701>

1. Transport engineering. I. Andrade, Carlos Eduardo  
Sanches de (Organizador). II. Título.

CDD 629.04

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

A obra "*Collection: Applied Transport Engineering*" publicada pela Atena Editora apresenta, em seus 8 capítulos, estudos sobre diversos tópicos relacionados à aplicação da Engenharia de Transportes.

A Engenharia de Transportes proporciona mecanismos que alavancam o crescimento econômico das cidades, contribuindo para melhorar a qualidade de vida de seus cidadãos. Não se pode imaginar uma sociedade moderna sem um sistema de transporte eficiente e de alta qualidade, capaz de transportar bens e pessoas com rapidez e conforto.

Os trabalhos compilados nessa obra abrangem diferentes perspectivas da Engenharia de Transportes aplicada a diferentes situações no Brasil e nas Américas.

A pavimentação das estradas e aspectos relacionados ao bom desempenho da pavimentação são abordados. A competitividade logística de agrupamentos industriais é também abordada. Entre outros temas temos o transporte público, a sustentabilidade, BRTs, polos universitários, telefonia móvel e segurança viária.

Agradecemos aos autores dos diversos capítulos apresentados e esperamos que essa compilação seja proveitosa para os leitores.

Carlos Eduardo Sanches de Andrade



## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

ANÁLISE COMPARATIVA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM PAVIMENTO FLEXÍVEL PELO MÉTODO DNIT 008/2003 E CONTAGEM DE TRÁFEGO DE DOIS TRECHOS DA PE-217

Raiane Ferreira Matos

Maria Victória Leal de Almeida Nascimento

Pâmella Talyta Resende Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6392217011>


### **CAPÍTULO 2..... 14**

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE CINZAS PESADAS DE TERMOELÉTRICAS PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS INTERTRAVADOS

Maria Regilene Gonçalves de Alcantara

Suelyly Helena de Araújo Barroso

Viviane Brito Viana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6392217012>

### **CAPÍTULO 3..... 27**

ENSAIO TEÓRICO SOBRE A COMPETITIVIDADE LOGÍSTICA DE DOIS MODELOS DE AGLOMERAÇÃO INDUSTRIAL: ZONA FRANCA DE MANAUS NO BRASIL E ZONA FRANCA DE CIUDAD DEL ESTE NO PARAGUAI

Richards Cristian Trindade Veras

Fabiana Lucena Oliveira


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6392217013>

### **CAPÍTULO 4..... 42**

ANÁLISE DAS PUBLICAÇÕES À LUZ DA BIBLIOMETRIA SOBRE TRANSPORTE PÚBLICO E SUSTENTABILIDADE

Tálita Floriano dos Santos

Marcelino Aurélio Vieira da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6392217014>


### **CAPÍTULO 5..... 55**

ARRANJOS INSTITUCIONAIS DE SISTEMAS BRTS: UMA PERSPECTIVA COMPARADA ENTRE SANTIAGO E RIO DE JANEIRO

Luara Miranda Bessa

Tayssa Gonzaga Pires Ferreira

Denilson Queiroz Gomes Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6392217015>


### **CAPÍTULO 6..... 66**

CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE VIAJES EN POLOS UNIVERSITARIOS. PATRÓN ESPECIAL DE VIAJES EN MOTOVEHÍCULOS. LA RIOJA, ARGENTINA

Violeta Silvia Irene Depiante

Patricia Mónica Maldonado


Jorge José Galarraga

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6392217016>

**CAPÍTULO 7..... 81**

MEDICIÓN TÉCNICA DEL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO EN UNA ESTACIÓN BASE DE TELEFONÍA MÓVIL EN COLOTLÁN JALISCO MÉXICO

Ana Rosa Carrillo Avila

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6392217017>

**CAPÍTULO 8..... 90**


SEGURANÇA VIÁRIA E SUA IMPORTÂNCIA PARA MOTORISTAS E PEDESTRES

Gustavo Henrique Freitas Matinha

Irwin Arruda Sales

Kleybson Silva Borges

Carlos Eduardo Sanches de Andrade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6392217018>

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 99**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 100**

## ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE CINZAS PESADAS DE TERMOELÉTRICAS PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS INTERTRAVADOS

Data de aceite: 10/01/2022

Data de submissão: 06/10/2021

### Maria Regilene Gonçalves de Alcantara

Instituto Federal do Ceará campus Juazeiro do Norte Juazeiro do Norte - Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/4618301557655424>

### Suely Helena de Araújo Barroso

Universidade Federal do Ceará  
Fortaleza - CE  
<http://lattes.cnpq.br/5132757639915375>

### Viviane Brito Viana

Instituto Federal do Ceará campus Juazeiro do Norte Juazeiro do Norte - Ceará  
<http://lattes.cnpq.br/8766315494596195>

**RESUMO:** Os setores da construção civil e pavimentação possuem grande potencial para absorver resíduos que podem ser usados na fabricação de Blocos de Concreto para Pavimentos Intertravados (BCPI). Baseado nessa alternativa, o estudo teve por objetivo testar as cinzas pesadas (*bottom ash*), oriundas de uma usina termoeétrica do estado do Ceará, na substituição de agregados miúdos naturais para fabricação de BCPI. Para tanto, foram coletadas cinzas da termoeétrica e agregados convencionais. Inicialmente, foram realizados ensaios de caracterização dos materiais, dosagem e fabricação do concreto, bem como ensaios mecânicos e ambientais dos blocos de acordo com especificações normativas. Fabricou-se o concreto para os blocos com Traço

de Referência (TR) e Traços (T) alternativos nas porcentagens de T10, T20, T30, T40 e T50 de substituição em sua fração miúda por cinza. Foram realizados ensaios no concreto no estado fresco, em todos os traços, pelo método de ensaio consistômetro “VeBe” onde foram classificados como concreto extremamente seco. Todos os blocos foram aprovados quanto à inspeção visual, avaliação dimensional e desgaste à abrasão. Entretanto, para o caso do ensaio de resistência à compressão, constatou-se que todos os traços, inclusive o TR, apresentaram valores inferiores ao recomendado na ABNT NBR 9781:2013 é de 35 Mpa. Ambientalmente, a cinza pesada e os blocos classificaram-se como resíduos não perigosos e não inertes. Conclui-se que os traços utilizados na fabricação dos BCPI com cinza pesada e agregados naturais, segundo avaliação da norma, não podem ser utilizados para tráfego de veículos leves e veículos comerciais de linha, mas podem ser empregados em ambientes com sobrecargas pequenas, como, por exemplo, em calçadas, praças e ciclovias. Sugere-se que a norma brasileira referente aos BCPI sejam revistas, para que possam considerar uma análise mais mecânica dos esforços que atuam no pavimento intertravado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pavimento intertravado. Resíduos. Termoeétrica. Cinzas pesadas.

### STUDY OF THE USE OF HEAVY THERMOELECTRIC ASHES FOR THE PRODUCTION OF CONCRETE BLOCKS FOR INTERLOCKED FLOORS

**ABSTRACT:** The construction and paving sectors

have great potential to absorb wastes that can be used in the manufacture of Concrete Blocks for Interlocking Pavements (CBIP), making it an important engineering solution. Based on this alternative, the study had as objective to test the bottom ash, from a thermoelectric of the state of Ceará, in the substitution of natural fine aggregates in the manufacture of CBIP. In order to do so, it was collected ashes of the thermoelectric and conventional aggregates for the measurement of a reference trace and alternative traces of substitution. Initially, tests were carried out to characterize the materials, dosage and manufacturing of the concrete, as well as mechanical and environmental tests of the blocks according to normative specifications. The concrete for the blocks with wix of Reference (TR) and Traces (T) in the percentages of T10, T20, T30, T40 and T50 of substitution in its small fraction by ash was fabricated. Tests were performed on the concrete in the fresh state, of all traces, by the “VeBe” consistometer test method being classified as “extremely dry” concrete. All block were approved for visual inspection, dimensional assessment and abrasion wear. However, in the case of the compressive strength test, it was found that all traces, including TR, presented values lower than 35Mpa at 28 days of cure. Environmentally bottom ash and blocks were classified as non-hazardous and non-inert waste. It is concluded that the traces used in the manufacture of CBIP with bottom ash and natural aggregates, according to the evaluation of ABNT NBR 9781: 2013, can not be used for traffic of light vehicles and commercial vehicles of line, but can be used in environments with overloads such as sidewalks, squares and cycle paths.

**KEYWORDS:** Interlocked pavement. Waste. Thermoelectric. Bottom ashes.

## 1 | INTRODUÇÃO

A questão meio ambiente, sociedade e sustentabilidade tem sido motivo de intensos debates no âmbito técnico e acadêmico, compondo um novo paradigma no intuito de evitar ou amenizar as consequências do uso inadequado dos recursos naturais haja vista que esses são limitados, sendo importante encontrar alternativas para garantir o progresso sem que se esgotem. De acordo com Costa (1998), o aproveitamento de resíduos deve ser encarado como uma prática preservacionista e restauradora, de elevado sentido ambiental e ecológico. Assim, reaproveitar ou reutilizar resíduos sólidos de outras atividades ou processos torna-se essencial na prática da engenharia mais moderna e autossustentável.

Diante desse cenário, podem-se citar os resíduos gerados pelas atividades das usinas termelétricas, onde ocorre o processo de geração de energia utilizando carvão mineral como combustível. Nesse processo são gerados resíduos sólidos que podem ser classificados em: escória da caldeira, cinzas pesadas ou bottom ash (mais densas), cinzas leves ou fly ash (menos densas) e o Spray Dryer Ash (SDA) gerado do sistema de dessulfurização dos gases da combustão (FGD).

Tendo em vista o contexto apresentado, esta pesquisa buscou investigar a viabilidade em reaproveitar os resíduos, como as cinzas pesadas, provenientes das termelétricas movidas a carvão mineral para fabricação de Blocos de Concreto para Pavimentos Intertravados (BCPI), substituindo na composição do concreto porcentagens dos agregados naturais por cinzas.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com a Resolução do Conama no 313/2002 que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, a definição para resíduo sólido industrial é tudo o que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semissólido, gasoso – quando contido, e líquido – cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2002).

No Brasil, de acordo com a PNRS, a destinação dos resíduos industriais é obrigação do gerador. Se o gerador é o responsável pelo tratamento e pela destinação final dos resíduos, ele pode executar esse papel por si próprio – tratamento interno – ou contratar serviços de empresas especializadas – tratamento externo. Nesse sentido, elaborou-se um conjunto de normas brasileiras relacionadas, resumidamente apresentadas na Figura 1.

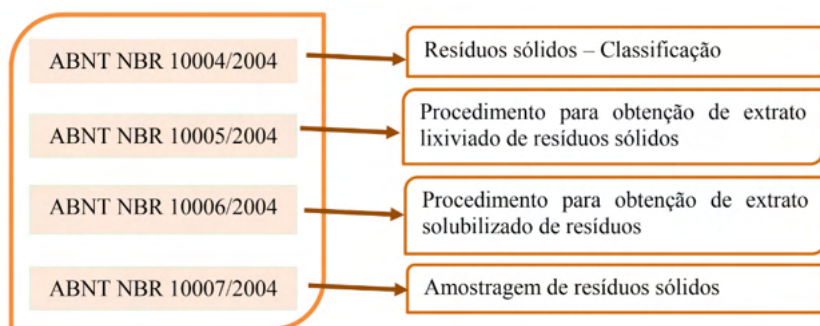


Figura 1 – Normas para classificação e padronização dos resíduos sólidos.

Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

De acordo com ABNT NBR 10004:2004, na classificação dos resíduos sólidos devem ser considerados alguns aspectos como o reconhecimento do processo ou atividade que o gerou, da sua composição e características e ainda a comparação desses compostos com listagem de resíduos e substâncias no que se refere aos impactos causados ao meio ambiente e saúde para que sejam conhecidos. Dessa forma a classificação para os efeitos desta Norma, os resíduos são classificados em:

- a) **Resíduos Classe I – Perigosos:** são os resíduos que apresentam periculosidade ou pelo menos uma das seguintes características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade;
- b) **Resíduos Classe II – Não Perigosos:** são os resíduos não perigosos e que não se enquadram na classificação de resíduos classe I.

## 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Materiais

Para elaboração do presente trabalho foram usados os materiais descritos na Tabela 1 que apresenta a nomenclatura para identificá-los.

<b>Materiais</b>	<b>Nomenclatura Adotada</b>
Agregado Graúdo Natural	AGN
Agregado Miúdo Natural	AMN
Agregado Graúdo – Cinza Pesada	AGCP
Agregado Miúdo – Cinza Pesada (beneficiada)	AMCP
Cinza Pesada ( <i>in natura</i> )	CPIN
Aglomerante – Cimento	CIME
Areia Natural	ARN
Aditivo	ADIT

Tabela 1 – Nomenclatura Usada para Identificar os Materiais Usados na Pesquisa.

Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

### 3.2 Fabricação dos Blocos e Realização dos Ensaios Normalizados

Para a fabricação dos blocos todos os materiais foram secos em estufa e a cinza pesada foi separada nas mesmas curvas granulométrica dos AMN e AMCP. Em seguida, procedeu-se a determinação do peso dos materiais para a confecção do TR e demais traços (AGN+AMN+CIME+ÁGUA+ADITIVO diluído na água + %AMCP). Para isto, foram necessários: (i) baldes de plástico limpo para armazenar os agregados e transportar o concreto fabricado; (ii) betoneira (iii) vibroprensa e (iv) pessoal com experiência para operar os equipamentos.

A máquina de Vibroprensa fabricada pela Empresa Tprex que se utilizou na pesquisa é operada manualmente, por acionamento hidráulico. A capacidade do cilindro hidráulico da referida máquina é de 4 toneladas e o motor responsável pela vibração tem 10 cv de potência.

Foram realizados ainda ensaios nos blocos já endurecidos de acordo com ABNT NBR 9781:2013, os requisitos e métodos de ensaios exigíveis para aceitação ou rejeição das peças de concreto para pavimentação intertravada. As amostragens para os ensaios de aceitação devem considerar o lote de fabricação, onde de cada lote devem ser retiradas, aleatoriamente, peças inteiras que constituam a amostra representativa, conforme especificado na Tabela 2.

Propriedades	Amostra por ensaio	Norma vigente ABNT
Inspeção visual	6 <sup>a</sup>	NBR 9781/2013
Avaliação dimensional	6 <sup>a</sup>	NBR 9781/2013
Absorção de água	3	NBR 9781/2013
Resistência à compressão	6	NBR 9781/2013
Resistência à abrasão	3 <sup>b</sup>	NBR 12042/2013

<sup>a</sup> As peças amostradas podem ser utilizadas também para os ensaios de resistência à compressão ou abrasão.

<sup>b</sup> Ensaio facultativo Tabela 2 – Amostragem para os ensaios nos blocos.

Fonte: Adaptado (ABNT NBR 9781:2013).

De acordo com ABNT NBR 9781 (2013), para os ensaios de inspeção visual, avaliação dimensional e resistência à compressão, a amostra deve ter no mínimo seis peças para cada lote de fabricação até 300 m<sup>2</sup> e uma peça adicional para cada 50 m<sup>2</sup> suplementar, até perfazer a amostra máxima de 32 peças.

Em se tratando do ensaio de resistência à Abrasão empregou-se as recomendações da norma ABNT NBR 12042/2013. Nesse ensaio foram utilizadas duas peças de bloco para cada traço fabricado, onde foram cortadas com disco diamantado duas amostras de cada bloco nas seguintes dimensões (70mm × 70mm × 3 mm). Para a execução deste, primeiramente foi feita a leitura inicial dos corpos-de-prova. A seguir, iniciou-se o ensaio com percursos estipulados e feitas medições conforme indicadas na norma.

O estudo da Estatística apresenta medidas de dispersão que permitem a análise da dispersão dos dados. Entre elas a variância que é uma medida de dispersão que mostra quão distantes os valores estão da média. Quanto maior for a variância, mais distantes da média estarão os valores, e quanto menor for a variância, mais próximos os valores estarão da média (RIBEIRO, 2018). Para as análises estatísticas dos dados foi utilizado como ferramenta o Excel 2013.

## 4 | ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Resultados da Fabricação dos Blocos e da Realização dos Ensaios Normalizados

Nessa fase, foi acompanhado todo o processo de fabricação do concreto, moldagem e cura dos blocos. Após o período de cura de 24 horas, coberto por uma lona, empilhou-se todos os blocos em uma calçada. Após a definição de substituição para os traços, o primeiro traço fabricado foi o TR e a sequência de fabricação dos demais foi de ordem crescente de substituição até 50.

O procedimento para determinação da consistência do concreto seco no estado

fresco foi realizado nos seis traços produzidos nesta pesquisa, utilizando-se o método de determinação da consistência do concreto pelo consistômetro “VeBe” (modificado), onde baseia-se no desempenho das máquinas de vibroprensas utilizadas para fabricação de blocos de concreto para pavimentos intertravados, que necessitam do uso de concreto de característica extremamente seca.

Assim, como as vibroprensas trabalham com uma vibração potente e força de compressão sobre o concreto, o ensaio com o consistômetro “VeBe” modificado se enquadra e melhor assemelha a esse processo.

Este ensaio pode ser realizado tanto em laboratório quanto “in situ” sobre mistura de concreto pronta para despejar no local. No que se refere à pesquisa, ele foi realizado “in situ” imediatamente após o concreto ser fabricado, de acordo com os seguintes passos:

- coletou-se uma quantidade em balde (equivalente a 18 litros) em cada um dos traços rodados;
- lançou-se o concreto no cone que depois, após compactar cada camada a 1/3 da altura com 25 golpes da haste metálica de cheio é socado (25 golpes);
- retira-se o cone e afere-se o abatimento;
- liga-se a mesa vibratória ao mesmo tempo em que solta-se o disco transparente com o peso. No tocante, à pesquisa foi utilizado um disco de peso = 7,2 kg, que ficou sobre a placa de vidro durante os ensaios das amostras de concreto.

A consistência é fornecida conforme a duração de tempo de vibração necessário para o adensamento e a compactação da amostra utilizada. A Tabela 3 apresenta os resultados desta pesquisa, de acordo com a classificação da norma ACI 211.3 – 75.

Traços	Resultados das Amostras Ensiadas		Descrição da Consistência AIC 211.3 (1975)
	Abatimento (mm)	Tempo “VeBe” (s)	
TR	0	30,2	Extremamente seco
T10	0	22,3	Extremamente seco
T20	0	21,5	Extremamente seco
T30	0	21,9	Extremamente seco
T40	0	22,1	Extremamente seco
T50	0	23,1	Extremamente seco

Tabela 3 – Resultados do Consistômetro “VeBe” Modificado para os Seis Traços Investigados.

Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

Neste ensaio os tempos “VeBe” entre 18 a 32 segundos é classificado como extremamente seco, para esta classificação recomenda-se métodos de compactação por



vibração forte e compressão para concretos com essa característica, como foi o caso dos concretos fabricados nesta pesquisa.

Os blocos foram confeccionados de acordo com o Formato Tipo 1, “tijolinho” ou “paralelepípedo”, definidos no Anexo D (ABNT NBR 9781:2013). Foram fabricados cerca de 80 pavers de 10 cm x 20 cm x 10 cm (largura, comprimento e altura), por traço, desconsiderando os desperdícios no processo.

Os ensaios realizados nos blocos já endurecidos são importantes para a aceitação ou rejeição dos blocos de concreto para pavimentos intertravados. Eles foram executados conforme as exigências da ABNT NBR 978 (2013). O primeiro ensaio realizado foi o de análise visual, onde foram avaliadas seis peças de cada traço fabricado, totalizando 36 peças avaliadas. Visualmente, não apresentaram modificações na sua aparência para nenhum dos traços de estudo.

No quesito avaliação dimensional das peças de concreto para pavimento intertravado, cumpriram-se os requisitos em todas as 36 amostras submetidas à inspeção. Nessa avaliação também foi visto o índice de forma (IF), que é a relação entre o comprimento e a espessura da peça de concreto. As peças fabricadas nesta pesquisa apresentaram IF igual a 2, atendendo à ABNT NBR 9781:2013 que recomenda, para peças de concreto utilizadas em vias com tráfego de veículos (leves ou pesados) ou áreas de armazenamento, valor de IF menor ou igual a 4.

Para a avaliação da absorção de água das peças de concreto foram utilizadas três amostras para cada traço fabricado, totalizando dezoito amostras. A Tabela 4 apresenta os valores da massa seca ( $m_1$ ), massa saturada ( $m_2$ ) e absorção de água de cada amostra e também apresenta a absorção de água média das amostras. Os valores que destacados são os que não atenderam à norma ABNT NBR 9781(2013).

Traços	Itens avaliados	Amostras			Média da absorção de água (%)
		TR1	TR2	TR3	
		TR1	TR2	TR3	
TR	Massa seca ( $m_1$ ) em kg	4,19	4,22	4,15	1,89
	Massa saturada ( $m_2$ ) em kg	4,26	4,30	4,24	
	Absorção (A) %	1,49	1,98	2,20	
		T101	T102	T103	
T10	Massa seca ( $m_1$ ) em kg	4,02	4,22	4,02	3,46
	Massa saturada ( $m_2$ ) em kg	4,22	4,31	4,15	
	Absorção (A) %	5,06	2,10	3,23	
		T201	T202	T203	

T20	Massa seca ( $m_1$ ) em kg	4,13	4,05	4,07	7,05
	Massa saturada ( $m_2$ ) em kg	4,43	4,36	4,34	
	Absorção (A) %	7,08	7,47	6,59	
		T301	T302	T303	
T30	Massa seca ( $m_1$ ) em kg	3,68	3,85	3,89	6,86
	Massa saturada ( $m_2$ ) em kg	4,01	4,11	4,08	
	Absorção (A) %	8,89	6,76	4,92	
		T401	T402	T403	
T40	Massa seca ( $m_1$ ) em kg	3,70	3,62	3,68	8,80
	Massa saturada ( $m_2$ ) em kg	3,97	3,97	4,02	
	Absorção (A) %	7,37	9,64	9,39	
		T501	T502	T503	
T50	Massa seca ( $m_1$ ) em kg	3,70	3,56	3,67	7,98
	Massa saturada ( $m_2$ ) em kg	3,99	3,89	3,90	
	Absorção (A) %	7,86	9,35	6,75	

Tabela 4 – Resultados dos Ensaios de Absorção de Água.

Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

Os valores individuais da absorção de água das peças de concreto dos seis traços fabricados e o valor limite de absorção de água estabelecido na ABNT NBR 9781 (2013) que é de 7% para as amostras individuais. A maior absorção de água individual, desconsiderando da análise o traço de referência, foi obtida na peça do T40 que resultou em 9,64%, e a menor ocorreu na peça do T10 que resultou no valor de 2,10%. Essa avaliação foi feita apenas para as peças com substituição de cinzas. Os resultados mostraram que algumas amostras não apresentaram absorção de água (individual) de acordo com o exigido nas normas técnicas.

O valor limite de absorção de água média que é estabelecido na ABNT NBR 9781 (2013) é de 6%. No entanto, as peças de concreto que apresentaram maior absorção de água média foi T40 (8,80%) e a de menor absorção foi T10 de 3,46%.

Os resultados mostraram que de todas as amostras, apenas a amostra de T10 apresentou absorção de água média de acordo com o exigido nas normas técnicas. Segundo Cruz (2003), a absorção de água pode mensurar a durabilidade dos blocos, pois aponta o volume de vazios existentes e com isso sua permeabilidade, sendo assim, quanto maior a permeabilidade, menor a resistência ao processo de eflorescência. Por essa razão, é possível afirmar que é imprescindível o controle de absorção de água dos blocos intertravados de concreto quando sua aplicação ocorrer em áreas expostas a umidade.

Com relação a resistência à compressão que é uma propriedade importante do concreto, visto que as normas nacionais e internacionais a adotam como referência para estimar as demais resistências. As peças de pisos intertravados utilizadas para o ensaio de resistência à compressão simples tiveram as superfícies de carregamento retificadas por uma serra, e mantidas submersas em água por 24 horas antes do rompimento que ocorreu em idades de 7 e 28 dias, resultando em um total de 72 blocos rompidos, sendo seis blocos para cada traço e para cada idade. Após a cura, os blocos foram rompidos por uma prensa universal de ensaios de capacidade de 300 kN.

O principal objetivo do controle da resistência à compressão dos blocos é a obtenção de um valor potencial, único e característico da resistência à compressão de um determinado lote de fabricação de blocos, com o objetivo de comparar esse valor com o exigido na ABNT NBR 9781 (2013). As análises dos resultados da resistência característica estimada à compressão para os blocos intertravados dos traços TR, T10, T20, T30, T40 e T50 estão apresentadas, respectivamente, nas Tabelas de 21 a 22. Para isso, foram aplicadas as equações presentes no Anexo A da ABNT NBR 9781 (2013), onde determinaram-se as resistências individuais e a média, como também a área de carregamento, a força aplicada, fator  $p$ , o coeficiente de Student, etc., todos expostos de acordo com relatório exigido no referido Anexo.

Para avaliar os resultados obtidos nesse ensaio foi realizada uma análise estatística dos resultados individuais de resistência à compressão dos blocos intertravados. Para tanto, utilizou-se a Estatística Descritiva para a análise dos resultados de cada traço conforme apresentado nas Tabelas de 5 a 6, onde estão apresentados os valores das médias, desvio padrão, variância, coeficiente de variação e amplitude para cada traço aos 7 e 28 dias de idade.

	TR	T10	T20	T30	T40	T50
fp – resistência média (MPa)	28,19	19,09	12,25	14,11	8,28	10,24
Desvio Padrão (MPa)	5,37	2,25	2,52	4,50	1,28	2,09
Variância	28,84	5,08	6,34	20,23	1,64	4,38
Coeficiente de Variação (%)	19,05	11,81	20,55	31,89	15,46	20,45
Amplitude (MPa)	14,28	5,88	7,14	13,34	3,47	5,04

Tabela 5 – Dados Estatísticos da Resistência à Compressão dos BCPI aos 7 dias.

Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

	TR	T10	T20	T30	T40	T50
fp – resistência média (MPa)	30,03	21,65	14,53	17,13	9,26	9,35
Desvio Padrão (MPa)	6,68	2,11	4,46	3,15	1,72	1,59
Variância	44,59	4,47	19,94	9,94	2,96	2,54
Coefficiente de Variação (%)	22,24	9,77	30,74	18,40	18,59	17,05
Amplitude (MPa)	16,49	5,99	11,45	8,09	4,62	3,15

Tabela 6 – Dados Estatísticos da Resistência à Compressão dos BCPI aos 28 dias.

Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

Analisando os resultados das Tabelas supracitadas, observou-se que aos 7 dias de cura os traços TR e T30 apresentaram desvio padrão mais elevado e obtiveram as duas maiores variâncias se comparado ao demais traços. No entanto, o T10 apresentou baixa dispersão, se comparado aos traços TR, T20 T40 e T50 que apresentaram média dispersão e o T30 apresentou uma alta dispersão.

No entanto, aos 28 dias o traço TR permaneceu com elevado valor de desvio padrão e T20 também apresentou essa característica. Porém, o T10 apresentou baixa dispersão. Mas, os traços TR, T30, T40 e T50 apresentaram média dispersão e o T20 apresentou alta dispersão.

Diversos são os fatores que podem ter causado essas discrepâncias nos dados estatísticos desse ensaio. Porém, nesse estudo não houve tempo para uma análise mais profunda que comprovasse efetivamente qual ou quais as causas reais que resultou esses valores nos resultados apresentados.

Os valores de resistência média e resistência estimada aos 7 e 28 dias dos blocos fabricados nesta pesquisa foram encontrados por meios de relatórios de ensaio exigido no Anexo A da ABNT NBR 9781:2013 e descritos na Tabela 7.

Traço	Idade	Resistência Média a Compressão das peças (fp) (MPa)	Resistência Característica a Compressão Estimada (f <sub>pk</sub> ) (MPa)
TR	7	28,19	23,25
	28	30,03	23,89
T10	7	19,09	17,02
	28	21,65	19,7
T20	7	12,25	9,93
	28	14,53	10,42
T30	7	14,11	9,97
	28	17,13	14,23

T40	7	8,28	7,10
	28	9,26	7,67
T50	7	10,24	8,31
	28	9,35	7,88

Tabela 7 – Resistência Média e Resistência Característica.

Fonte: Elaborado pela Autora (2018).

De acordo com a Tabela 7 foi elaborado um gráfico ilustrado na Figura 2, onde pode-se perceber que houve uma diminuição das resistências a compressão (estimada e média) que pode ter ocorrido pelas características de que as cinzas tendem a absorver grande quantidade de água; isto pôde ser observado nos blocos com maior teor de substituição de cinza.

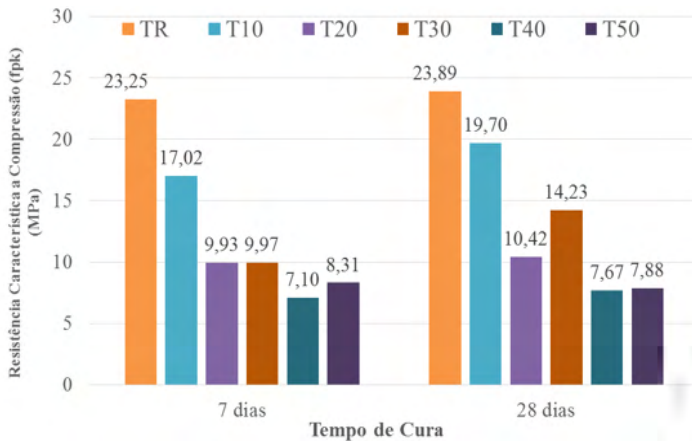


Figura 2 – Resultado do ensaio de resistência à compressão dos BCPI.

Fonte: Autora (2018).

Ainda, pode ser observado na Figura 2 uma redução na resistência à compressão com adição de cinza em todos os teores de substituição, em relação ao traço de referência e em todas as idades.

No entanto, aos 28 dias observa-se um maior incremento na resistência para os T10, T20, T30 e T40 e uma redução de T50 em comparação ao tempo de cura de 7 dias, esse fato pode ser atribuído ao indicativo potencial de pozolanicidade das cinzas pesadas, isto pode levar a um ganho maior de resistência a idades superiores a 28 dias. Ainda que os resultados obtidos não atendem ao preconizado na norma que exige valores de resistência a compressão simples superiores a 35 MPa para tráfego de veículos. Entretanto, o uso dos blocos fabricados com cinza pesada pode ser recomendado para uso em calçadas,

passeios, públicos, praças, e urbanização em geral.

O resultado do ensaio de resistência à Abrasão é dado pela diferença entre as médias das leituras efetuadas em quatro pontos, antes e após o ensaio, quando percorridos 500 m e 1000 m.

Os procedimentos de avaliação para os resultados do ensaio de resistência a Abrasão alcançados na pesquisa foram analisados de acordo com recomendações da ABNT NBR 9781:2013. Os desgastes á abrasão aos 28 dias de idade dos traços produzidos (referência e com % de substituição de cinza), atenderam aos critérios para resistência à abrasão exigidos pela referida norma, tanto para o critério de solicitação de tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, quanto para o tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados. Dos traços de substituição, o T50% foi o traço que obteve maior desgaste.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a preocupação com a geração de resíduos, desenvolveu-se uma metodologia visando aplicar um maior percentual de cinza pesada em BCPI. Os resultados apresentados no presente trabalho indicaram possibilidade do uso das cinzas na composição dos pavimentos intertravados.

A utilização das cinzas pesadas em BCPI pode apresentar vantagens tanto em relação aos aspectos técnico-econômicos, quanto em relação às questões ambientais e estéticas. O aproveitamento desse resíduo contribui para o desenvolvimento sustentável do local onde esteja localizado, reduzindo a extração de matérias-primas não-renováveis, otimizando o uso dos aterros e contribuindo para o não crescimento desgovernado desses.

No entanto, ainda que os BCPI fabricados nesta pesquisa não atenderam 100% às exigências da ABNT NBR 9781:2013 (para tráfego de veículos leves e veículos comerciais de linha, de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados), ainda há a possibilidade de serem utilizados em calçadas, passeio público, urbanização, redutor de velocidade ou em locais que não demandem elevada solicitação do pavimento.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: resíduos sólidos - classificação. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 10.005**: procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 10.006**: procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 10.007**: amostragem de resíduos sólidos. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004d.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 12042**: materiais inorgânicos – determinação do desgaste por abrasão. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 248**: agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 7211**: agregados para concreto – especificação. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR 9781**: peças de concreto para pavimentação – especificação e métodos de ensaio. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre o inventário nacional de resíduos sólidos industriais. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF: Imprensa Oficial, 2002.

COSTA, C. E. Incorporação de rejeitos na indústria cerâmica. Qualidade na construção. **SindusCon**, São Paulo, n. 12, ano II, p. 44-46, 1998.

LEANDRO, R. P. **Estudo laboratorial acerca da possibilidade de aproveitamento da cinza pesada de termoeétrica em bases e sub-bases de pavimentos flexíveis**. 2005. Dissertação (Mestrado em Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

RIBEIRO, A. G. **Variância e desvio padrão**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/matematica/variancia-desvio-padrao.htm>>. Acesso em: 03 set. 2018.

SANTOS, C. R. **Estudo da utilização de rejeitos de carvão na fabricação de blocos de concreto para pavimentação em substituição ao agregado miúdo natural**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

## ÍNDICE REMISSIVO

### B

Base stations 81  
Bibliometria 42, 44, 46, 50, 52  
Bibliometrics 42, 43  
Bottom ashes 15  
BRT 55, 56, 57, 59, 60, 62, 63, 64

### C

Campos electromagnéticos (EMF) 81  
Cinzas pesadas 14, 15, 24, 25  
Cluster models 27  
Competitividade logística 27  
Comunicaciones móviles 81  
Cost of transaction 56  
Custos de transação 56, 57, 58, 59, 62, 63, 64

### D

Distinct qualities 2  
Driver 90

### E

Educational hubs 66  
Electromagnetic fields (EMF) 81, 89  
Estaciones base 81, 82, 89  
Estruturas de governança 55, 56, 57, 58, 59, 63, 64

### F

Free trade zone 27

### G

Generación 66, 67, 68, 72, 73, 76, 77, 78, 79  
Governança 55, 56, 57, 58, 59, 63, 64  
Governance 55, 56

### I

Indicadores espaciais 42



Institutional arrangements 55, 56

Interlocked pavement 15

## **L**

Logistics competitiveness 27

## **M**

Manifestações patológicas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11

Mobile communications 81

Mobilidade 51, 59, 60, 63, 90, 91, 97, 98

Mobility 53, 54, 90

Modelos de aglomeração 27

Motorcycles 66

Motorista 90, 94, 96

Motovehículos 66, 67, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 80

## **N**

Non-ionizing radiation 81

## **P**

Pathological manifestations 1, 2

Pavement 1, 2, 15

Pavimento 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 20, 25, 95

Pavimento intertravado 14, 20

Pedestre 90, 94, 95

Pedestrian 90

Polos universitarios 66, 78

Public transport 42, 43, 45, 47, 48, 50, 52, 53, 56

## **Q**

Qualidades distintas 1, 3

## **R**

Radiación no ionizante 81, 82, 83, 89

Radiofrecuencia (RF) 81

Radio frequency (RF) 81, 89

Resíduos 14, 15, 16, 25, 26

## **S**

Safety 53, 90

Segurança 2, 3, 63, 90, 91, 92, 94, 95, 96, 97, 98

Space indicators 43

Sustainability 42, 43, 45, 47, 48, 50, 53

Sustainable transport 43, 52, 54

Sustentabilidade 15, 42, 43, 47, 48, 49, 51, 52, 99

## **T**

Termoelétrica 14, 26

Thermoelectric 14, 15

Transporte público 42, 43, 44, 47, 48, 49, 51, 52, 59, 60, 61, 63, 64, 67, 71, 75, 79, 99

Transporte sustentável 42, 43, 48




Trip generation 66, 67, 79

## **W**

Waste 15

## **Z**

Zona franca 27, 28, 35, 38, 39, 40, 41

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)


---


*Collection:*


# APPLIED TRANSPORT ENGINEERING

---

  
Ano 2022

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

*Collection:*

# APPLIED TRANSPORT ENGINEERING