

# AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DE CINZAS PESADAS DE TERMELÉTRICA EM BLOCOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS<sup>1</sup>

SILVA, W.B.C., Universidade Federal do Ceará, email: webertcirilo@hotmail.com; BARROSO, S.H.A., Universidade Federal do Ceará, email: suelly@det.ufc.br; CABRAL, A.E.B., Universidade Federal do Ceará, email: eduardo.cabral@ufc.br

## ABSTRACT

*In order to study the behavior of concrete in interlocking blocks for paving, it was decided to incorporate bottom ashes, which are residues generated significantly by means of a thermoelectric plant, in the composition of the same concrete. After the collection of conventional and alternative materials, physical characterization tests were performed. By means of the granulometric stabilization, an alternative ash and a conventional aggregate reference traces were used. After the production of the concrete, this, in the hardened state, was subjected to the compressive strength and water absorption tests. It is concluded that the results obtained, from the experimental program, encourage the use of bottom ashes on interlocked concrete pavements.*

**Keywords:** Blocks. Ashes. Thermoelectric. Stabilization. Interlocked.

## 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O pavimento é constituído por diversos materiais em suas camadas granulares e revestimento. Dessa forma, o aproveitamento de resíduos pode ser considerado um tema importante de pesquisa, pois envolve o uso de materiais alternativos que podem ser advindos de parques industriais. Um exemplo são as usinas termelétricas, as quais produzem cinzas como resíduos.

É interessante que as cinzas produzidas em termelétricas possam ser aplicadas na fabricação do Bloco Intertravado de Pavimento (BIP), o qual pode ser utilizado no revestimento de estradas. Sendo o BIP feito, normalmente, de concreto, este é composto por materiais convencionais, assim, existe a possibilidade de as cinzas substituírem algum desses componentes.

Diversos autores estudaram a incorporação de cinzas e de outros materiais alternativos na composição do concreto utilizado em BIPs, tais como: óxido de alumínio (Souza, 2011); resíduo de construção e demolição (Sales, 2009); pó de vidro (Lodi; Gambin; Weit, 2014); garrafa PET (Pires, 2015) e cinza do bagaço de cana-de-açúcar (Nascimento e Formagini, 2008).

Em todos os trabalhos relatados no parágrafo anterior, houve uma comparação de desempenho entre o concreto dosado com o traço de

<sup>1</sup> SILVA, W.B.C., BARROSO, S.H.A., CABRAL, A.E.B. Avaliação da aplicação de cinzas pesadas de termelétrica em blocos intertravados de concreto para pavimentos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

referência sem resíduo e os traços alternativos. Uma das propriedades mecânicas investigadas foi a Resistência à Compressão Simples (RCS) que, de acordo com a norma NBR 9781 (ABNT, 2013) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), possui um valor mínimo de 35 MPa. Entre os trabalhos, nos quais o concreto atingiu os requisitos necessários, estão os de Pires (2015) e Nascimento e Formagini (2008). Apesar dos resultados alcançados de RCS serem insuficientes nos outros estudos, é preciso destacar que existe a possibilidade de os BIPs serem destinados a áreas com menor solicitação de tráfego, como ciclovias.

Com relação ao aproveitamento de resíduos na área da Construção Civil, foi testada a incorporação de cinzas leves, advindas da Usina Termelétrica do Pecém (UTP), no concreto (Araújo, 2016). Ao final do período de cura (63 dias), no ensaio de RCS, os resultados referentes aos traços alternativos foram superiores ao traço de referência.

Motivados pelo tema da sustentabilidade na construção civil, o objetivo deste trabalho será avaliar o uso de cinzas pesadas, advindas de usina termelétrica, na composição do concreto utilizado em BIPs. No caso, a cinza pesada substituirá, em massa, 10% do agregado graúdo brita 19,0 mm.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Para a produção do concreto, serão selecionados os seguintes materiais: cinzas pesadas de carvão mineral, brita 19,0 mm e 12,5 mm, cimento CP V – Alta Resistência Inicial (ARI), água, areia natural, que se origina da lavagem das britas, e artificial, que é resultado do processo de britagem dos agregados graúdos. Com relação às britas e às areias, é importante colocar que esses materiais são do tipo fonólito, que é resultado do resfriamento do magma expelido, em forma de lava, por vulcões.

### 2.2 Primeira etapa metodológica

Os Quadros 1 e 2 mostram, respectivamente, os ensaios de caracterização realizados nas cinzas e nos materiais convencionais. Algumas das normas são do antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) e, atualmente, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Quadro 1 – Ensaios realizados nas cinzas com as suas normas vigentes

Ensaios	Normas vigentes
Preparação de amostras para ensaios de caracterização	ME 041 (DNER, 1994a)
Análise granulométrica	ME 051 (DNER, 1994b)
Limite de plasticidade	ME 082 (DNER, 1994c)

Densidade real	ME 093 (DNER, 1994d)
Limite de liquidez	ME 122 (DNER, 1994e)

Fonte: Os autores

Quadro 2 – Ensaio realizados nos agregados com as suas normas vigentes

Ensaio	Normas vigentes
Massa unitária	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Massa específica para agregado miúdo	NBR NM 52 (ABNT, 2003a)
Massa específica para agregado graúdo	NBR NM 53 (ABNT, 2009)
Composição granulométrica	NBR NM 248 (ABNT, 2003b)

Fonte: Os autores

## 2.3 Segunda etapa metodológica

Nesta etapa, através da aplicação do traço de referência em massa, utilizado por uma empresa especializada na produção de BIPs de concreto com RCS de 35 MPa aos 28 dias de cura, serão realizadas as misturas dos materiais. Esse traço está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição do traço de referência em massa do concreto

Traço	Cimento	Areia natural	Areia artificial	Brita 12,5 mm	Brita 19,0 mm	Relação água/cimento
Referência	1	2,33	2,33	1,97	0,45	0,85

Fonte: Os autores

Com relação ao traço alternativo em massa, é utilizada a porção da cinza pesada passante na peneira de 19,0 mm e retida na abertura de 2,0 mm (cinza grossa), substituindo, em massa, 10% de brita 19,0 mm. A Tabela 2 informa, para os dois traços utilizados, os consumos por unidade de volume de cada um dos materiais componentes do concreto. Por fim, é importante destacar que, para a mistura dos materiais, foi usada uma betoneira.

Tabela 2 – Consumos por m<sup>3</sup> dos materiais na composição dos traços

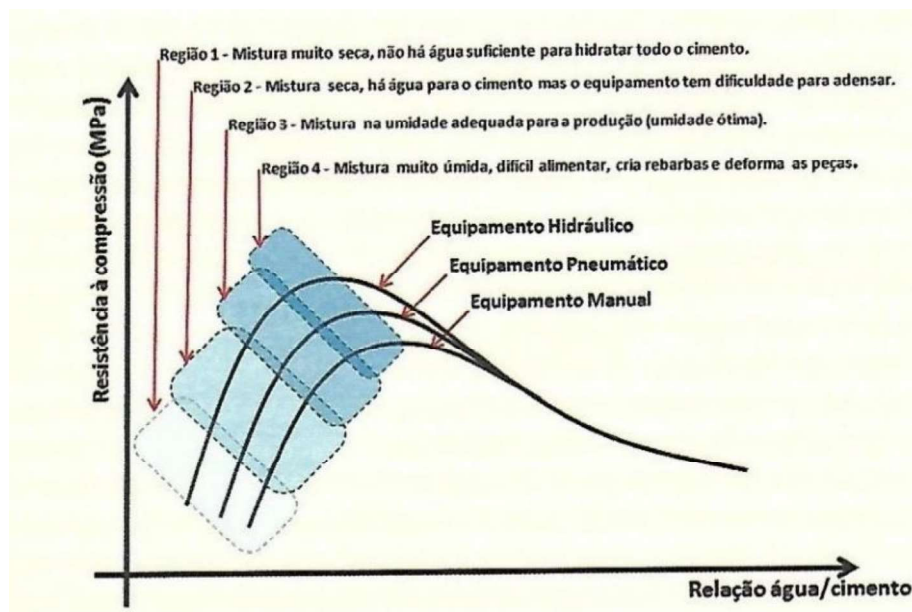
Traço	Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia Natural (kg/m <sup>3</sup> )	Areia Artificial (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 12,5 mm (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 19,0 mm (kg/m <sup>3</sup> )	Cinza Pesada (kg/m <sup>3</sup> )	Água (kg/m <sup>3</sup> )
Referência	279,95	652,43	652,43	551,34	126,10	0	238,49
Alternativo	279,95	652,43	652,43	551,34	113,49	12,61	238,49

Fonte: Os autores

É importante destacar que o concreto a ser trabalhado é do tipo seco, portanto, necessita de maiores quantidades de água para tornar-se trabalhável o suficiente. Nas condições do laboratório, a relação água/cimento de 0,85 pode ser justificada, pois, segundo Fernandes (2016), na curva de Abrams, que relaciona a RCS com a relação água/cimento, ao contrário do concreto plástico, o tipo seco aumenta a sua resistência com o acréscimo de água até certo ponto (ver Figura 1). Isso acontece, pois, a

mistura mais úmida possui uma facilidade maior em ser compactada, o que ocasiona menor quantidade de vazios no interior do concreto em virtude de uma melhor acomodação das partículas.

Figura 1 – Curva de Abrams para concreto seco



Fonte: Fernandes (2016)

Para os ensaios do concreto endurecido, serão utilizados moldes cilíndricos de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura e fôrmas para bloco com dimensões de 10 cm x 20 cm x 6 cm (largura x comprimento x espessura). Dessa forma, o Quadro 3 mostra os ensaios realizados no concreto endurecido.

Quadro 3 – Ensaios realizados no concreto endurecido com as suas normas vigentes

Ensaios	Normas vigentes
Resistência à compressão para corpo-de-prova (CP) cilíndrico	NBR 5739 (ABNT, 2007)
Resistência à compressão para bloco	NBR 9781 (ABNT, 2013)
Absorção de água	NBR 9781 (ABNT, 2013)

Fonte: Os autores

Na confecção dos corpos-de-prova cilíndricos, seguiu-se o procedimento da norma NBR 5738 (ABNT, 2015), e foi utilizado o processo mecânico no adensamento do concreto, sendo necessária uma camada com o uso do aparelho vibrador. Na confecção dos blocos, decidiu-se adaptar o processo de adensamento do concreto ao se seguir a norma NBR 13276 (ABNT, 2016). No caso, é utilizada uma mesa para índice de consistência para a aplicação de trinta golpes em três camadas cada, levando cerca de trinta segundos para cada camada.

Destaque-se que, para o ensaio de RCS, os períodos de cura são de 3, 7 e 28 dias. Para cada período e traço, foram testados três corpos-de-prova

cilíndricos e dois blocos. No ensaio de absorção de água, as amostras foram retiradas depois de 28 dias submersas e, para cada traço, foram testados três corpos-de-prova cilíndricos. Apesar de os corpos-de-prova cilíndricos possuírem um formato diferente dos blocos, ambos são constituídos pelo mesmo tipo de material. Assim, decidiu-se replicar a metodologia do ensaio de absorção de água para o corpo-de-prova cilíndrico.

É importante destacar que serão colocados os valores de desvio padrão, referentes aos resultados para cada traço. Isso será feito com o intuito de comparar os resultados de uma forma mais precisa, para que seja analisado se a substituição dos agregados pelas cinzas pesadas influi, significativamente, sobre os resultados dos ensaios.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Resultados e discussão dos ensaios de caracterização: Primeira etapa

Com relação aos ensaios de caracterização física, os resultados são mostrados nas Tabelas 3 e 4 que ilustram, respectivamente, os resultados para as cinzas e os agregados convencionais.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de caracterização física para as cinzas pesadas

Resíduo	Densidade real	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Umidade higroscópica (%)
Cinzas pesadas	2,35	Não-Plástico (NP)	NP	0,1

Fonte: Os autores

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de caracterização física para os agregados convencionais

Agregado	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )
Brita 19,0 mm	2,500	1359,333
Brita 12,5 mm	2,500	1449,289
Areia natural	2,691	1413,467
Areia artificial	2,602	1464,889

Fonte: Os autores

De acordo com a Tabela 3, a cinza pesada é um material NP, devido à impossibilidade de se obter os valores de limite de liquidez e de plasticidade. Nos estudos de Farias (2005), Lopes (2011) e Barros (2015), nos quais houve a análise de cinzas leves e pesadas, os resultados dos limites de consistência encontrados demonstraram, também, a não plasticidade dos resíduos, dada a característica granular do material. Com relação à Tabela 4, pode-se perceber que as areias possuem massas específicas maiores do que as britas, o que indica que as partículas componentes dos agregados miúdos são mais densas do que os materiais graúdos.

No que diz respeito à granulometria dos agregados e das cinzas, os dados estão presentes na Tabela 5. Pode-se analisar que a cinza pesada possui, em

sua composição, 30,81% dos grãos retidos na peneira 4,75 mm, o que indica que uma porção desse material possui um tamanho correspondente aos agregados graúdos. Dessa maneira, isso é uma evidência de que esse resíduo pode vir a substituir o agregado graúdo, como a brita 19,0 mm. Com isso, na Tabela 5, também, será colocada a granulometria da porção grossa da cinza pesada, que é passante na peneira de 19,0 mm e retida na abertura de 2,0 mm.

Tabela 5 – Granulometria dos materiais em função da porcentagem retida acumulada

Peneiras (mm)	Cinza pesada	Cinza grossa	Brita 19,0 mm	Brita 12,5 mm	Areia natural	Areia artificial
	% Retida acumulada					
25	6,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	10,09	0,00	3,11	0,00	0,00	0,00
12,5	16,86	20,78	67,36	3,47	0,65	0,20
9,5	21,27	34,33	94,66	21,04	1,55	0,20
6,3	26,95	51,77	99,98	62,50	2,85	0,94
4,75	30,81	63,62	100,00	80,17	4,10	2,68
2,36	40,44	93,19	100,00	97,19	15,72	21,24
1,18	45,80	100,00	100,00	99,76	30,58	46,28
0,600	53,78	100,00	100,00	99,76	43,69	64,48
0,300	60,86	100,00	100,00	99,76	57,21	78,18
0,150	73,38	100,00	100,00	99,76	71,77	88,79
Fundo	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Os autores

### 3.2 Resultados e discussão dos ensaios no concreto: Segunda etapa

No concreto endurecido, foram realizados os ensaios de RCS e de absorção de água. Os resultados estão expostos nas Figuras 2, 3 e 4, já os valores de desvio padrão correspondentes serão mostrados na Tabela 6.

Figura 2 – Representação gráfica dos resultados do ensaio de resistência média à compressão para corpos-de-prova cilíndricos

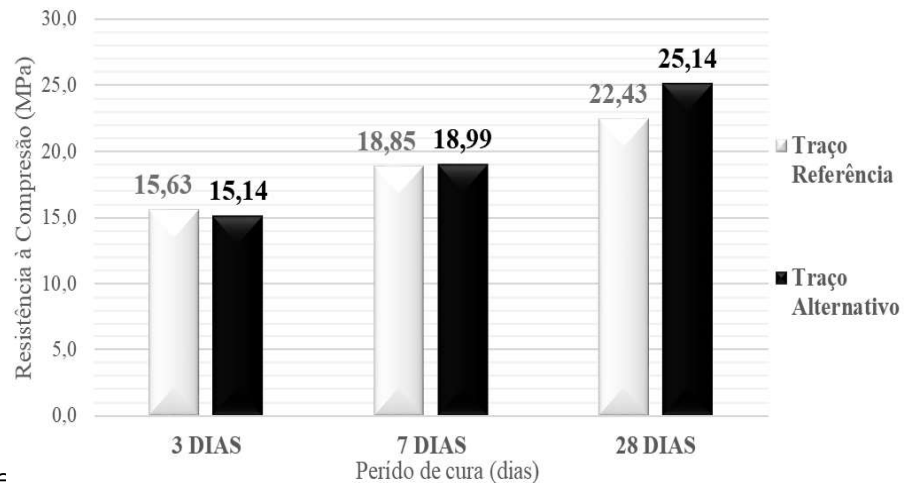


Figura 3 – Representação gráfica dos resultados dos ensaios de ensaio de resistência à compressão característica para blocos

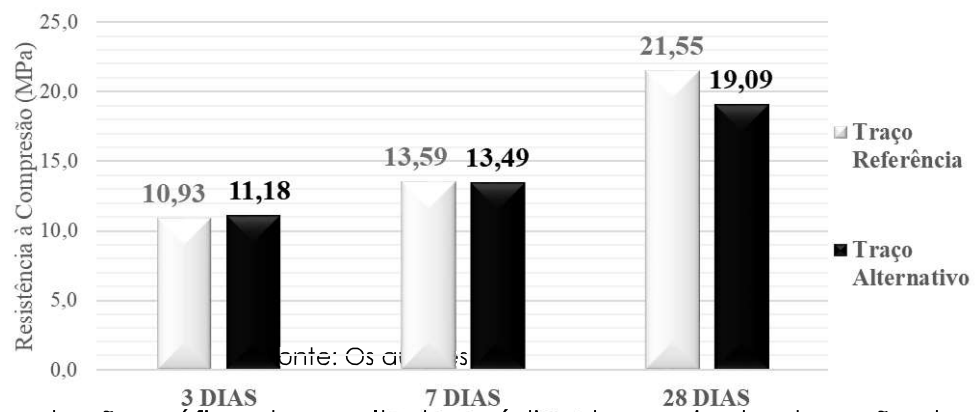


Figura 4 – Representação gráfica dos resultados médios do ensaio de absorção de água para corpos-de-prova cilíndricos

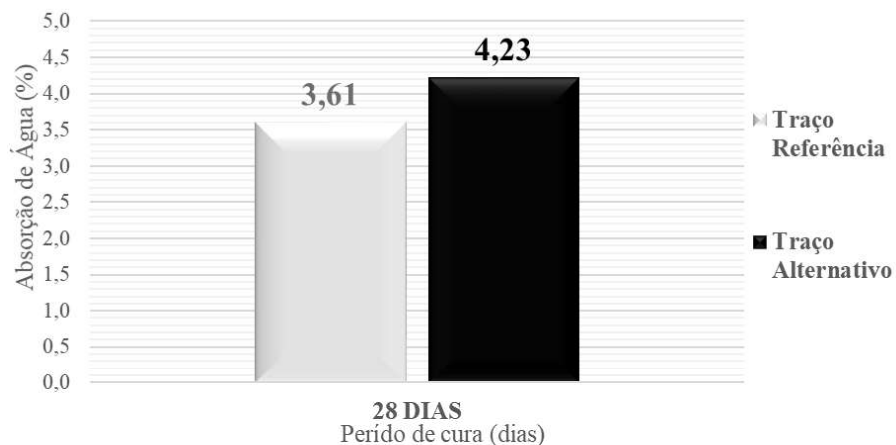


Tabela 6 – Valores de desvio padrão correspondentes a cada ensaio para cada traço de concreto

Traço	Resistência à compressão para corpo-de-prova cilíndrico			Resistência à compressão para bloco			Absorção de água
	3 dias	7 dias	28 dias	3 dias	7 dias	28 dias	28 dias
	Desvio padrão (MPa)			Desvio padrão (MPa)			Desvio padrão (%)
Referência	1,74	0,67	0,83	1,11	0,84	0,19	0,37
Alternativo	0,83	0,56	1,40	1,73	1,22	1,16	0,55

Fonte: Os autores



Analisando as Figuras 2 e 3, destaca-se que todos os valores estão abaixo de 35 MPa, que é o mínimo exigido pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013). Porém, é possível verificar que o concreto dosado com o traço alternativo supera a resistência do traço de referência em alguns períodos de cura, o que é interessante. Por exemplo, no ensaio de resistência à compressão para corpos-de-prova cilíndricos, no período de cura de 28 dias, o resultado apresentado pelo traço alternativo (25,14 MPa) foi superior ao traço de referência (22,43 MPa). Do ponto de vista estatístico, ao ser considerado o erro de um desvio padrão nesse ensaio, o valor de 22,43 MPa não chega a superar 25,14 MPa. Isso mostra que, provavelmente, a substituição de 10%, em massa, de brita 19,0 mm por cinza grossa foi benéfica.

Uma questão a ser considerada é que, no ensaio de resistência à compressão para blocos, o desempenho do traço alternativo, aos 28 dias de cura, foi inferior ao se comparar com o traço de referência. Com relação a isso, algo que pode ter interferido foi o processo de adensamento do concreto, pois, para a confecção de blocos, o mais adequado é o uso de uma máquina de vibro-prensa. O motivo é que esse equipamento consegue compactar o concreto mesmo em estado seco, e o fato do uso de uma mesa para índice de consistência pode ter feito com o que o concreto do traço alternativo não fosse compactado adequadamente.

Com relação ao requisito de 35 MPa, o qual é o valor mínimo de RCS a ser apresentado pelos BIPs, esse limite mínimo precisa ser melhor investigado. A questão é que, de acordo com o dimensionamento do pavimento intertravado, outros parâmetros podem ser levados em consideração. Por exemplo, Huurman (1996) propôs um método de dimensionamento baseado na deformação permanente transversal e longitudinal nas camadas de base e assentamento, considerando a contribuição de todos os componentes do pavimento.

De acordo com a Figura 4, ao observar as médias, a absorção de água do traço alternativo (4,23%) aumentou cerca de 17,17%, com relação ao traço de referência (3,61%). Isso demonstra que a cinza grossa possui porosidade e permeabilidade mais elevadas do que a brita 19,0 mm. Por fim, percebe-se que as duas porcentagens são menores do que 6%, o que está dentro dos limites da norma NBR 9781 (ABNT, 2013).

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Além de ser verificado o traço alternativo como uma possível solução à produção de BIPs, pode-se perceber que os resultados de RCS são inferiores ao mínimo de 35 MPa estabelecido na norma NBR 9781 (ABNT, 2013). Assim, é possível destinar esses blocos com essa dosagem para áreas com menores solicitações de tráfego, como ciclovias.

Após os ensaios realizados, pode-se concluir que o reaproveitamento das cinzas pode ser possível na construção de pavimentos intertravados. Porém, é importante frisar que mais testes sejam feitos, a fim de fornecer mais embasamento para a pesquisa à luz de outros métodos mais racionais,



como é o caso da análise da deformação permanente.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas OCS, Cimento Apodi, Eneva e EDP pela disponibilização dos agregados, cimento e cinzas para a pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003a.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003b.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ARAÚJO, T. G. **Viabilidade de Aplicação das Cinzas da Bacia de Resíduos da Termelétrica do Pecém no Concreto**. Dissertação de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2016. 58 f.

BARROS, K.S. **Estudo de Cinzas Volantes de uma Termelétrica da Região Metropolitana de Fortaleza-CE para Aplicação em Camadas Granulares de Pavimentos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015. 142 f.

DNER DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **ME 041**: Solos – preparação de amostras para ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1994a.

\_\_\_\_\_. **ME 051**: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1994b.

\_\_\_\_\_. **ME 082:** Solos – determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1994c.

\_\_\_\_\_. **ME 093:** Solos – determinação da densidade real. Rio de Janeiro, 1994d.

\_\_\_\_\_. **ME 122:** Solos – determinação do limite de liquidez – método de referência e método expedito. Rio de Janeiro, 1994e.

FARIAS, E.R. **A utilização de misturas solo/cinza pesada na pavimentação – análise de aspectos de comportamento mecânico e ambiental.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005. 121 f.

FERNANDES, I. **Blocos e Pavers:** Produção e controle de qualidade. 7. ed. Ribeirão Preto: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais, 2016. 200 p.

HUURMAN, M. Resilient Behaviour of Concrete Block Pavements and the Granular Materials Used in the Substructure. In: INTERNATIONAL CONCRETE BLOCK PAVING CONFERENCE, 5., 1996, Tel-Aviv. **Anais...** Tel-Aviv, 1996. p. 239-251.

LODI, A.L.G; GAMBIN, G.R.; WEIT, M.L. **Incorporação de Resíduos Vítreos na Fabricação de Blocos de Concreto para Pavimentação Intertravada.** Monografia em Tecnologia em Gestão Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2014. 54 f.

LOPES, L.S.E. **Análise do comportamento mecânico e ambiental de misturas solo-cinzas de carvão mineral para camadas de bases de pavimentos.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011. 206 f.

NASCIMENTO, W. Z. e FORMAGINI, S. Desenvolvimento de Blocos para Pavimentação com Cinzas Residuais de Bagaço de Cana-de-Açúcar. In: SEMINÁRIO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 3., 2008, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: UNIDERP, 2008. Disponível em: <<http://repositorio.pgsskroton.com.br/bitstream/123456789/328/1/DESENVOLVIMENTO%20DE%20BLOCOS%20PARA.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2017.

PIRES, G.W.M.O. **Avaliação de Blocos Intertravados Manufaturados com Concreto Dosado com Resíduos de PET como Alternativa Sustentável na Construção Civil.** Dissertação de Mestrado em Gestão Ambiental e Sustentabilidade, Universidade Nove de Julho. São Paulo, 2015. 113 f.

SALES, R.J.M. **Avaliação de Blocos de Concreto para Pavimentação produzidos com Agregados Reciclados de RCD.** Monografia em Saneamento Ambiental, Instituto Federal do Ceará. Fortaleza, 2009. 55 f.

SOUZA, A.M.P.F.F.C. **Pavimento Intertravado de Concreto com Adição de Resíduos de óxido de Alumínio – Sínter.** Monografia em Engenharia Civil, Universidade São Francisco. Bragança Paulista, 2011. 56 f.