

### **III-255 - PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E MECÂNICAS DE CONCRETOS PERMEÁVEIS COM ADIÇÃO DE AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO**

**Edison Luis Candian Filho<sup>(1)</sup>**

Graduado em Engenharia de Manufatura pela Universidade Estadual de Campinas. Mestrando em Tecnologia com ênfase em Ciência dos Materiais pela Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade Estadual de Campinas.

**Gisleiva Cristina dos Santos Ferreira<sup>(2)</sup>**

Graduada em Tecnologia em Construção Civil pelo Centro Superior de Educação Tecnológica (Ceset) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Mestra e Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Professora Doutora na Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

**Fellipe Lousada Pegolo<sup>(3)</sup>**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)

**Felippe Benavente Canteras<sup>(4)</sup>**

Graduado em Tecnologia em Saneamento Ambiental pelo Centro Superior de Educação Tecnológica (Ceset) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Mestre e Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Professor Doutor na Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

**Simone Andrea Pozza<sup>(5)</sup>**

Graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Mestra e Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Professora Doutora na Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

**Endereço:** Rua Paschoal Marmo, 1888 - Jd. Nova Itália - Limeira - SP -. CEP: 13484-332 – Brasil - Tel: +55 (19) 21133407 - e-mail: candianfilho@gmail.com<sup>(1)</sup>; gisleiva@ft.unicamp.br<sup>(2)</sup>; fellipe\_lousada@hotmail.com<sup>(3)</sup>; fellipe.canteras@ft.unicamp.br<sup>(4)</sup>; simone.pozza@ft.unicamp.br<sup>(5)</sup>.

#### **RESUMO**

O concreto permeável pode ser utilizado como alternativa aos sistemas de drenagem tradicionais, apresentando vantagens devido à menor complexidade e às áreas de retenção de água e o escoamento de águas pluviais. Para aumentar os aspectos sustentáveis deste material pode-se substituir os agregados convencionais (areia e brita) por resíduos sólidos inorgânicos, oriundos de diversos setores produtivos. Uma das opções é a utilização do resíduo identificado como areia descartada de fundição (ADF), oriundo dos processos de moldagem de peças metálicas. Portanto, esta pesquisa teve como objetivo determinar as propriedades físico-químicas e mecânicas de concretos permeáveis com incorporação de ADF. A metodologia proposta inclui o estudo de dosagem de traço de concreto permeável, determinação do coeficiente de permeabilidade e dos índices físicos (porosidade, índice de vazios, absorção de água). Observou-se que a substituição da areia natural quartzosa pela areia descartada de fundição não altera de forma negativa os resultados, sendo possibilitada sua inclusão na mistura de concreto permeável, mantendo uma resistência mecânica considerável e permeabilidade compatível com a de outros estudos reportados na literatura.

**PALAVRAS-CHAVE:** concreto permeável, resíduos sólidos, permeabilidade.

#### **INTRODUÇÃO**

Um dos grandes problemas atuais é o aumento da geração dos resíduos sólidos industriais. As indústrias, em geral, são consideradas grandes geradoras de efeitos nocivos ao meio ambiente através da transformação dos recursos naturais em bens de consumo. Dentro desse contexto, uma das questões com fundamental importância para o ser humano é a necessidade de reaproveitar os resíduos gerados, visando à preservação de recursos naturais e a diminuição da degradação do meio ambiente. Um tipo de resíduo promissor, a ser reaproveitado é a

areia descartada de fundição (ADF), resíduo gerado pela indústria de fundição durante os processos de moldagem de peças metálicas (BINA, 2002). Pesquisas já realizadas, utilizando o resíduo de ADF como matéria-prima na construção civil, comprovam que sua utilização apresenta bom desempenho mecânico (DOMINGUES, 2014; KLINSKY, 2012; MASTELLA et al., 2014).

O concreto permeável é utilizado como alternativa aos sistemas de drenagem complexos e às áreas de retenção de água, facilitando o escoamento de águas pluviais (SCHWETZ et al. 2015). O escoamento indevido na superfície das cidades amplia a cada nova construção residencial, industrial, de via asfaltada, devido à redução da permeabilidade do solo. Essa redução da permeabilidade traz consequências negativas. Superfícies impermeáveis dificultam o escoamento de águas pluviais ocasionando enchentes e gerando desconforto térmico, devido à baixa troca de calor e umidade que tais superfícies possuem com o ar. Uma solução possível para essas problemáticas é a utilização do concreto permeável. Entretanto, este tipo de concreto deve apresentar características mínimas em relação à resistência mecânica, características físicas e permeabilidade. Algumas pesquisas já realizadas com concreto permeável apresentam valores relacionados a essas características (SCHWETZ et al., 2015; CHANDRAPPA e BILLIGIRI, 2016; IBRAHIM et al., 2014; LIM et al., 2013; SUMANASOORIYA e NEITHALATH, 2011).

A produção de concreto permeável, elaborado com substituição do agregado natural pelo resíduo de ADF, é uma das alternativas para a redução do impacto ambiental relacionado ao resíduo e no escoamento de águas pluviais.

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi determinar as propriedades físicas, mecânicas e hidráulicas de concretos permeáveis, com incorporação de ADF.

## METODOLGIA

O lote de ADF utilizado nesta pesquisa foi classificado como resíduo sólido II-A (não perigoso e não inerte) conforme ABNT NBR 10004:2004, que foi fornecido por uma indústria do setor de fundição localizada na região Sul do Brasil. A caracterização dos materiais utilizados neste trabalho seguiu os procedimentos descritos nas normas e procedimentos apresentados na tabela 1.

**Tabela 1: Ensaios de caracterização física dos materiais**

Material	Ensaio	Norma
Areia Quartzosa ADF	Determinação da composição granulométrica	NBR NM 248:2003
	Determinação da Massa Unitária	NBR NM 45:2006
	Determinação da massa específica	NBR NM 52:2002

O traço utilizado neste trabalho foi definido em função das faixas de consumo de materiais relatadas por KIA et al. (2017). A partir destes valores, determinou-se o traço referência, ou seja, com utilização de areia quartzosa (AQ) e o traço com substituição total da areia quartzosa por areia descartada de fundição (ADF). A tabela 2 apresenta as faixas citada por KIA et al. (2017) e o consumo de materiais dos traços especificados para este trabalho.

**Tabela 2: Dados de proporção de misturas relatadas na literatura para concreto permeável**

Material	Kia et al (2017)	Traço de Estudo	
		AQ	ADF
Cimento	150 a 700 kg/m <sup>3</sup>	250 kg/m <sup>3</sup>	250 kg/m <sup>3</sup>
Brita 1	1100 a 2800 kg/m <sup>3</sup>	1500 kg/m <sup>3</sup>	1500 kg/m <sup>3</sup>
Areia Quartzosa	0 a 100 kg/m <sup>3</sup>	60 kg/m <sup>3</sup>	--
Areia Descartada de Fundação	--	--	60 kg/m <sup>3</sup>
Relação Água/Cimento	0,2 a 0,5	0,4	0,4
Relação Agregado/Cimento	2 a 12	6	6
Relação Agregado Fino/Grosso	0 a 0,07	0,04	0,04

Foram moldados os corpos de prova de concreto cilíndricos (10 cm x 20 cm), de acordo com as recomendações da ABNT NBR 5738:2003, representados na figura 1.



(a)



(b)

**Figura 1: (a) Corpos de prova com Areia Quartzosa; (b) Corpos de prova com ADF**

Utilizou-se os procedimentos da ABNT NBR 9778 (2005) para a determinação da absorção de água por imersão e índice de vazios utilizando-se três corpos de prova para cada traço após 28 dias de cura

Os valores de resistência à compressão simples e compressão diametral foram obtidos conforme a norma ABNT NBR 5937:2007 e ABNT NBR 7222:2011 respectivamente, após 7 e 28 dias de cura.

Devido ao fato de não existirem normas brasileiras para a realização do ensaio de permeabilidade, o procedimento foi realizado segundo as recomendações do *American Concrete Institute* (ACI, 2006), adaptado por Lintz et al. (2018). Esta norma propõe a utilização um permeâmetro de carga variável (Figura 2a), onde a amostra do concreto permeável é posicionada dentro da estrutura. O permeâmetro possui uma coluna de água variável de 1 metro, é preenchida com água (Figura 2b) e a válvula é aberta, registrando o tempo para a coluna de água descer até completar o ciclo, o procedimento é repetido três vezes para cada um dos corpos de prova e é considerado o tempo médio. O coeficiente de permeabilidade (k) está relacionado às propriedades hidráulicas dos materiais, ou seja, a representação numérica da menor ou maior facilidade que um material apresenta em relação à percolação de um líquido pelos seus vazios.

O cálculo da permeabilidade é obtido por meio da Lei de Darcy (equação 1).

$$K = \frac{A_1 \cdot L}{A_2 \cdot t} \log \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

k: coeficiente de permeabilidade (cm.s<sup>-1</sup>);

A<sub>1</sub>: área da seção da amostra (cm<sup>2</sup>);

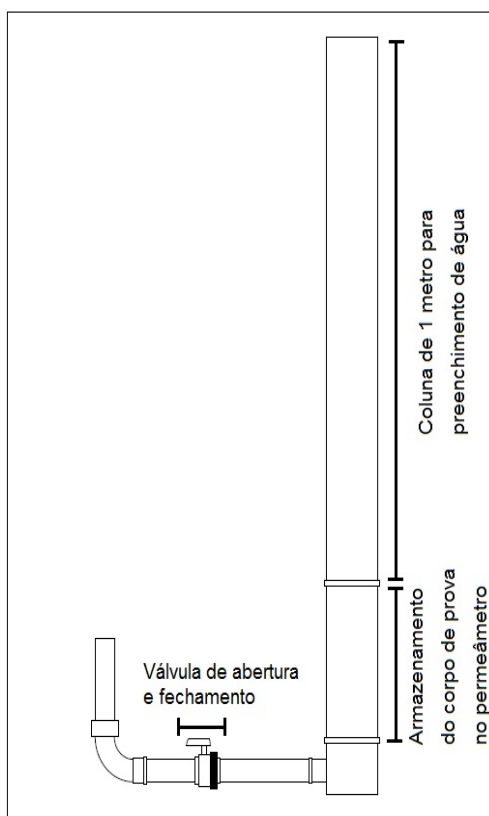
A<sub>2</sub>: área do tubo (cm<sup>2</sup>);

L: comprimento da amostra (cm);

t: tempo médio entre o início e o fim do ensaio (s);

h<sub>1</sub>: altura inicial (cm);

h<sub>2</sub>: altura final (cm).



(a) Figura esquemática do permeâmetro utilizado.



(b) Utilização do permeâmetro, preenchimento com água.

**Figura 2: Permeâmetro de Carga variável**

## RESULTADOS

Os resultados da caracterização física dos materiais utilizados no traço de concreto permeável estão apresentados nas tabelas 3 e 4.

**Tabela 3: Análise Granulométrica da ADF e da Areia Quartzosa**

Material	Módulo de Finura	Dimensão Máxima (mm)	Classificação
ADF	1,51	1,2	Areia muito fina
Areia Quartzosa	2,04	2,4	Areia fina

**Tabela 4: Resultados dos Ensaios de Massa Unitária e Massa Específica**

Material	Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )
ADF	1,43	2,50
Areia Quartzosa	1,50	2,62

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os resultados médios dos ensaios de resistência à compressão e resistência à tração (método de compressão diametral), obtidos para cada tipo de concreto permeável e idade de cura (7 e 28 dias), respectivamente. Também são apresentados os valores do desvio padrão (DP) e do coeficiente de variação (CV).

**Tabela 5: Resultados do ensaio de resistência à compressão ( $R_c$ ) obtidos a partir dos corpos de prova moldados com os traços referência (AQ) e com areia descartada de fundição (ADF), considerando as idades de cura de 7 e 28 dias**

	$R_c$ média (MPa)	$R_c$ mínima (MPa)	$R_c$ máxima (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
AQ (7 dias)	5,64	2,23	10,72	3,41	60,39%
ADF (7 dias)	3,97	3,03	4,82	0,77	19,5 %
AQ (28 dias)	9,32	7,27	11,71	1,77	18,98%
ADF (28 dias)	7,11	4,69	9,80	1,84	25,85%

\*DP: Desvio Padrão

\*CV: Coeficiente de Variação

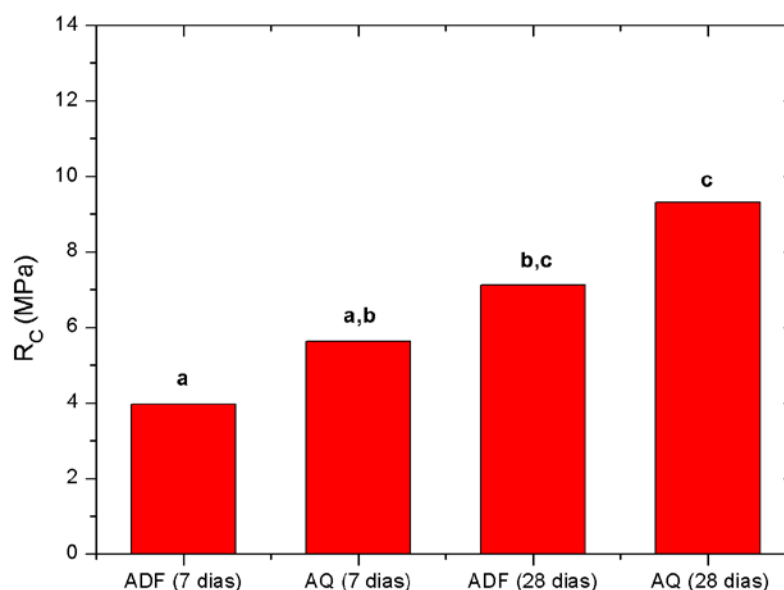
**Tabela 6: Resultados do ensaio de resistência à compressão diametral (tração) ( $R_T$ ) obtidos a partir dos corpos de prova moldados com os traços referência (AQ) e com areia descartada de fundição (ADF), considerando as idades de cura de 7 e 28 dias**

	$R_T$ média (MPa)	$R_T$ mínima (MPa)	$R_T$ máxima (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
AQ (7 dias)	0,62	0,48	0,85	0,14	22,85%
ADF (7 dias)	0,73	0,66	0,83	0,08	10,96%
AQ (28 dias)	1,02	0,79	1,18	0,18	17,31%
ADF (28 dias)	1,17	0,57	1,66	0,47	40,06%

\*DP: Desvio Padrão

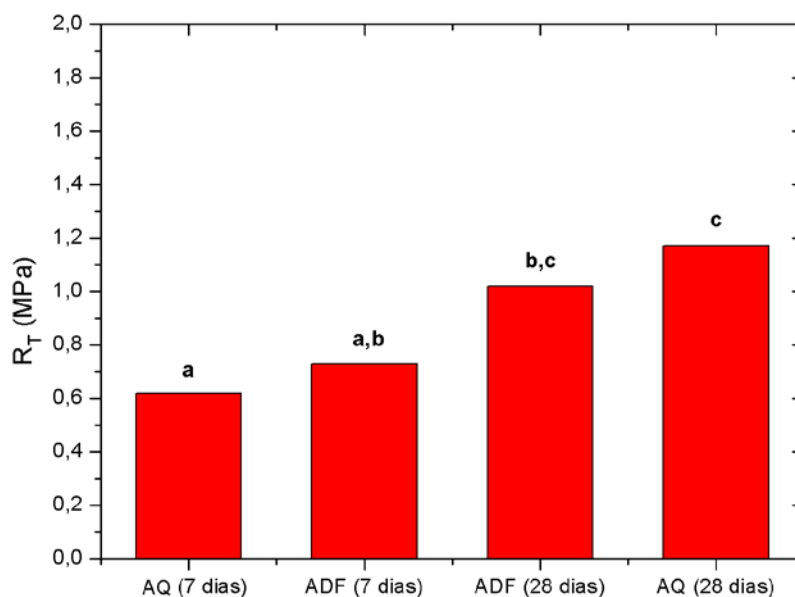
\*CV: Coeficiente de Variação

Realizou-se uma análise estatística dos resultados de compressão axial (tabela 5) e diametral (tabela 6) com o objetivo de identificar se os traços e idades de cura apresentavam diferenças estatísticas significativas entre si. Esta análise foi realizada através do software Statgraphics Centurion (versão XVI). As figuras 3 e 4 apresentam os grupos homogêneos identificados na análise (a, b, c, d). Os grupos homogêneos são determinados por uma comparação múltipla entre cada uma das médias de cada variável em relação às demais, sendo que não há diferenças estatisticamente significativas entre os traços que compartilham o mesmo grupo.



**Figura 3: Resistência à compressão simples ( $R_c$ )**





**Figura 4: Resistência à tração (R<sub>T</sub>), obtida através do método de compressão diametral**

Na Tabela 7 são apresentados os resultados dos ensaios físicos do concreto endurecido, determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica para o tempo de cura de 28 dias. Podemos observar também na tabela 7 os resultados do ensaio de permeabilidade referentes ao traço de estudo.

**Tabela 7: Resultados do ensaio de determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios, massa específica e coeficiente de permeabilidade.**

NBR 9778:2005	Absorção de água por imersão (%)	Índice de vazios (%)	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )			Coeficiente de Permeabilidade (cm/s)
			Amostra seca	Amostra saturada	Real	
AQ	5,97	14,85	2,49	2,63	2,92	1,30
ADF	6,23	15,01	2,41	2,56	2,84	1,27

O traço com ADF não apresentou diferença significativa do coeficiente de permeabilidade (k) em relação ao traço AQ. Ao comparar estes dados com aqueles encontrados na literatura (tabela 8), verifica-se que:

**Tabela 8: Intervalos de k (cm/s) para concretos permeáveis, obtidos na literatura consultada.**

k[cm/s]	Referência
0,14 - 1,22	ACI 522R (2010)
0,20 - 1,20	TENNIS et al. (2004)
0,15 - 0,28	IBRAHIM ( 2013)
0,13 - 0,15	BATEZINI e BALBO (2015)
0,47 - 3,80	LINTZ et al. (2018)

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As tabelas 3 e 4 apresentam os resultados da caracterização física das amostras de materiais utilizados como agregados nos traços de concreto permeável (ADF e AQ). Os resultados obtidos indicam que as amostras de ADF e Areia Quartzosa apresentam características granulométricas semelhantes, viabilizando a utilização deste resíduo como agregado miúdo. O módulo de finura (MF) da ADF utilizada de 1,51 está próximo do MF 1,73 estudado por Maccagnan et al., 2013.

De acordo com TENNIS et al., 2004, os valores do coeficiente de permeabilidade dependem do material utilizado, porém os valores característicos desse variam de 0,20 cm/s até 1,20 cm/s. Nesse estudo os valores obtidos estiveram um pouco acima, tendo como média 1,30 cm/s utilizando AQ e 1,27 cm/s com adição da ADF (tabela 7). Os resultados indicam que a substituição da areia quartzosa por ADF não interferiu nas propriedades hidráulicas do concreto permeável. Também de acordo com TENNIS et al., 2004, misturas de concreto permeável podem desenvolver resistência à compressão na faixa de 3,5 Mpa a 28 Mpa. Assim, os resultados médios obtidos até agora (tabela 5), estão dentro da faixa citada.

Os ensaios de compressão diametral foram realizados a fim de se obter, de forma indireta, a resistência à tração ( $R_T$ ) dos traços de concreto permeável. De acordo com MEHTA (2008), os valores de resistência à compressão diametral (tração) para concretos convencionais são da ordem de 8 a 15% dos valores de resistência à compressão simples. Os valores deste estudo, referentes à compressão diametral (tabela 6), ficaram dentro ou um pouco acima da faixa apresentada por MEHTA (2008), sendo os dois valores de resistência à tração referentes ao concreto com adição de ADF para 7 e 28 dias representando valores superiores a 15% mencionado pela referência, 18,4% e 16,5% respectivamente. E os concretos com AQ com idade de 7 e 28 dias, com valores de aproximadamente 11% para ambas as idades.

Por definição, o concreto permeável é um material que possui um índice de vazios de 15 a 25% do seu total (SCHWETZ et al., 2015). Em relação aos corpos de prova de estudo, verifica-se resultados condizentes com o mencionado pela bibliografia, os resultados encontram-se próximos a 15%, não sendo maior devido à utilização de agregados finos.

Na figura 3, interpreta-se que a resistência à compressão do concreto referência (areia quartzosa) com 7 dias não possui diferença significativa com a resistência à compressão do concreto com adição de ADF de 7 dias. Assim, como também, a resistência à compressão do concreto referência (areia quartzosa) com 28 dias não possui diferença significativa com a resistência à compressão do concreto com adição de ADF de 28 dias. A diferença é significativa estatisticamente quando comparamos os dados das compressões para os dois tempos de cura diferentes. Isso indica que a substituição da areia quartzosa pelo resíduo industrial não acarretou em prejuízos estruturais às matrizes cimentícias permeáveis desenvolvidas.

Na figura 4, analisando os dados, observa-se que a resistência à compressão diametral (tração) para o concreto de referência (areia quartzosa) com 7 dias não possui diferença estatística significativa comparado com a resistência à compressão diametral (tração) do concreto com adição de ADF de 7 dias. O mesmo acontece comparando a resistência à compressão diametral (tração) do concreto de referência (areia quartzosa) com 28 dias com a resistência à compressão diametral (tração) do concreto com adição de ADF com 7 dias. A diferença é observada quando comparado os dados das compressões diametrais (tração) para 7 e 28 dias. Assim como na comparação da resistência a compressão simples, a análise dos dados estatísticos referentes a resistência a compressão diametral indicam que a substituição da AQ pela ADF não acarretou em prejuízos estruturais às matrizes cimentícias permeáveis desenvolvidas.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados neste trabalho é possível concluir que:

- Apesar de a ADF ser classificada granulometricamente como areia muito fina e a AQ como areia fina, esta diferença não resultou em alterações na trabalhabilidade do concreto permeável estudado, mantendo-se a mesma relação a/c para os dois tipos de agregado miúdo;
- As propriedades mecânicas dos traços de concreto permeável com AQ e ADF não apresentaram diferenças estatísticas significativas, quando considerada a idade de 28 dias de cura;
- Em relação ao coeficiente de permeabilidade (k), os resultados indicaram que o traço com ADF não alterou este parâmetro hidráulico, quando comparado ao traço referência (AQ). Além disso, verifica-se através da literatura consultada que o k obtido ficou dentro das faixas especificadas por diversos autores (0,14 a 3,80 cm/s). Os parâmetros relacionados ao k (índice de vazios e absorção de água) também apresentaram o mesmo comportamento, ou seja, não apresentaram diferença significativa entre os traços com AQ e ADF.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Concrete Institute (ACI). 2006. Report on Pervious Concrete. ACI 522R. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2006.
2. COSTA, E. R. H. Metodologia para o uso combinado de polímeros naturais como auxiliares de coagulação. XVII CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA. 1993. Anais. Natal, RN, 1993.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 248: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: argamassas e concretos endurecidos: determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 45: agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: agregado miúdo: determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.
10. CHANDRAPP, A.K; BILIGIRI, K.P. Pervious concrete as a sustainable pavement material – Research findings and future prospects: a state-of-the-art review, Constr. Build. Mater. 111 262–274, 2016.
11. BINA, P. Metodologia de utilização e rejeitos industriais na pavimentação: estudo de caso de uso de areia de fundição. Dissertação (Mestrado em Habitação) – Programa de Pós-Graduação em Habitação: Planejamento e Tecnologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2002.
12. DOMINGUES, L. G. F.; FERREIRA, G. C. S. Management application of waste foundry sand (WFS) in solid waste landfills. In: Crete-4th International Conference on Industrial and Hazardous Waste Management. p. 39-40, 2014.
13. E. Lim, K.H. Tan, T.F. Fwa, High-Strength High-Porosity Pervious Concrete Pavement, Advanced Materials Research 723 361-367, 2013.
14. IBRAHIM, A., MAHMOUD, E., YAMIN, M., PATIBANDLA, V.C., 2014. Experimental study on Portland cement pervious concrete mechanical and hydrological properties. Constr. Build. Mater. 50, 524e529, 2014.
15. KIA, A., WONG, H. S., CHEESEMAM, C. R., 2017. Clogging in permeable concrete: A review. J. Environ. Manage. 193 (2017) 221-233, 2017.
16. KLINSKY, L. M. G.; BARDINI, V. S. S.; FURLAN, A. P.; FABRI, G. T. P. (2012). Reaproveitamento de areia de fundição residual em misturas de areia asfalto usinada a quente. Transportes, v. 20 – 4, p. 27-34, 2012.
17. LINTZ, R.C.C. et al. Study of permeable concrete. 62º Congresso Brasileiro de Cerâmica: 7º International Congress on Ceramics. Foz do Iguaçu, 17 jun. 2018.
18. MACCAGNAN, B.; PELIZZARI, P.M.; DRUCK, F.; PAGNUSSAT, D.T. Otimização do proporcionamento de areias de fundição incorporadas na fabricação de blocos de concreto. 55º Congresso Brasileiro do Concreto. Gramado, RS, 2013.
19. MASTELLA, M. A.; GISLON, E. S.; PELISSER, F.; RICKEN, C.; SILVA, L.; ANGIOLETTA, E.; MONTEDO, O. R. K. (2014). Mechanical and toxicological evaluation of concrete artifacts containing waste foundry sand. Waste Management, v. 34, p. 1495-1500, 2014.
20. MEHTA, P. K. ; MONT EIRO, P.J.M. Concreto – Microestrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IB RACON), 3ª ed., 674p, 2008.
21. National Ready Mix Concrete Association (NRMCA). 2009. Pervious concrete pavement: An overview. Disponível em <http://www.perviouspavement.org> (acesso em outubro de 2018)
22. QUIJORNA, N.; COZA, A.; ANDRES, A; CHEESEMAM, C. Recycling of Waelzsls and waste foundry sand in red clay bricks. Resources Conservations and Recycling 65, 1-10, 2012.
23. SCHWETZ, P.F. et al. Concreto permeável: otimização do traço para a pavimentação de fluxo leve. 11 p. Lisboa, 2015.



24. SIDDIQUE, R.; DHANOA, G. S. Development of Concrete using Waste Foundry Sand. In: Congresses Advances in Cement and Concrete Technology in Africa, África do Sul, 2013.
25. SOUZA, U. E. L. et al. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 33-46, out./dez. 2004.
26. SUMANASOORIYA, M.S., NEITHALATH, N., 2011. Pore structure features of pervious concretes proportioned for desired porosities and their performance prediction. Cem. Concr. Compos 33 (8), 778e787, 2011.
27. TENNIS, P. D.; LEMING, M. L.; AKERS, D. J. Pervious Concrete Pavements. EB302.02, Portland Cement Association, Skokie Illinois, e National Ready Mixed Association, 36 p. Silver Spring, Maryland, USA, 2004.
28. WANG, K., SCHAEFER, V. R., KEVEM, J., e SULEIMAN, M. T. (2006). Development of Mix Proportion for Functional and Durable Pervious Concrete. Submitted to Concrete Technology Forum-Focus on Pervious Concrete, National Ready Mix Concrete Association, Nashville, TN, May 23-25, 2006.