

Avaliação do desgaste por abrasão do concreto permeável com adições minerais altamente reativas

***Andréia Camilo da Silva¹ (IC), Luíza de Souza Santa Bárbara² (IC), Daniel da Silva Andrade³ (PQ) – andreiamusashi@gmail.com**

Universidade Estadual de Goiás. Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo. Endereço: Rodovia BR 153, 3105 – Fazenda Barreiro do Meio, Anápolis – GO, 75132-903

Resumo: Os revestimentos e as estruturas de pavimentos que possuem a capacidade de drenar a água e encaminhá-la, por infiltração às camadas inferiores, possuem relevância em amenizar as inundações ocasionadas principalmente pela diminuição das áreas permeáveis nas cidades. Este trabalho tem como finalidade avaliar a permeabilidade e o desgaste por abrasão de corpos de prova de concreto permeável com adições minerais altamente reativas. Foram produzidos corpos de prova de concreto permeável com agregado graúdo, cimento Portland CPV - ARI e as adições minerais altamente reativas: sílica ativa, metacaulim e sílica de casca de arroz com o objetivo de densificar a matriz cimentícia, proporcionar o melhorando da resistência à compressão, que pode ser fortemente influenciada de forma negativa pela porosidade do concreto. O desgaste por abrasão será avaliado de acordo com a norma NBR 12042 (ABNT, 2012). As adições minerais altamente reativas influenciaram as propriedades avaliadas de forma relevante apresentando grande potencialidade para o desenvolvimento de pavimentos de concreto permeável que tenham resistência adequada para serem utilizados em diversos tipos de pavimentações, tais como em áreas externas de residências, praças, estacionamentos, vias de tráfego de pedestres e vias de tráfego de veículos leves.

Palavras-chave: Concreto permeável. Adições minerais. Sílica ativa. Metacaulim. Sílica de casca de arroz. Desgaste por abrasão.

Introdução

Entre os grandes inconvenientes que as cidades brasileiras enfrentam está a urbanização sem planejamento, pois causa diversos problemas, sendo que um deles é a diminuição de áreas de solo permeável. De acordo com Sales (2008), várias comunidades são atingidas por inundações anualmente, representando, cada vez, uma catástrofe emocional e financeira para as vítimas. O aumento do número de inundações, insuficiência da capacidade de recolhimento das águas pluviais e o



crescimento de revestimentos impermeáveis são as principais razões da ocorrência do excesso de águas na superfície. Uma das maneiras de diminuir esse problema é a utilização de pavimentos permeáveis, pois eles possuem a capacidade de drenar a água e encaminhá-la, por infiltração, às camadas inferiores do solo ou até para reservatórios.

Os pavimentos permeáveis são estruturas que apresentam camadas porosas que permitem a infiltração de parte das águas que escoam superficialmente para dentro de sua estrutura. De acordo com Höltz (2011, apud Müller, 2017), “uma grande vantagem que o pavimento permeável de concreto ganha é que ele age como dois elementos em um só: elemento de pavimentação e de drenagem. Em contrapartida tem-se o sistema convencional, que necessita de grandes obras de drenagem e posterior pavimentação”.

No Brasil, ainda é pequena a utilização de pavimentos permeáveis, a primeira norma brasileira que estabelece requisitos para este material, a ABNT 16416, entrou em vigor em agosto de 2015. No entanto, é de grande importância a realização de estudos que contribuam com o desenvolvimento de pisos de concreto permeável visando ampliar o estudo de materiais que possam ser aplicados na sua produção. Por isso, este trabalho buscou avaliar o desgaste por abrasão do concreto permeável com adições minerais altamente reativas (sílica ativa, metacaulim e sílica de casca de arroz), a fim de avaliar a potencialidade destes materiais para comedir a redução da resistência à abrasão devido ao se elevado índice de vazios.

Materiais e Métodos

O programa experimental foi dividido em 4 etapas: (1) seleção e caracterização dos materiais; (2) determinação do teor de cimento Portland e do melhor teor das adições minerais altamente reativas; (3) produção do concreto permeável com os teores determinados na etapa 2 e; (4) realização dos ensaios de permeabilidade e desgastes por abrasão.



Resultados e Discussão

4.1 Seleção e caracterização dos materiais.

A tabela 1 mostra os resultados de caracterização do cimento Portland.

Tabela 1 – Resultados de caracterização do cimento Portland.

Cimento Portland	Tempo de pega		Blaine	Massa específica	#200	Resistência à compressão		
	Início	Fim				1 dia	7 dias	28 dias
	h:min	h:min				MPa	MPa	MPa
CPV-ARI	02:27	03:19	3.356	3,12	0,87	15,33	31,95	40,12

O cimento utilizado foi o CP V – ARI (alta resistência inicial). Ele apresenta granulometria mais fina e reage rapidamente com a água, adquirindo resistência com maior velocidade. O cimento se mostrou concordante as exigências da norma NBR 5733 (ABNT, 1991) que especifica os requisitos para o cimento CP V – ARI.

Na caracterização dos materiais, a brita zero apresentou granulometria contínua após seu valor limite, o que, segundo MARIANO (2014), “proporciona uma maior trabalhabilidade do concreto e menor consumo de cimento”. A figura 2 mostra os resultados da composição granulométrica de agregado graúdo.

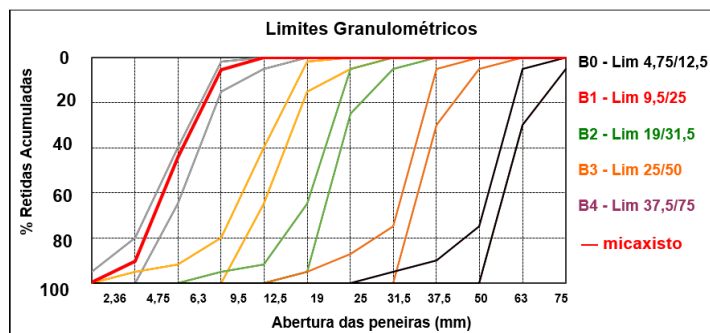


Figura 2 – Composição granulométrica de agregado graúdo

Os resultados da composição química das adições minerais do cimento, mostrados na tabela 2 a seguir, apontam que os maiores teores de SiO₂ estão na Cinza de casca de arroz (93,11%) e na Sílica ativa (92,54%), fazendo com que esses elementos apresentem um alto nível de reatividade, enquanto que o Metacaulim,

apresentam uma quantidade inferior de SiO_2 , apenas 57,43%, porém apresenta elevado teor de Alumínio, o que também pode influenciar na reatividade.

Tabela 2 – Resultados da composição química das adições minerais: Sílica ativa, Metacaulim e CCA.

Componentes químicos		Sílica ativa	Metacaulim	CCA	Cimento CPV
Perda ao fogo		3,9	2,89	3,13	1,67
Resíduo insolúvel		-----	-----	-----	0,4
trióxido de enxofre (SO_3)		-----	-----	-----	2,76
Óxido de magnésio (MgO)		1,19	1,51	1,07	5,16
Dióxido de silício (SiO_2)		92,54	57,43	93,11	19,57
Óxido de ferro (Fe_2O_3)		0,14	2,08	0,05	3,01
Óxido de alumínio (Al_2O_3)		0,12	32,58	-----	4,46
Óxido de cálcio (CaO)		0,98	0,07	0,46	62,1
Óxido de cálcio livre (CaO)		-----	-----	-----	0,63
Álcalis totais	Óxido de sódio (Na_2O)	0,41	0,04	1,81	0,07
	Óxido de potássio (K_2O)	0,46	0,33	-----	0,57
	Equiv. Alcalino	0,71	0,26	1,81	0,46
Álcalis solúveis em água	Óxido de sódio (Na_2O)	0,04	0	0,19	0,03
	Óxido de potássio (K_2O)	0,06	0,14	-----	0,3
	Equiv. Alcalino	0,08	0,14	0,19	0,23
Sulfato de cálcio (CaSO_4)		-----	-----	-----	4,79
Umidade		-----	-----	-----	-----
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$		92,8	92,8	93,16	27,04

Tabela 3 – Resultados de granulometria a laser das adições minerais: Sílica ativa, Metacaulim e CCA.

	D10 (μm)	D50 (μm)	D90 (μm)	Diâmetro médio (μm)
Sílica ativa	2,45	18,44	31,8	15,45
Metacaulim	2,27	29,05	59,01	29,07
Cinza de casca de arroz	3,01	32,26	63,35	35,7

A tabela 3 e também na figura 3, a seguir, mostram o diâmetro médio das partículas. Nota-se que a Sílica ativa foi a que apresentou menor diâmetro em relação ao Metacaulim e a CCA, sendo, portanto, mais fina.

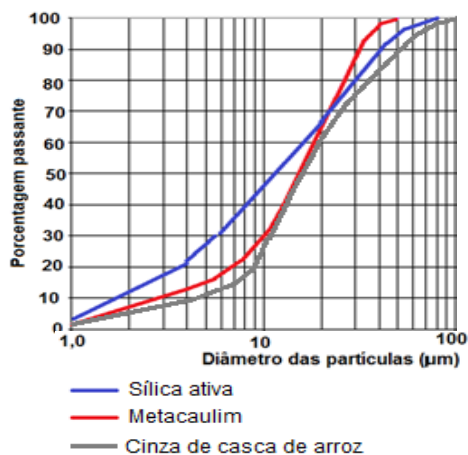


Figura 3 – Resultado da composição granulométrica a laser.

A figura 4 a seguir, mostra a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das adições: a) Metacaulim; b) Sílica ativa e; c) CCA.

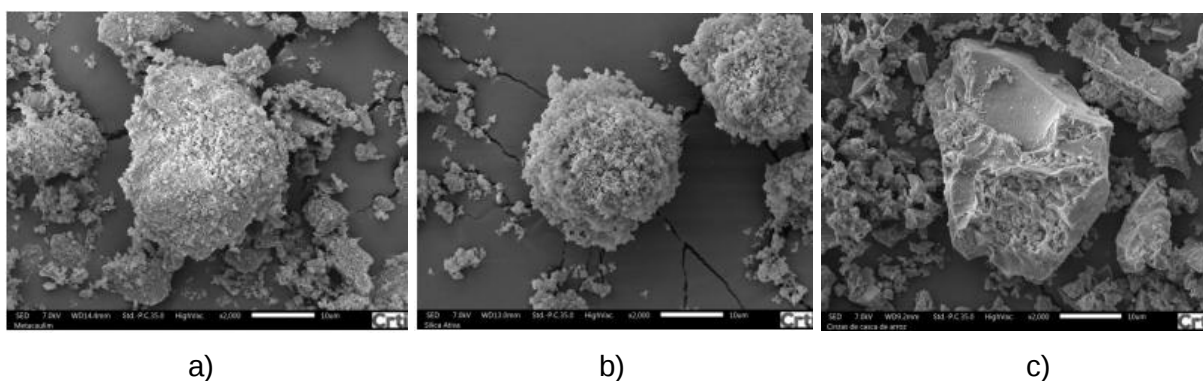


Figura 4 – MEV das adições: a) Metacaulim; b) Sílica ativa e; c) CCA.

A partir da MEV, pode-se perceber que a Sílica ativa apresenta aglomerados de partículas tendendo ao formato esférico, deixando claro, no entanto, quão inferior aos demais é seu diâmetro médio. Por outro lado, a CCA se apresenta com diâmetro médio superior e formato irregular, isso permite dizer que essa adição pode se mostrar com o maior nível de reatividade. Entre ambos, o Metacaulim exibe tanto seu diâmetro médio intermediário quanto sua forma, apresenta aglomerados de partículas, mas também certa irregularidade na forma.

A figura 5 em seguida, mostra os resultados dos Difractogramas de Raio-x (DRX) das adições minerais: a) Metacaulim; b) Sílica ativa e; c) CCA.

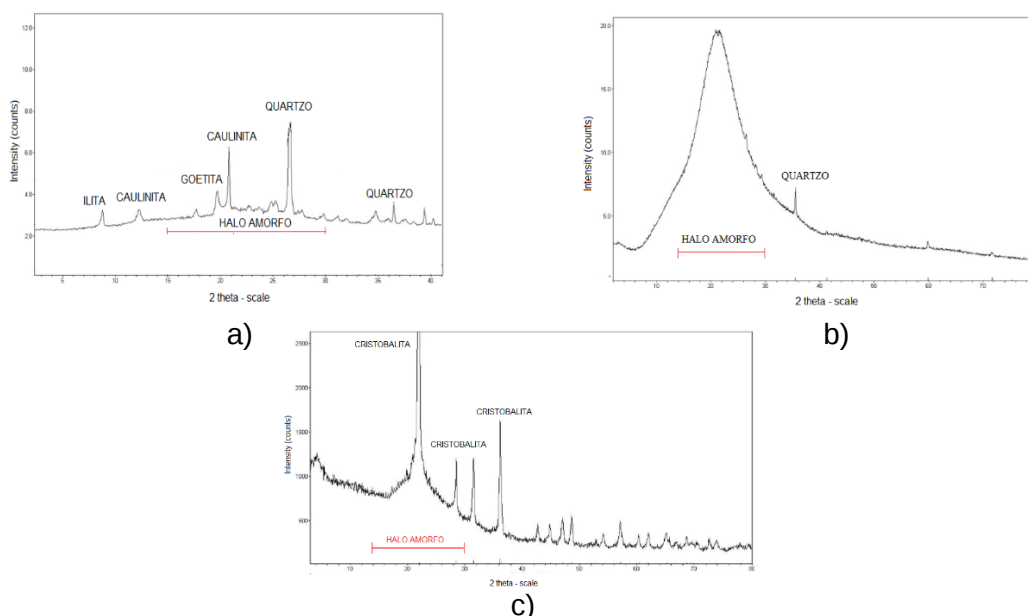


Figura 5 – DRX das adições: a) Metacaulim; b) Sílica ativa e; c) CCA.

De acordo com as figuras, as três adições apresentam picos, indicando a presença de material cristalino, porém apresentam um halo amorfo entre 15° e 30°, indicando a presença de material amorfo.

4.2 Determinação do teor de pasta de cimento Portland e do melhor teor de adições minerais.

Na determinação do teor de pasta, o traço que melhor atendeu as necessidades da pesquisa e se mostrou mais eficiente foi o de 1/3,5, tendo obtido vazão de 0,059 l/s e resistência à compressão aos 28 dias de 17,6 MPa. Apesar do traço 1/3,0 ter atingido 21,3 MPa de resistência à compressão, seu coeficiente de permeabilidade ficou abaixo do mínimo exigido pela norma (ACI 522R-06). A tabela 4 a seguir, mostra o resultado da determinação do teor de pasta.

Tabela 4 – Resultados de resistência à compressão aos 28 dias, permeabilidade e abatimento do concreto permeável.

Traços	Tempo(s)	Vasão (l/s)	C. PERMEABILIDADE (K)	Resistência à compressão aos 28 dias (Mpa)	Abatimento (mm)
1/3,0	52	0,033	$1,34 \times 10^{-3} \text{m/s}$	21,3	5
1/3,5	29	0,059	$2,4 \times 10^{-3} \text{m/s}$	17,6	8
1/4,0	21	0,082	$3,3 \times 10^{-3} \text{m/s}$	14,4	10
1/4,5	12	0,144	$5,8 \times 10^{-3} \text{m/s}$	11,5	19
1/5,0	8	0,216	$8,7 \times 10^{-3} \text{m/s}$	9,27	180

Tabela 5 – Resultados de resistência à compressão para a determinação dos teores de adições minerais.

Nº	PASTAS	Resistência à compressão aos 28 dias
1	Referência	77,20
2	SA5%	53,51
3	SA10%	83,70
4	SA15%	81,20
5	MC5%	72,37
6	MC10%	87,20
7	MC15%	87,60
8	SCA5%	52,49
9	SCA10%	79,00
10	SCA15%	76,30

Como exposto na tabela 5, que mostra os resultados de resistência à compressão para a determinação dos teores de adições minerais, tanto a Sílica ativa quanto a CCA apresentam maior resistência à compressão com os teores de 10%. Já o Metacaulim, apresenta 0,40 MPa a mais com teor de 15% se comparado ao de 10%, no entanto, sendo essa diferença pouco significativa, optou-se nesta pesquisa pelo teor de 10%.

A tabela 6 mostra os resultados do teste de desgaste por abrasão e permeabilidade do concreto permeável.

Tabela 6 – Resultados do teste de desgaste por abrasão e permeabilidade do concreto permeável.

Traços	Tempo (s)	Vasão (l/s)	Coefficiente de permeabilidade (K)	Perda de massa por abrasão (%)
Referência	29	0,059	$3,2 \times 10^{-3} \text{m/s}$	5,39
SA10%	30	0,057	$3,1 \times 10^{-3} \text{m/s}$	3,33
MC10%	26	0,066	$3,7 \times 10^{-3} \text{m/s}$	3,30
SCA10%	29	0,059	$3,2 \times 10^{-3} \text{m/s}$	5,39

A partir da tabela 6, pode-se perceber que o traço com adição de Metacaulim com teor de 10% obteve menor perda de massa (3,30%).



Considerações Finais

Os resultados da pesquisa apontaram que o traço 1/3,5 apresentou a melhor proporção cimento/agregado e ao determinar os teores das adições minerais altamente reativas, o que se apresentou sendo o melhor foi o de 10%. Tanto a Sílica ativa, quanto o Metacaulim e a Cinza de casca de arroz, adições avaliadas, apresentaram grande potencialidade para serem utilizadas em concretos permeáveis de forma geral, no entanto, neste caso, o Metacaulim apresentou o melhor desempenho, obtendo, entre outros bons resultados, a menor perda de massa no desgaste por abrasão.

Agradecimentos

A elaboração desta pesquisa não teria sido possível sem a aprovação primeira por parte da Universidade, portanto, agradeço a Universidade Estadual de Goiás (UEG) e ao PVIC/UEG (Programa Voluntário de Iniciação Científica da UEG), não só pelo apoio à pesquisa, mas também pelo espaço cedido e equipamentos para desenvolvê-la. Principais agradecimentos ao professor Dr. Daniel da Silva Andrade, coordenador e orientador do trabalho, que não só nos deu todo suporte necessário, mas que também contribuiu positivamente para nossa formação acadêmica. Agradeço minha colega não só de pesquisa, mas também de turma do curso de Arquitetura e Urbanismo, Luíza Santa Bárbara, pelo apoio e contribuição na pesquisa e atividades em laboratório.

Referências

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI – 522R-06**. Pervious concrete. Michigan, 2006.



ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E. M., GOLDEFUM, J. A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial.** Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRG. Porto Alegre, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM27:** Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratórios. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

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

_____. **NBR NM 67:** Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR NM 248:** Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 5738:** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 12042:** Materiais inorgânicos – Determinação do desgaste por abrasão. Rio de Janeiro, 2014.

BATEZINI, R. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves.** Dissertação de Mestrado apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção.** 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 435 p., 1987.

FERGUSON, B. K. **Porous pavements.** Integrative Studies in Water Management and Land Development. Florida, 2005.

HÖLTZ, F. C. **Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental.** Dissertação de Mestrado do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MARIANO, H. R. **Influência do teor de argamassa e da granulometria da brita na permeabilidade e nas resistências à compressão e à abrasão de concretos permeáveis.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás, Escola de



V Congresso de Ensino,
Pesquisa e Extensão da UEG



Engenharia Civil (EEC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Goiânia-GO, 2014.

SALES, T. L. **Pavimento permeável com superfície em blocos de concreto de alta porosidade.** Dissertação de mestrado do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2008.

REALIZAÇÃO

PRG
Pró-Reitoria de
Graduação

PRP
Pró-Reitoria de
Pesquisa e
Pós-Graduação

PRE
Pró-Reitoria de
Extensão, Cultura e
Assuntos Estudantis



Universidade
Estadual de Goiás