

Avaliação da Permeabilidade, Resistência à Compressão do Concreto Permeável com Adições Minerais Altamente Reativas.

Luíza de Souza Santa Bárbara ^{1*} (IC) , Andréia Camilo Silva ² (IC), Daniel da Silva Andrade³ (PQ)- luiza_ssb@hotmail.com

^{1, 2, e 3} Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas, Anápolis, GO

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, resistência à compressão 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, proporcionando o melhoramento da resistência à compressão. A resistência à compressão dos corpos de prova será avaliada de acordo com a norma NBR 5739 (ABNT, 2007), a permeabilidade de acordo com a norma ACI 522 R (ACI, 2006). 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 de veículos leves.

Palavras-chave: :Concreto permeável, adições minerais, sílica ativa, metacaulim, sílica de casca de arroz.

Introdução

A urbanização sem planejamento é um dos grandes inconvenientes enfrentados pelas cidades brasileiras, principalmente às de grande porte, pois provoca vários problemas, inclusive 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 habitações, a 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 os mesmos possuem a capacidade de drenar a água e encaminhá-la, por infiltração às camadas inferiores do solo ou até mesmo para reservatórios. O concreto permeável no Brasil ainda pode ser considerado como uma tecnologia recente tendo a NBR 16416 (ABNT, 2015) como a primeira norma que estabelece requisitos para este material. No Japão, EUA e Europa o concreto permeável é amplamente utilizado em vias de tráfego de pedestres e veículos.

Ao contrário da permeabilidade, a resistência à compressão do concreto é inversamente proporcional ao índice de vazios. A resistência à compressão apresentada pelo concreto permeável é inferior quando comparado ao concreto convencional. Sales (2008) atribui esta inferioridade à falta de agregado miúdo no concreto.

Contudo, este plano de trabalho propõe avaliar a resistência à compressão do concreto permeável com adições minerais altamente reativas (sílica ativa, metacaulim e sílica de casca de arroz). Acredita-se que a utilização de adições minerais altamente reativas pode amenizar a redução da resistência à compressão do concreto permeável por meio da densificação da matriz cimentícia proporcionada pela reação pozolânica e o efeito *filler*. A reação pozolânica é a reação das adições minerais ricas em sílica amorfa com o hidróxido de cálcio formado pela hidratação do cimento Portland gerando mais silicato de cálcio hidratado (C-S-H), principal composto responsável pela resistência dos materiais de base científica.

Material e Métodos

Para o cumprimento dos objetivos a metodologia utilizada se dividiu em 4 etapas: 1) selecionar e caracterizar os materiais, 2) determinar o teor de pasta de cimento Portland e o melhor teor de adições minerais, 3) produzir o concreto permeável com as adições minerais, 4) realizar os ensaios de permeabilidade e resistência a compressão nos corpos de prova produzidos.



A figura 1 mostra alguns procedimentos realizados no programa experimental.

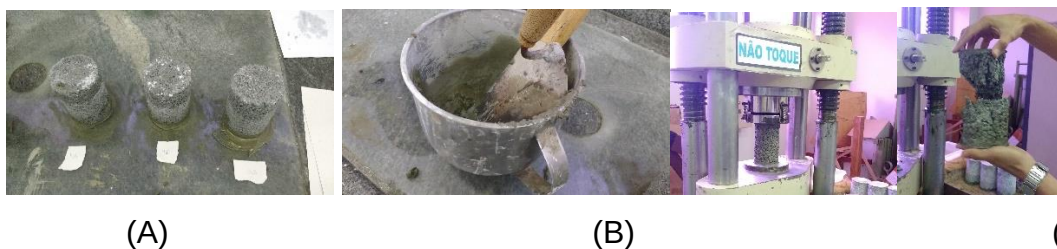


Figura 1- Fotos mostrando o desenvolvimento da pesquisa. Corpos de prova produzidos (A); Processo do preparo das pastas (B); Realização do teste de resistência a compressão (C).

Resultados e Discussão

Seleção e caracterização dos materiais

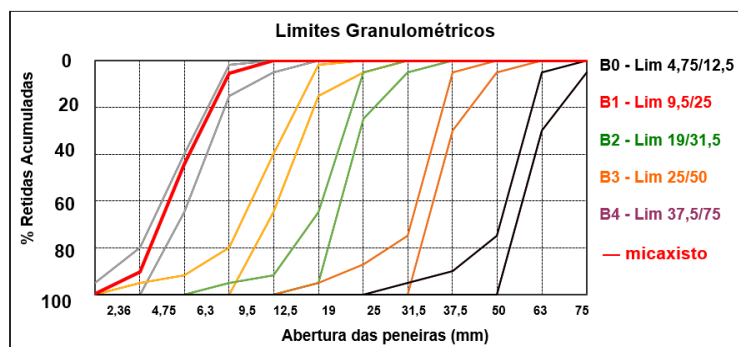
A tabela 1 apresenta o resultado da caracterização obtidos com o cimento CPV-ARI.

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, apresenta textura mais fina e reage rapidamente com a água, adquirindo resistência com maior velocidade. O cimento escolhido se mostrou concordantes as exigências da norma NBR 5733(ABNT 1991) que especifica o método de determinação da resistência à compressão de cimento Portland, e as demais normas que especificam requisitos para este cimento.

A figura 2 apresenta os resultados dos limites granulométricos da brita utilizada, brita zero.



REALIZAÇÃO

Figura 2- Composição granulométrica do agregado graúdo.

Na caracterização dos materiais, o agregado utilizado classifica-se como brita , e possui granulometria contínua, segundo o (2007, apud Mariano, 2014), “proporciona uma maior trabalhabilidade do concreto e menor consumo de cimento”.

A tabela 2 apresenta os componentes químicos do cimento e as adições minerais utilizados nesta pesquisa.

Tabela 2-Composição química do cimento e adições minerais.

Na composição química do cimentos e adições minerais pode-se perceber que o CCA e a Sílica Ativa possuem o maior teor de SiO_2 apresentando portanto

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

um alto nível de reatividade, e o metacaulim apresenta uma quantidade de SiO_2 muito inferior aos demais, porém apresenta elevado teor de alumínio, o que também pode influenciar na reatividade.

A tabela 3 apresenta os resultados da granulometria a laser realizada nas adições minerais considerando 4 diâmetros selecionados.

Tabela 3-Resultados da granulometria a laser.

Granulometria a laser				
	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 figura 3 apresenta um gráfico que mostra as três adições minerais em variados diâmetros e sua porcentagem passante após a granulometria a laser.

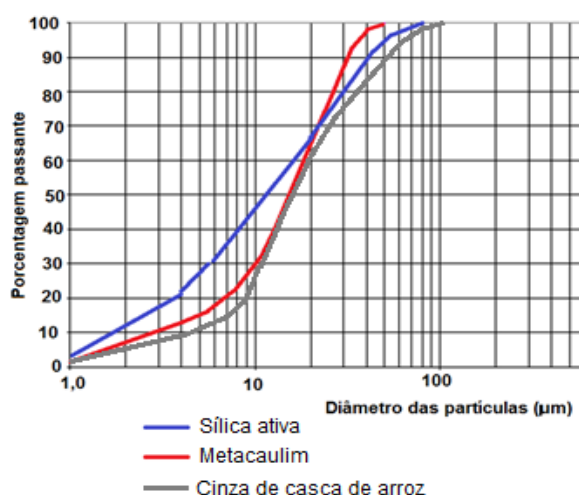
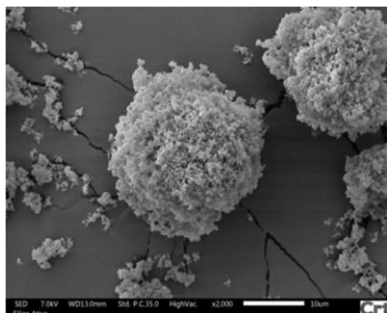


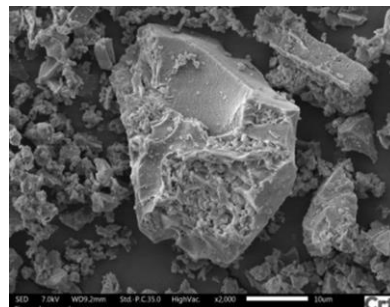
Figura 3-Composição granulométrica/ Granulometria a laser.

Nos resultados da granulometria a laser analisando os resultados da tabela 3 e da figura 2 quanto ao diâmetro médio das partículas percebe-se que a Sílica Ativa foi a que apresentou o menor valor, ou seja a partícula mais fina e mais reativa entre eles.

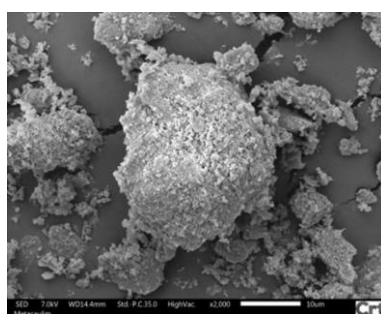
A figura 4 apresenta os resultados da Microscopia eletrônica de varredura das adições minerais.



(A)



(B)

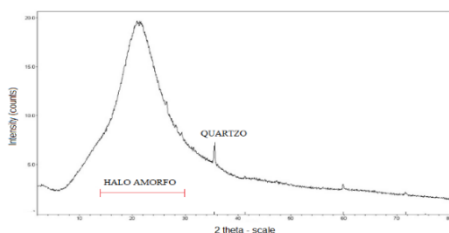


(C)

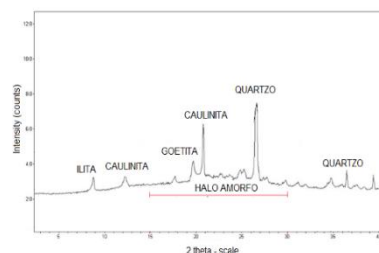
Figura 4- Microscopia eletrônica de varredura: (A) Sílica Ativa; (B) Metacaulim; (C) Cinza de casca de arroz.

A partir da MEV, pode-se perceber que a Sílica Ativa **(A)** apresenta maior tendência a aglomeração entre as partículas tendendo ao formato esférico. Em relação ao Metacaulim **(B)** pode-se perceber uma menor aglomeração em relação a Sílica **(A)** promovendo uma forma irregular. Já a Cinza de Casca de Arroz **(C)** apresenta pouca aglomeração, formato também irregular e porosidade acentuada, o formato irregular e os poros nas partículas podem influenciar na reatividade.

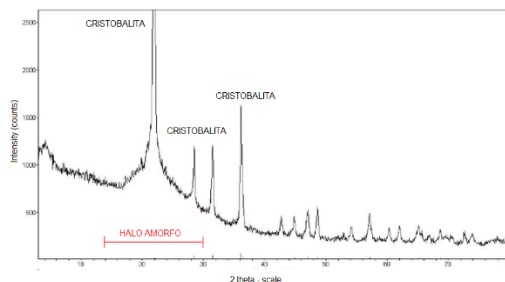
A figura 5 apresenta os resultados da difração de raio-x das adições minerais, consistindo na caracterização da composição dos materiais através da difração.



(A)



(B)



(C)

Figura 5-Difratogramas de raios-x das adições minerais: (A) Sílica Ativa; (B) Metacaulim; (C) Cinza de casca de arroz.

Pode-se observar que dentre os 3 resultados obtidos a Cinza de Casca de Arroz **(C)** é a que apresenta maior quantidade de picos que significam presença de materiais cristalinos, o Metacaulim **(B)** também apresenta alguns picos e a Sílica Ativa **(A)** é a que menos se observa a presença de materiais cristalinos. Em comum aos 3 identifica-se um halo amorfo entre os valores 15 e 30 apresentados na parte horizontal e inferior dos gráficos, o que indica a presença de sílica amorfa.

A tabela 4 apresenta os resultados obtidos após todos os corpos de prova serem submetidos ao teste de permeabilidade, resistência a compressão e abatimento com 5 tipos diferentes de traços.

Tabela 4- Resultados do teste de permeabilidade, resistência à compressão e abatimento.

Determinação do teor de pasta					
Traços	Tempo (s)	Vasão (l/s)	C. PERMEABILIDADE (K)	Resistência à compressão aos 28 dias	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



Na determinação do teor de pasta, o traço que melhor atende as necessidades da pesquisa e se mostrou mais eficiente é o de 1/3,5, tendo obtido vazão de 0,059 l/s e resistência à compressão aos 28 dias de 17,6Mpa superior aos demais. Apesar do traço 1/3,0 ter atingido 21,3Mpa de resistência à compressão, seu coeficiente de permeabilidade ficou abaixo do exigido pela norma (ACI 522R-06) ($1,4 \times 10^{-3} \text{m/s}$). Sendo assim o traço escolhido foi o 1/3,5.

A tabela 5 mostra os resultados após os corpos de prova serem submetidos ao teste de resistência a compressão na prensa hidráulica.

Tabela 5-Resultados de resistência a compressão e permeabilidade do concreto permeável.

Traços	Tempo (s)	Vazão (l/s)	Coefficiente de Permeabilidade (K)	Resistência à compressão aos 28 dias	Abatimento (mm)
Referência	29	0,059	$3,2 \times 10^{-3} \text{m/s}$	17,6	8
SA10%	30	0,057	$3,1 \times 10^{-3} \text{m/s}$	23,4	8
MC10%	26	0,066	$3,7 \times 10^{-3} \text{m/s}$	24,8	6
SCA10%	29	0,059	$3,2 \times 10^{-3} \text{m/s}$	18,2	7

De acordo com os resultados apresentados pode-se perceber que o Metacaulim (**MC10%**) foi o que apresentou a maior resistência após os 28 dias (**24,8Mpa**), a Sílica Ativa (**SA10%**) não muito distante apresentou valor similar (**23,4Mpa**), já a Cinza de Casca de Arroz (**SCA10%**) foi a que apresentou dentre eles a menor resistência a compressão (**18,2MPA**), mas destacando que ainda assim obteve um maior valor que o de referência.

Considerações Finais

Após todos os testes realizados pode-se comprovar que todas as três adições minerais têm potencialidade para serem utilizadas na produção de concretos permeáveis de uma forma geral. Analisando aspectos mais específicos o traço 1/3,5 foi o que apresentou melhor proporção de cimento; O teor de adição mineral mais satisfatório foi o de 10%. Ressalta-se também que dentre a Sílica Ativa, o Metacaulim e a Cinza de Casca de Arroz, o Metacaulim apresentou o melhor



desempenho geral, levando em consideração como exemplo seus resultados de coeficiente de permeabilidade e resistência a compressão. Por fim pode-se dizer que a pesquisa proposta cumpriu com o seu objetivo inicial de contribuir para os estudos a respeito do concreto permeável, através da realização de testes e estudos utilizando adições minerais altamente reativas de forma a deixar menos intensa a redução da resistência causada pelos elevados índices de vazios existentes no concreto permeável.

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Estadual de Goiás (UEG) e ao PVIC/UEG (Programa Voluntário de Iniciação Científica UEG) por apoiar a pesquisa de Iniciação Científica realizada e por ceder os equipamentos necessários para a realização da mesma. Ao professor Dr. Daniel da Silva Andrade que comandou a pesquisa, nos orientou e deu todo o suporte ao longo dos meses de andamento. À minha colega de pesquisa e de turma, aluna Andréia Camilo também do curso de Arquitetura e Urbanismo por estar juntamente comigo no desenvolvimento desse processo.

Referências

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

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 5739:** Concreto – ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7215:** Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR NM 65:** Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

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

_____.NBR NM 43: Cimento portland - Determinação da pasta de consistência normal,

Rio de Janeiro, 2003.

RODRIGUES, HUMBERTO. Influência do teor de argamassa e da granulometria da brita na permeabilidade e nas resistências à compressão e à abrasão de concretos permeáveis. 163 folhas. Dissertação- Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 10/11/2014.

DE PAULA, Renata S. P,DOS SANTOS, Vanessa C. D, DE LIMA, Felipe M, ANDRADE, Daniel S. Avaliação da permeabilidade e da resistência à compressão do concreto permeável com “pedra de Pirenópolis” como agregado graúdo e nanossílica coloidal, Congresso brasileiro de concreto, 58º, 2016. Belo Horizonte. IBRACON, 2016. 16 páginas

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 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.

TUCCI, C. E.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana.** Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS-ABRH, 1995.