

ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO DE ADOQUIM CERÂMICO E PEÇAS PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO*

Juliana Peixoto Rufino Gazem de Carvalho¹

Geovana Carla Girondi Delaqua¹

Carlos Maurício Fontes Vieira²

Resumo

Para qualificar um produto como apropriado para pavimentação, dentre outras propriedades, é necessário uma boa capacidade de resistência química. Para isso, este trabalho teve como objetivo comparar o comportamento dos *pavers* cerâmicos, adoquins, produzidos industrialmente e as peças pré-moldadas de concreto (PPC), quando expostos a produtos químicos. Foram utilizados dois tipos diferentes de adoquins, um deles com a massa padrão utilizada para venda no comércio local e outro com a massa modificada, incorporando resíduo de rocha ornamental proveniente de serrarias. O PPC foi obtido no comércio e testado sem nenhuma modificação. Os resultados mostraram uma menor absorção de água do produto de concreto, porém, em relação à resistência química, os pisos cerâmicos possuem característica indiscutivelmente superior.

Palavras-chave: Adoquim; *paver* cerâmico; ataque químico; cerâmica vermelha.

COMPARATIVE ANALYSIS OF RESISTANCE TO CHEMICAL ATTACK OF ADOQUIN CERAMIC AND PRE-MOLDED PARTS OF CONCRETE

Abstract

To qualify a product as suitable for paving, among other properties, a good chemical resistance is required. For this, the objective of this work was to compare the behavior of ceramic pavers, adoquins, industrially produced and pre-molded parts of concrete (PPC) when exposed to chemical products. Two different types of adoquins were used, one with the standard mass used for sale in the local trade and the other with the modified mass, incorporating ornamental rock residue from sawmills. The PPC was obtained commercially and tested without modification. The results showed a lower water absorption of the concrete product, however, in relation to the chemical resistance, the ceramic floors possess indisputably superior characteristics.

Keywords: Adoquin; ceramic paver; chemical attack; red ceramics.

¹ *Doutoranda, Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes-RJ*

² *Professor titular, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes-RJ.*

1 INTRODUÇÃO

O adoquim é um pavimento cerâmico ainda não muito popular no Brasil, porém com sua tecnologia dominada e muito utilizada em vários países do mundo. As características, como variedade de cores naturais, facilidade de aplicação, intertravamento e durabilidade, tornam-no um produto consolidado em locais como Estados Unidos, Espanha, Portugal e Colômbia. Seu maior concorrente é a peça pré-moldada de concreto (PPC), extremamente versátil, capaz de harmonizar qualquer tipo de pavimento, inclusive o industrial e rodoviário, tanto esteticamente quanto estruturalmente.

A indústria Arte Cerâmica Sardinha, localizada em Campos dos Goytacazes-RJ, percebendo a oportunidade de diversificar o setor cerâmico regional, prioritariamente voltado para produtos de baixo valor agregado, como blocos de vedação, iniciou a produção e venda deste piso. O adoquim é capaz de reunir as qualidades do PPC e as vantagens de ser um *paver* composto basicamente por matéria-prima argilosa. Industrialmente, é confeccionado utilizando-se a mistura de duas argilas regionais e areia para melhoramento de suas propriedades. Logo, a sociedade acadêmica notou a possibilidade de incorporação de resíduos industriais, por tratar-se de um material cerâmico e como tal permitir que determinadas quantidades de resíduos sejam adicionadas à massa sem prejuízo das propriedades finais do produto. Para isso, foram desenvolvidos testes laboratoriais [1-2] e industriais [3] adicionando resíduo de rocha ornamental e bons resultados foram obtidos.

Portanto, para qualificarem-se adequadamente para utilização em pavimentos, os produtos em geral precisam resistir a ataques químicos sofridos diariamente em vários meios. Isto significa a capacidade de uma superfície em manter-se inalterada quando e após o contato com determinados produtos ou substâncias. Apesar de sujeitos a vários tipos de contato, os mais comuns são proporcionados por usos domésticos comuns, produtos de limpeza, ácido e álcalis. No geral, as peças cerâmicas não esmaltadas, com baixa absorção de água, comumente possuem excelente resistência química. [4-5]

Sabendo da necessidade de uma boa resistência química para qualificação de um piso e a partir da confecção de adoquins industriais com resíduo de rocha adicionados à massa padrão, este trabalho teve o objetivo de determinar propriedades de absorção de água e resistência química do *paver* e compará-las ao seu concorrente PPC.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e Métodos

Os materiais utilizados neste trabalho foram adoquins cerâmicos (P e A) produzidos industrialmente pela indústria Arte Cerâmica Sardinha e as peças pré-moldadas de concreto (PPC) adquiridas no comércio local do município. A Tabela 1 apresenta as matérias-primas que compõem as peças em questão. Para a produção do lote de massa A, foi incorporada à massa 30%p. de resíduo de rocha ornamental, produto este que foi recolhido de serrarias existentes em Santo Antônio de Pádua-RJ

Tabela 1. Composição das peças utilizadas.

Peça	Argila cinza	Argila carolinho	Areia	Resíduo de rocha ornamental (RR)	Concreto
P	60	10	30	-	-
A	70	-	-	30	-
PPC	-	-	-	-	100

Todos os valores estão em % em peso.

O processo de conformação das peças cerâmicas ocorreu com o auxílio de uma extrusora (maromba) industrial em formato espinha de peixe. Em seguida, foram encaminhadas para um galpão coberto onde ficaram durante 28 dias até a secagem completa. A partir de então, os adoquins foram levados para queima durante 120h, com temperatura até 830°C, em forno tipo abóboda, produzido em material refratário compatível com o comportamento térmico das argilas da região.

O ensaio de absorção de água foi realizado de acordo com a norma ASTM C373-72 [6]. Os corpos de prova foram pesados e colocados em água fervente por 2 horas. Em seguida foram resfriados submersos em água corrente. Posteriormente retirou-se a água superficial de cada peça e as massas foram registradas.

O índice de absorção de água foi calculado de acordo com a Equação (1)

$$AA (\%) = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad (1)$$

Sendo:

AA = Índice de absorção de água (em porcentagem);

P_u = Peso da peça saturada em água; úmida (g);

P_s = Peso da peça seca (g).

Para a análise dos resultados de absorção de água, como no Brasil não há normas específicas que estabelecem padrões para este *paver* cerâmico, torna-se necessário o uso de normas internacionais. Na Tabela 2 são apresentados os padrões [7], [8] que são utilizados como referência.

Tabela 2. Especificações técnicas para *paver* cerâmico de acordo com normas internacionais.

	Normas				
	C 1272 Tipo R	C1272 Tipo F	C 902 Tipo SX	C 902 Tipo MX	C 902 Tipo NX
Absorção de água (AA-%)	6	6	8	14	Sem limite

R e F referem-se aos sistemas de implementação rígidos e flexíveis, respectivamente; SX, pisos adequados para áreas externas submetidos a condições de congelamento e descongelamento; MX, indica uso externo e não exposto a temperaturas frias; NX, adequado para interiores.

No ensaio de resistência química dos produtos industriais foi utilizada como referência a NBR 13818 [9]. Inicialmente as peças selecionadas foram fracionadas em 8 amostras de cada tipo (massa P, massa A e PPC). Em seguida, foram secos em estufa e tiveram suas massas (*M*) medidas com o auxílio de uma balança digital Instrutherm modelo Bd-600 (precisão 0,1g).

Logo, foram submersos por 12 (doze) dias em reagentes apresentados na Tabela 3. Posteriormente foram submetidos, por 5 (cinco) dias, à água corrente, ficando totalmente submersos. Por fim, foram fervidos durante 30min e em seguida, após serem colocados em estufa por 24h, tiveram sua massa (Mf) medidas utilizando a mesma balança citada anteriormente.

Tabela 3. Reagentes utilizados no ensaio

TIPOS DE REAGENTES	DESCRIÇÃO	
Produto químico doméstico	Cloreto de Amônio	
Produto para tratamento de água de piscina	Hipoclorito de Sódio	
Ácidos	Baixa Concentração	Ácido Clorídrico 3% (v/v)
		Ácido cítrico 100g/L
	Alta Concentração	Ácido Clorídrico 18% (v/v)
		Ácido Lático 5% (v/v)
Álcalis	Baixa Concentração	Hidróxido de Potássio 1 (30g/l)
	Alta Concentração	Hidróxido de Potássio 2 (100g/l)

Após a realização do ensaio, as peças tiveram sua perda de massa calculada segundo a Equação (2).

$$PM = 100 - \frac{Mi * 100}{Mf} \quad (2)$$

Sendo:

PM = Perda de massa

Mi = Massa inicial, após secagem em estufa;

Mf = Massa final, após fervidos por 30min.

2.2 Resultados e Discussões

A Figura 1 mostra os resultados obtidos no ensaio de absorção de água entre os adoquins com massa A, massa P e PPC. As barras de erro encontram-se representadas no gráfico, porém de forma pequena, mostrando uma regularidade maior dos resultados obtidos.

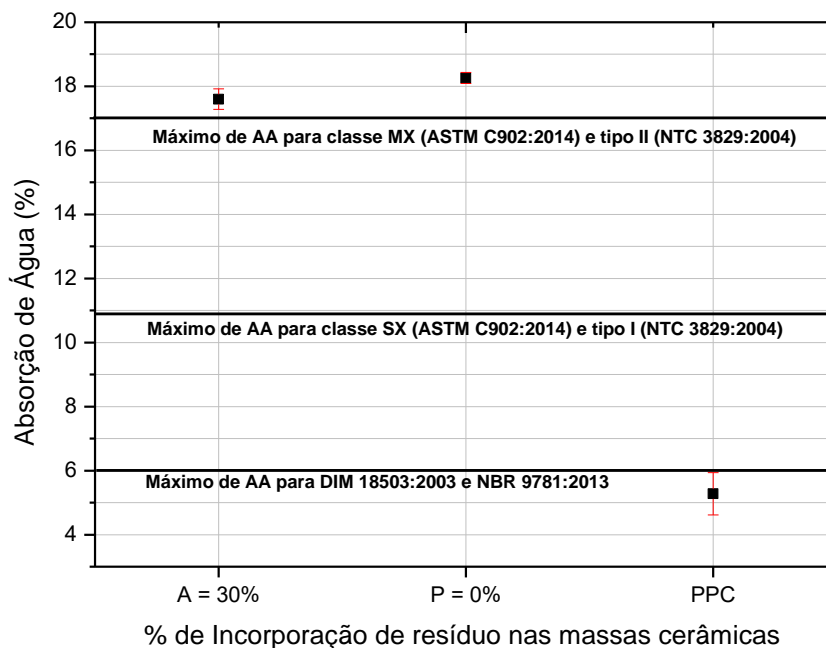


Figura 1. Absorção de água das cerâmicas queimadas e PPC.

É importante observar que a massa A, mesmo com a existência das barras de erro, produziram um resultado de absorção sutilmente inferior (<1%) quando comparado às peças confeccionadas com a massa P, aproximando-se muito do limite máximo de AA permitidos para adoquins de classe MX [8].

A absorção de água está estritamente relacionada à microestrutura do material e à porosidade aberta. Portanto, pode-se afirmar que, no teste com as peças industriais, o resíduo de rocha ornamental produziu um empacotamento um pouco maior das partículas, ou seja, trabalhou como material de preenchimento, diminuindo a porosidade aberta, o que conseqüentemente reduziu a absorção de água das peças [10].

Ao observar o comportamento do PPC no ensaio de absorção de água, é notável a diferença entre os resultados. Os adoquins absorveram água em maiores proporções quando comparado à peça pré-moldada de concreto. O valor máximo de absorção do PPC, indicado pela norma [7] seria de 6%, porém o valor alcançado por ele é inferior ao limite estabelecido.

Ao comparar os resultados das massas A e P pelas normas de referências internacionais para adoquins de tráfego leve, observa-se que estas encontram-se dentro dos limites para adoquins de uso em ambientes internos e expostos à baixa abrasão como em pisos residenciais e de quintais de casas unifamiliares, ou seja, classificados como classe NX. [8]

É importante ressaltar que os adoquins produzidos ficaram com os limites de absorção de água muito próximos ao exigido pela norma, para atuação em áreas externas e de exposição à abrasão intermediária, ou seja, classe MX [8]. Portanto, uma solução que poderia ser melhor estudada para o problema, seria o aumento na incorporação de resíduo, material não plástico. Esta adição é capaz de alterar a etapa de conformação, através da quantidade de água de plasticidade, com finalidade de gerar um grau de empacotamento maior das partículas. [11- 12]

Antes e após a realização do ensaio de ataque químico, as amostras foram fotografadas e os seus aspectos visuais foram registrados. A síntese da avaliação visual obtida é mostrada na Tabela 4.

Tabela 4. Resultado do ensaio de ataque químico.

TIPOS DE REAGENTES	DESCRIÇÃO	EFEITOS			Massa perdida (%)	Massa perdida (g)		
		Não visíveis	Visíveis no lado do corte	Visíveis no lado do corte, sem corte e superfície				
Produto químico doméstico	Cloreto de Amônio	A6=	[x] UA	[] UB	[] UC	0,26 %	0,60 g	
		P6=	[x] UA	[] UB	[] UC	0,19 %	0,28 g	
		C6=	[] UA	[] UB	[x] UC	2,25 %	4,24 g	
Produto para tratamento de água de piscina	Hipoclorito de Sódio	A8=	[x] UA	[] UB	[] UC	0,25 %	0,58 g	
		P8=	[x] UA	[] UB	[] UC	0,16 %	0,27 g	
		C8=	[] UA	[] UB	[x] UC	1,71 %	4,04 g	
Ácidos	Baixa Concentração	Ácido Clorídrico 3% (v/v)	A2=	[x] ULA	[] ULB	[] ULC	0,48 %	1,01 g
			P2=	[x] ULA	[] ULB	[] ULC	0,42 %	0,58 g
		C2=	[] ULA	[x] ULB	[] ULC	9,81 %	15,99 g	
		Ácido cítrico 100g/L	A5=	[] ULA	[x] ULB	[] ULC	0,39 %	0,79 g
			P5=	[] ULA	[] ULB	[x] ULC	0,36 %	0,51 g
		C5=	[] ULA	[] ULB	[x] ULC	12,87 %	21,63 g	
	Alta Concentração	Ácido Clorídrico 18% (v/v)	A4=	[] UHA	[] UHB	[x] UHC	2,56 %	5,15 g
			P4=	[] UHA	[] UHB	[x] UHC	0,65 %	0,81 g
		C4=	[] UHA	[] UHB	[x] UHC	17,62 %	32,19 g	
		Ácido Lático 5% (v/v)	A3=	[x] UHA	[] UHB	[] UHC	0,32 %	0,73 g
			P3=	[x] UHA	[] UHB	[] UHC	0,32 %	0,41 g
		C3=	[] UHA	[] UHB	[x] UHC	6,16 %	9,71 g	
Alcalis	Baixa Concentração	Hidróxido de Potássio 1 (30g/l)	A7=	[x] ULA	[] ULB	[] ULC	1,06 %	2,65 g
			P7=	[x] ULA	[] ULB	[] ULC	-0,29 %	-0,47 g
			C7=	[x] ULA	[] ULB	[] ULC	1,35 %	2,16 g
	Alta Concentração	Hidróxido de Potássio 2 (100g/l)	A1=	[] UHA	[] UHB	[x] UHC	2,80 %	6,21 g
			P1=	[x] UHA	[] UHB	[] UHC	-1,87 %	-3,49 g
			C1=	[x] UHA	[] UHB	[] UHC	1,59 %	2,53 g
Níveis de Resistência ao ataque químico:		Elevada	Média	Baixa				

As peças foram identificadas pelas letras referentes às suas massas, sendo A, as peças de massa A, sendo P, as peças de massa P e C, as peças de massa do PPC. Os números que acompanham as letras referem-se aos reagentes utilizados em cada peça (Tabela 2). Por exemplo: C6, refere-se à amostra de PPC atacada com o Cloreto de Amônio.

De acordo com a Tabela 4 é possível perceber que, não apresentaram efeitos visíveis, as peças A2, A3, A6, A7, A8, P1, P2, P3, P6, P7, P8, C1 e C7. Isto comprova que as estas peças possuem elevada resistência ao ataque dos reagentes identificados. Apesar disso, assim que o A3 saiu da água corrente, foi observada a presença de uma bolha transparente que sumiu quando a peça foi submersa em água em alta temperatura (Figura 2).



Figura 2. Efeito visível antes da peça A3 ser submersa em água fervente.

É importante identificar que o reagente (7), Hidróxido de Potássio, quando em baixa concentração, não causa efeito visível em nenhum dos materiais analisados, sendo relatadas perdas de massa semelhantes, na ordem de 1% para as massas A e C. Porém, este produto gerou um aumento de massa, de aproximadamente 0,47g nas amostras P. Isto é explicado pelo reagente causar um efeito expansivo neste material cerâmico.

As peças A5 e C2 foram identificadas com efeitos visíveis somente nas superfícies no lado do corte. Isto comprova média resistência ao ataque de Ácido Cítrico e Ácido clorídrico, respectivamente, ambos em baixa concentração. O efeito do ataque gerou uma perda de massa na peça A5 de somente 0,39%. Em contrapartida, a peça C2 sofreu uma perda de massa alta, de 9,81%. Na Figura 3 observa-se a aparência da peça C2 assim que foi retirada da água corrente, antes de ser submersa em água fervente. É notável que a alteração na superfície de corte da peça se assemelha a um lodo, que sumiu após a peça ser fervida, porém resultou em efeitos irreversíveis nestas superfícies. Na parte inferior da peça, não foi identificada nenhuma alteração.

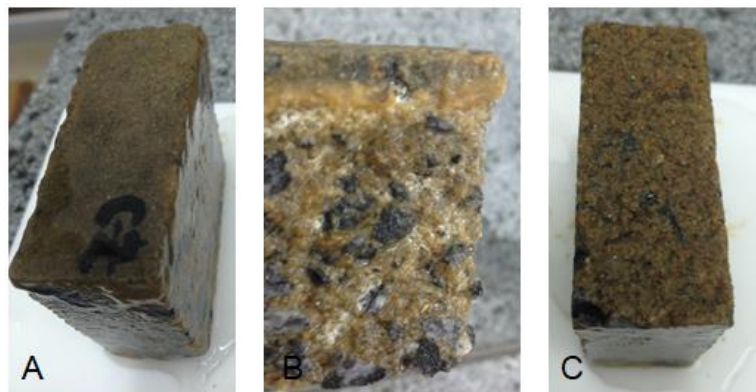


Figura 3. Imagens da peça C2 recém-tiradas da água corrente. (A) a peça com a textura alterada na superfície do corte; (B) detalhe da lateral cortada da peça; (C) parte inferior, não danificada, da peça.

Na peça A5 (Figura 4) foi identificado na superfície cortada, um efeito na fratura da peça. Este se assemelha a uma bolha que preencheu um espaço existente na amostra. O efeito também sumiu após a peça ser fervida, porém também deixou marcas irreversíveis nesta superfície.

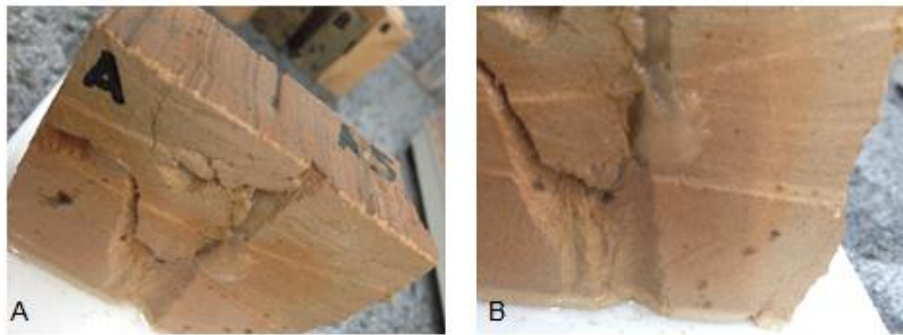


Figura 4. Imagens da peça A5 recém-tiradas da água corrente. (A) a peça com a bolha na fratura da superfície do corte; (B) detalhe da bolha;

Foram detectadas com baixo nível de resistência ao ataque químico, as seguintes peças: A1, A4, P4, P5, C3, C4, C5, C6, C8. Sobre elas, é possível dividi-las em três faixas de diferentes perdas de massas, que são identificadas na Tabela 5.

Tabela 5. Faixas de variação de perda de massa – Nível de resistência.

PERDA DE MASSA	PEÇAS
Menor de 1%	P4 e P5
Entre 1% e 2,8%	A1, A4, C6, C8
Entre 6,16% e 17,62%	C3, C4, C5

É notável que as perdas mais acentuadas referiram-se às peças pré-moldadas de concreto (massa C), chegando, a peça C4 (Figura 5a), a perder 17,62% de sua massa inicial. Esta alta taxa se deve ao fato da pouca resistência desse material ao Ácido Clorídrico 18% (v/v) em alta concentração. Percebe-se que as peças cerâmicas de massa A e P também resistem pouco a este ácido, porém são capazes de sofrer perdas de massa consideravelmente menores, quando comparadas ao PPC. O efeito causado na peça A4 (Figura 5b e 5c) foi percebido como uma descoloração do lado do corte, junto com uma mancha de cor roxa. Na parte superior da peça, foi detectada uma aparência de ferrugem.

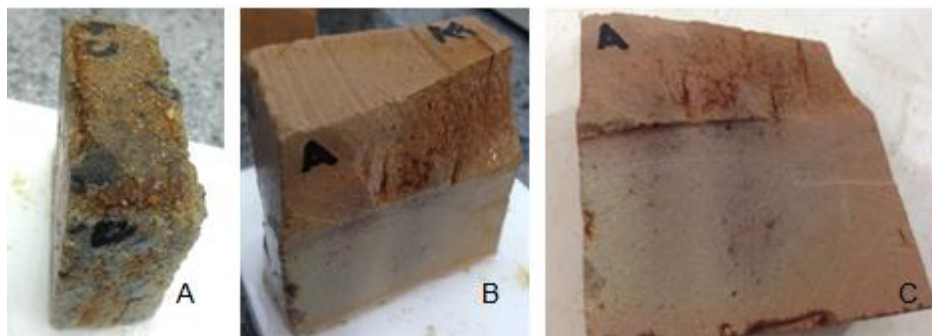


Figura 5. (A) Imagem do C4 recém-tirado da água corrente; (B) Efeito na superfície do A4 e (C) Efeito no lado do corte do A4.

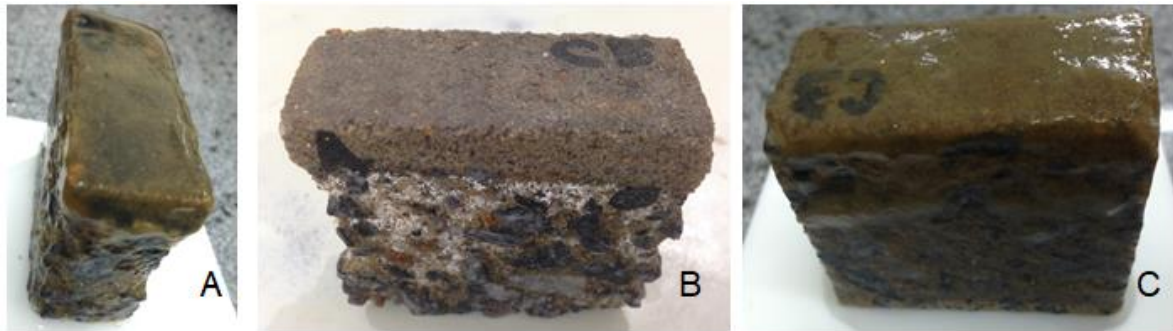


Figura 6. Peça C5 (A) recém-tirada da água corrente (B) e recém-tirada da água fervente. É possível observar a lateral que esteve em contato com o ácido mais fina que a parte superior da peça, que não esteve em contato direto. (C) Peça C3 recém-tirada da água corrente.

Efeito semelhante é encontrado na peça C5 (Figura 6), que perdeu 12,87% de sua massa ao entrar em contato com o Ácido Cítrico 100g/L (baixa concentração), ao comparar este resultado à massa P, que perdeu somente 0,36%, é possível afirmar que o produto cerâmico é mais resistente a este ácido. A peça A5, por sua vez, composta por 30% de resíduo de rocha ornamental, apresentou efeito visível apenas no lado do corte, tendo sido classificada como média resistência a este ácido tão nocivo ao PPC.

A peça C3 (Figura 6) foi identificada com uma espécie de “lodo” que cobria a superfície no lado do corte e na parte superior da peça. O resultado deste efeito foi verificado mesmo após à amostra ter sido fervida por 30min.

3 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, foi possível concluir que:

- Os adoquins de massa A e P estão aptos a serem utilizados em ambientes internos e expostos à baixa abrasão como em pisos residenciais e de quintais de casas unifamiliares e são classificados como classe NX.
- Por terem se aproximado muito aos limites de absorção de água exigidos pelas normas, uma maior incorporação do resíduo de rocha pode ser capaz de fazê-lo atingir outra classe de aplicação.
- De acordo com a resistência ao ataque químico, os corpos de prova de cerâmica possuem resistência elevada aos reagentes, quando comparados ao PPC. A eficiência e durabilidade dos adoquins, quando em contato com os produtos químicos, são indiscutivelmente melhores.
- As cerâmicas de massa A são superficialmente mais resistentes que a massa P.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPERJ pelo suporte na investigação desses resultados.

REFERÊNCIAS

- 1 PINHEIRO, R. M. (2012). Desenvolvimento de pavimento argiloso extrudado: adoquim cerâmico. 148p. Tese (Doutorado), Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, Campos dos Goytacazes/RJ.
- 2 Amaral, L. F., Carvalho, J. P. R. G. de, Silva, B. M. da, Delaqua, G. C. G., Monteiro, S. N., & Vieira, C. M. F. (2018). Development of ceramic paver with ornamental rock waste. *Journal of Materials Research and Technology*. doi:10.1016/j.jmrt.2018.05.009
- 3 Carvalho, J.P.R.G. Estudo dos parâmetros técnicos do adoquim cerâmico com incorporação de resíduo de rocha ornamental. 129p. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, Campos dos Goytacazes/RJ.
- 4 Chihi, R., Blidi, I., Trabelsi-Ayadi, M., & Ayari, F. (2019). Elaboration and characterization of a low-cost porous ceramic support from natural Tunisian bentonite clay. *Comptes Rendus Chimie*. doi:10.1016/j.crci.2018.12.002
- 5 ASTM – American Society for Testing and Materials. (2014) Standard Specification for Heavy Vehicular Paving Brick, C1272, 2014.
- 6 Norma NBR 13818 – Placas Cerâmicas para Revestimento – Métodos de Ensaios, 1997.
- 7 ASTM—American society for testing and materials (1972) Water Absorptin, Bulk Density, Apparent Porosity and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, C373-72, USA
- 8 ASTM – American Society for Testing and Materials. (2014) Standard Specification for Pedestrian and Light Traffic Paving Brick, C902, 2014.
- 9 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (1997). Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios, NBR 13818, 1997.
- 10 EL-MAGHRABY, H.F.; EL-OMLA, M.M.; BONDIOLI, F.; NAGA, S.M. (2011). Granite as flux in stoneware tile manufacturing. *Journal of the European Ceramic Society*, 31, p. 2057–2063.
- 11 PINHEIRO, R. M. (2012). Desenvolvimento de pavimento argiloso extrudado: adoquim cerâmico. 148p. Tese (Doutorado), Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, Campos dos Goytacazes/RJ.
- 12 NORTON, F. H. (1973). Introdução à tecnologia cerâmica. Tradução: Jefferson Vieira de Souza. São Paulo: Edgard Blucher.