

INCORPORAÇÃO DE REJEITO DA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA À FORMULAÇÃO DE PAVERS INTERTRAVADOS A BASE DE CIMENTO

A.P.M. Menegazzo ⁽¹⁾; L.L. Dias ⁽¹⁾; E. Quinteiro ⁽²⁾; C.A.S. Oliveira ⁽³⁾; P.D.F. Macedo ⁽³⁾

(1) CCB – Centro Cerâmico do Brasil;

(2) UNIFESP – Universidade Federal de São Paulo/ Instituto de Ciência e Tecnologia;

(3) UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá/ Campus de Itabira. Rua Irmã Ivone Drumond, 200 – Distrito Industrial II – CEP 35903-087 – Itabira (MG), email: patrick.douglas.freitas.macedo@gmail.com.

RESUMO

O trabalho desenvolveu uma formulação de produto à base de cimento com incorporação de rejeitos da indústria de cerâmica vermelha, conhecidos como “cacos cerâmicos”. Buscou-se o desenvolvimento de um material com características técnicas adaptadas à fabricação de pavers cimentícios, tipicamente utilizados para pavimentação de áreas externas. Os cacos cerâmicos foram moídos, separados em faixas granulométricas e adicionados às formulações de concreto em diferentes granulometrias e proporções volumétricas. O traço do concreto foi cuidadosamente determinado e caracterizado. Os corpos-de-prova foram confeccionados com e sem a adição dos rejeitos. A caracterização dos corpos-de-prova incluiu a determinação da resistência à compressão, da resistência à flexão, da resistência à abrasão profunda, da absorção de água e da resistência ao ataque químico. Os resultados indicam a possibilidade técnica de incorporação dos cacos cerâmicos aos pavers, sem que ocorram prejuízos ao desempenho em uso destes produtos e qualificando esta como uma destinação ambientalmente adequada.

Palavras-chave: cerâmica vermelha, cacos cerâmicos, concreto, pavers.

INTRODUÇÃO

Este trabalho se propôs a estudar as propriedades dos produtos denominados comercialmente como bloquetes ou pavers, que são peças de concreto utilizada em pavimentação. Estes produtos oferecem algumas propriedades diferenciadas do tradicional pavimento feito de asfalto, como a possibilidade de não

impermeabilização do solo. Além disso, são de fácil assentamento e manutenção, além de possuírem diversidade de cores, formas e aplicações. São utilizados em áreas destinadas ao trânsito de pedestres e áreas de tráfego de veículos pesados. A norma aplicável aos *pavers* no Brasil é a ABNT NBR 9781/2013, recentemente revisada.

Os *pavers* são os elementos principais utilizados para a elaboração de pavimentos intertravados que, segundo a ABNT NBR 9781/2013, podem ser definidos como “pavimentos flexíveis cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justapostas em uma camada de assentamento e cuja as juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção”.

Em um mercado cada vez mais competitivo é preciso apostar na inovação tecnológica dos produtos e/ou dos meios de produção para que a concorrência seja vencida e o produto esteja apto para o sucesso comercial. É com este intuito que este trabalho inovou na formulação dos *pavers*, adicionando cacos cerâmicos moídos, provenientes de rejeitos da indústria de cerâmica vermelha (telhas, blocos de vedação e estruturais, lajotas, etc). Neste caso, busca-se a elaboração de um produto denominado cimento-cerâmico, sem comprometer as propriedades mecânicas, físicas e químicas que a norma de referência ABNT NBR 9781/2013 exige.

Quanto ao tipo de pavimentação a NBR 9781/2013 classifica os *pavers* em duas classes de acordo com sua resistência à compressão média, segundo a resistência à compressão característica aos 28 dias de idade de cura:

- Maior ou igual a 35 MPa: destinado ao tráfego de pedestres, veículo leves e veículos comerciais de linha.
- Maior ou igual 50 MPa: destinado ao tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma formulação de *pavers* cimentícios com incorporação de rejeitos da indústria de cerâmica vermelha. Este produto será denominado neste estudo de paver cimento-cerâmico.

MATERIAIS E MÉTODOS

O método de dosagem adotado para o concreto foi aquele proposto pela ABCP/ACI. Os materiais utilizados foram: cimento Portland CPV-ARI de alta resistência inicial, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (brita), os quais foram caracterizados segundo as normas específicas NBR 7215, NBR 7217, NBR 9776, NBR NM 45, NBR NM 51, NBR 7211 e NBR NM 53.

Os rejeitos de cerâmica vermelha foram moídos (em moinho de martelos) e separados em faixas granulométricas. Para este estudo foram selecionadas as frações retidas nas malhas ABNT nº18, ABNT nº 80 e, também, a granulometria original dos rejeitos, sendo denominados no estudos, respectivamente, **-8 +18**; **-18 +80** e **Original**.

Para introduzir os cacos cerâmicos à formulação dos *pavers*, formulou-se um traço de concreto que visasse, inicialmente, atingir duas propriedades: resistência à compressão e consistência adequada para moldar os blocos.

As principais características e formulações dos concretos são apresentadas na Tabela 1. O rejeito foi introduzido como acréscimo, em diferentes frações volumétricas (5 e 10%) sobre estas formulações. O traço do concreto formulado foi de 1 (cimento): 2 (areia): 2,5 (brita).

Tabela 1: Características e formulações dos concretos estudados.

A/C*	Porcentagem Volumétrica de rejeito adicionado	Granulometria dos rejeitos	Slump (cm)	Idade (dias)
0,48	10%	ORIGINAL	1,7	28 dias
	5%		1,6	28 dias
	10%	-18+80	1,0	28 dias
0,37	5%	-18+80	0,5	28 dias
0,44	10%	-8+18	2,1	28 dias
0,42	5%	-8+18	1,5	28 dias
0,38	REFERÊNCIA**		5,0	28 dias

(*) razão água/cimento (**) Composição sem adição de rejeito

O fluxograma apresentado na Figura 1 mostra, de forma resumida, a metodologia adotada.

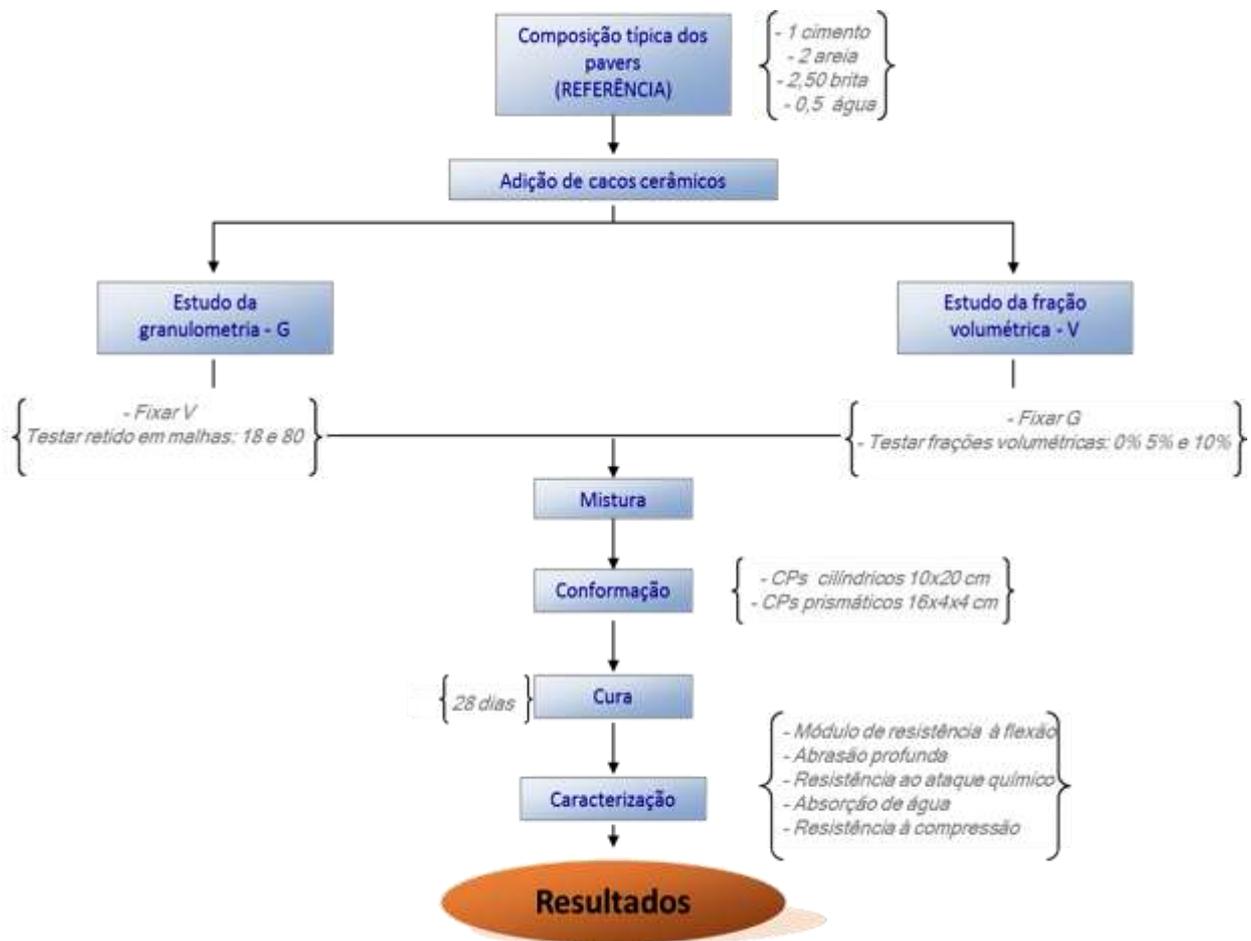


Figura 1: Fluxograma do processamento dos corpos de prova cimento-cerâmico.

As caracterizações dos corpos-de-prova foram realizadas determinando-se a resistência à compressão segundo a norma NBR 9781/2013, utilizando-se uma máquina universal de ensaios EMIC. Os corpos-de-prova submetidos a este ensaio foram os de geometria cilíndrica 10 cm x 20 cm com idade de 28 dias.

O ensaio de resistência à flexão, segundo a norma UNE-NE 1344, foi adaptado seguindo os procedimentos da norma de telhas de concreto a NBR 13858-2 anexo D. Para esta caracterização e todas as posteriores utilizaram-se os corpos-de-prova com geometria prismática de 16 cm x 4 cm x 4 cm.

O ensaio de absorção de água foi executado segundo a norma NBR 13858-2 anexo B.

Os ensaios de abrasão profunda e resistência ao ataque químico exigidos pela norma UNE-NE 1344 foram adaptados para as condições laboratoriais seguindo os

procedimentos da norma NBR 13818 anexo E e H, respectivamente. Para o ensaio de ataque químico, o tempo de permanência dos corpos de prova nos reagentes foi reduzido para 2 dias.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são apresentados na Tabela 2 e discutidos na sequência.

Tabela 2 Resultados de resistência à compressão, flexão absorção de água e abrasão profunda.

A/C*	% volumétrica de rejeito	Granulometria do rejeito	Slump (cm)	Densidade (g/cm ³)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à flexão (MPa)	Absorção de água (%)	Abrasão profunda (mm ³)
0,48	10%	ORIGINAL	1,7	2,33	37,4	-	6,6	393
0,48	5%	ORIGINAL	1,6	2,34	36,9	-	6,4	481
0,48	10%	-18+80	1	2,33	38,7	-	5,5	462
0,37	5%	-18+80	0,5	2,38	47,4	8,4	5,3	444
0,44	10%	-8+18	2,1	2,33	43,3	8,1	6,8	500
0,42	5%	-8+18	1,5	2,36	42,2	8,1	6,4	409
0,38	REFERÊNCIA**		5	2,37	44,1	8,8	5,4	393

(*) Razão água-cimento, (**) Composição sem adição de rejeito

Com os resultados apresentados na Tabela 2 é possível verificar qual traço possui as melhores propriedades para a aplicação em pavimentação. O ideal é que o paver possua uma alta resistência mecânica e isto engloba resistência à compressão e à flexão. Um menor desgaste à abrasão também é desejável, sendo que os valores apresentados representam o volume de material perdido quando utiliza-se um procedimento abrasivo padronizado para os corpos-de-prova de todas as formulações. A absorção de água também deve ser a menor possível, pois quanto maior a absorção maior porosidade do material e, conseqüentemente, menor será a densidade e a resistência mecânica para uma determinada aplicação de carga.

Analisando a resistência à compressão, o traço que alcançou a maior resistência foi o -18+80 contendo 5% de rejeitos. Este traço também apresentou o menor *slump*, maior densidade e o menor razão água-cimento (A/C). Estes três parâmetros explicam a elevada resistência à compressão das peças de pré-moldados de concreto. A água é o fator limitante da resistência, quanto mais água possuir o concreto menor será a resistência. A água também é responsável por dar plasticidade ao concreto, quanto maior a quantidade de água do concreto em seu traço, mais plástico ele tende a se tornar.

Pelos resultados da Tabela 2 notamos também que, em geral, quanto menor é A/C mais denso é o concreto e, quanto maior a densidade, maior é a sua resistência à compressão, comportamento que confere com aquele esperado ⁽²⁾, relacionando a relação água/cimento com a resistência à compressão do concreto. Com isso o traço -18+80 com 5% de rejeitos possui maior resistência, pois ele possui também menor relação A/C. Este traço possui menor quantidade de água pois o rejeito, nesta granulometria, é muito fino e, portanto, absorve bastante água. O motivo para que este traço possua menos água é que com pouca água ele já desenvolveu a consistência adequada para a moldagem de *pavers*, ou seja, um *slump* próximo a zero (0,5 cm). Já o traço -18+80 contendo 10% de rejeitos apresentou uma resistência à compressão cerca de 10 MPa inferior ao traço -18+80 com 5% de rejeitos. Entretanto, é provável que se possa aumentar a resistência à compressão com 10% de rejeitos, reduzindo-se a quantidade de água na sua composição. O fator que permite esta redução de água é o seu *slump* que foi de 1 cm para a composição -18+80 contendo 10% de rejeitos, podendo-se reduzir a água para se atingir um *slump* de 0,5 cm, similar ao da composição -18+80 com 5% de rejeitos.

Para os traços da granulometria ORIGINAL (Tabela 2) a diferença de resistência à compressão entre os corpos-de-prova contendo 5% e 10% de rejeitos não foi significativa, sendo que ambos apresentaram valores de *slump* bem próximos (1,6 e 1,7cm, respectivamente). O traço ORIGINAL também resultou nos corpos-de-prova com os menores valores de resistência à compressão. Provavelmente se for reduzida a quantidade de água na composição ORIGINAL a resistência à compressão também aumentará. Portanto, pode-se concluir que dentre todas as granulometrias utilizadas esta influencia mais negativamente a resistência à compressão dos *pavers*.

As composições confeccionadas com a granulometria -8+18 também não apresentaram grandes diferenças de resistência entre os teores de 5% e 10% de rejeitos introduzidos (Tabela 2). Porém, cabe ressaltar que a composição -8+18 contendo 10% de rejeitos pode ter a sua quantidade de água reduzida, pois o seu *slump* é maior que 2 cm. Com isso, provavelmente se conseguiria aumentar ainda mais a sua resistência à compressão. O aumento do teor de rejeito neste caso favoreceu o aumento da resistência à compressão.

O concreto referência foi dosado segundo o método da ABCP/ACI. Ele possui uma razão A/C menor do que o previsto pelo traço calculado, pois a consistência dele com 0,38 de A/C já se mostrava demasiadamente elevada para a confecção dos corpos-de-prova. Porém ele possui alta resistência à compressão (44 MPa) . O valor do *slump* por ele apresentado, de 5 cm, realmente não pode ser utilizado em uma produção industrial com vibro-prensas. Porém, isto não é um problema pois a redução da quantidade de água diminuirá o *slump* e só aumentará ainda mais a resistência à compressão. Aumentar ainda mais esta resistência não é necessário já que o valor de 35 MPa já é uma resistência bem elevada para determinadas áreas de pavimentação⁽³⁾. Pode-se, ao mesmo tempo, diminuir a quantidade de água e também a quantidade de cimento até que seja alcançado uma razão A/C que permita um obter um *slump* baixo e uma resistência à compressão satisfatória. A diminuição do consumo de cimento é uma excelente medida pois diminui o custo do metro cúbico de concreto e o consumo do cimento Portland, cuja produção libera muito dióxido de carbono ⁽³⁾.

A Figura 2 apresenta uma análise da correlação de todos os valores de resistência à compressão obtidos neste estudo (Tabela 2) em função da razão A/C e da densidade dos corpos-de-prova. É importante ressaltar que esta tendência de aumento da resistência à compressão com a diminuição da quantidade de água tem limites. Um dos limites é quando o valor do *slump* se aproxima de zero e o concreto tende a não ser trabalhável. O outro limite refere-se ao fato de que a resistência do concreto está também relacionada à resistência máxima dos agregados que o compõe. Neste trabalho a brita e os rejeitos de cerâmica vermelha parecem ter se tornado os elementos estruturais de enfraquecimento dentro do concreto, pois ao se analisar a superfície de fratura dos corpos-de-prova verificou-se ocorrência de ruptura intragranular, como pode ser observado na Figura 3.

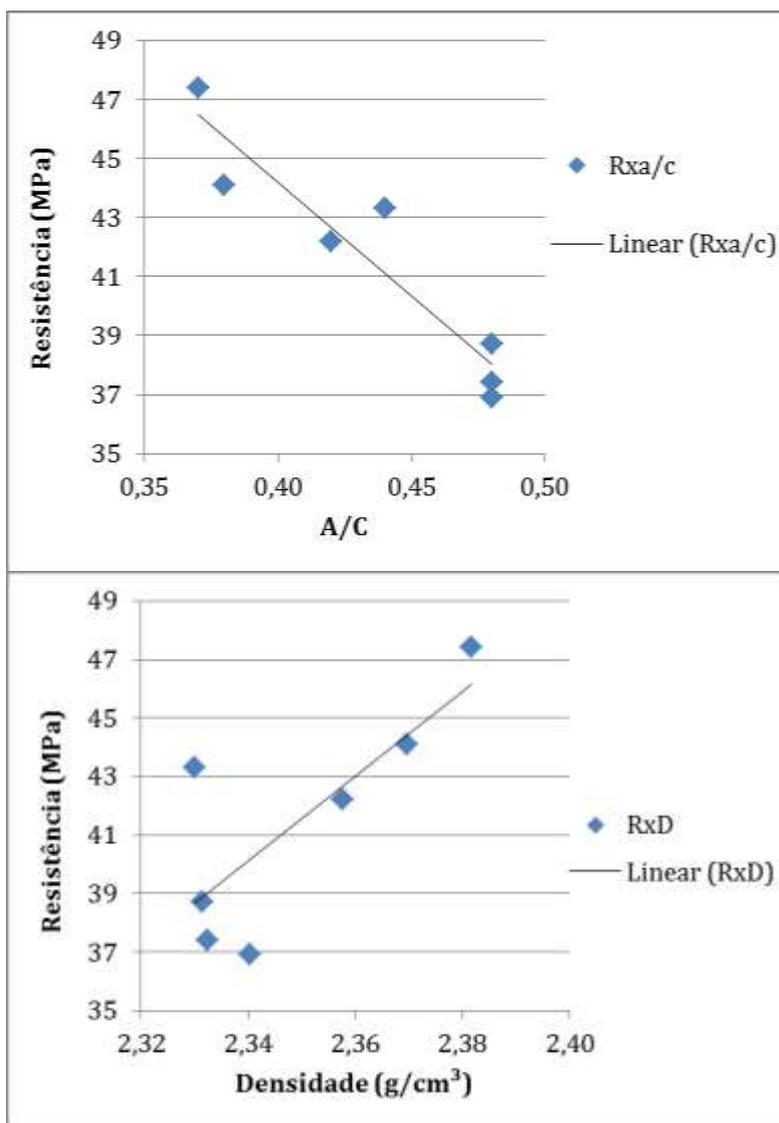


Figura 2: Evolução da resistência com a densidade e com a razão A/C.



Figura 3: Análise da superfície de fratura dos corpos-de-prova.

Por meio das Figuras 2 e 3, pode-se observar que a fratura ocorre na brita e, em alguns casos, a brita é expulsa da matriz do concreto.

A Figura 4 compara a resistência à compressão dos corpos-de-prova para todos os traços desenvolvidos neste trabalho. Os resultados deste parâmetro, que representa um requisito de análise importante para projeto e controle da qualidade dos *pavers*, foi satisfatório para todos os traços, pois todos os corpos-de-prova alcançaram resistências superiores ao valor mínimo de 35 MPa exigido pela NBR 9781/2013.

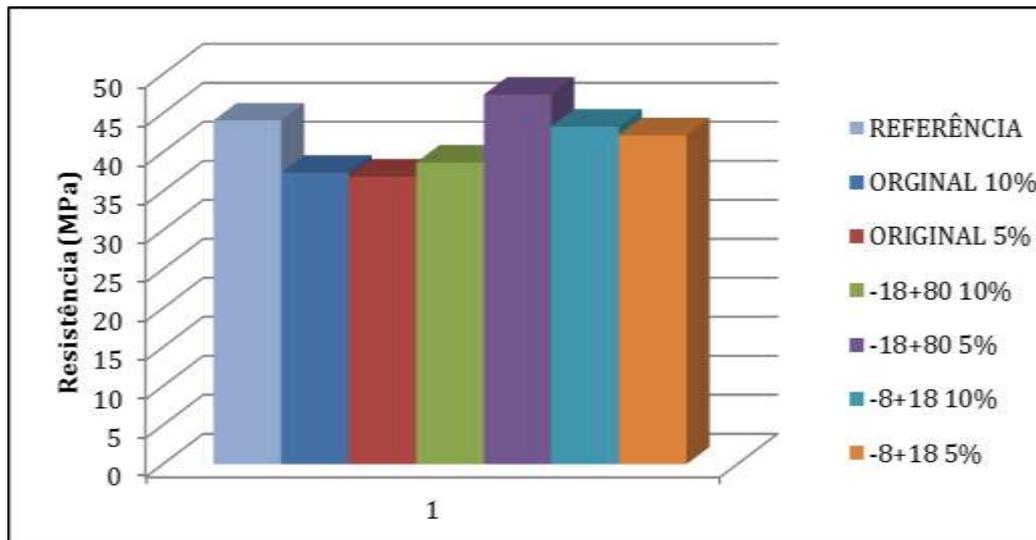


Figura 4: Resistência à compressão de todas as composições estudadas.

Para o Módulo de Ruptura à Flexão (MRF), na Tabela 2, observa-se que os valores obtidos para os corpos-de-prova praticamente não diferem. Os valores obtidos de 8 MPa (N/mm²) são bastante baixos podendo-se, a princípio, sugerem que a alta capacidade dos corpos-de-prova em resistir aos esforços à compressão não significam que os mesmos suportem aos elevados esforços de flexão em três pontos. Entretanto, uma vez que os *pavers* são produtos com elevada espessura, estes suportam elevadas cargas até a ruptura à flexão. Isto permite que ao concreto que constitui estes produtos possa possuir um módulo de ruptura relativamente baixo, como os obtidos neste estudo, sem desqualificar o material para tal aplicação.

Para os ensaios de absorção de água e abrasão profunda também não se verificam grandes diferenças entre os resultados para as composições contendo diferentes proporções e granulometrias dos rejeitos (Tabela 2). No ensaio de abrasão profunda, de acordo com a NBR 13818, se considerarmos placas cerâmicas para revestimento não esmaltadas com absorção de água entre 6 e 10%, a

quantidade de material removido deve ser menor ou igual a 649 mm^3 . Todas as composições estudadas cumpriram este requisito. No ensaio de absorção de água os valores apresentados pelos *pavers* estão de acordo com norma de telha de concreto, a NBR 13858-2, cuja absorção não deve exceder 10%.

Para os resultados de resistência ao ataque químico ressalta-se que o procedimento de ensaio foi baseado na NBR 13818/1997, para produtos não esmaltados e fixando-se o tempo de imersão dos corpos nas soluções de ataque em 96 horas. A análise e expressão dos resultados foi baseada na norma ASTM C-650-04, relatando-se apenas se a superfície apresentava ou não o ataque de forma visível. Para todas as formulações a presença ou não do rejeito não alterou os resultados, o que relaciona a resistência ao ataque químico apenas com a formulação do concreto de referência. Os agente ácidos de ataque, ácido cítrico e o ácido clorídrico, atacaram todos os traços estudados. Para os agentes hipoclorito de sódio, hidróxido de potássio e amônia não foram observadas alterações visíveis relacionadas ao ataque químico. Estes resultados são característicos dos produtos de natureza cimentícia.

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que a introdução de rejeito de cerâmica vermelha à formulação de *pavers* é possível, pois garante ao produto final as qualificações técnicas exigidas pelas atuais normas. Mais do que isto, a resistência à compressão alcançada pelos *pavers* é muito superior à de 35 MPa exigida pela NBR 9781. Isto implica na possível redução da quantidade de cimento na formulação, conseqüentemente reduz o custo unitário de concreto além de possibilitar a reutilização dos cacos cerâmicos, dando a estes uma destinação adequada e ambientalmente responsável.

É possível concluir que para se conseguir melhores desempenhos mecânicos se faz necessário principalmente o controle da relação água/cimento e do *slump* do concreto. O uso do rejeito estudado às formulações afeta diretamente estes dois parâmetros, pois os cacos cerâmicos absorvem água e, conseqüentemente, modificam as propriedades mecânicas e de escoamento do material. O aumento de resistência à compressão é limitado por outro fator além da água, que é a resistência

dos agregados que o compõe. Neste trabalho a brita e o rejeito caracterizaram-se como fatores limitantes da resistência do concreto.

Os resultados de resistência à flexão mostraram que o concreto elaborado é pouco resistente a este tipo de esforço, o que justifica as espessuras exigidas para os *pavers*. A presença do rejeito não afetou o desempenho quanto ao módulo de ruptura à flexão.

Quanto a resistência à abrasão profunda, o desempenho dos corpos-de-prova, independente da quantidade e granulometria de rejeito adicionado às composições testadas, foi condizente com as obtidas para produtos destinados a tráfegos de pedestres.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SIEMENSKOSKI, A. Avaliação da influência da adição de fibras de aço nas peças de concreto para pavimentação. Curitiba: Instituto IDD, 2010.
2. RODRIGUES, F. P. P. Parâmetros de dosagem de concreto. 2.ed.rev.atual. São Paulo: ABCP, 1995.
3. FIORITI, C. F. Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo. São Carlos: USP, 2007.

INCORPORATION OF WASTE INDUSTRY CERAMIC RED THE FORMULATION OF *PAVERS* INTERLOCKED BASE CEMENT

ABSTRACT

This work developed a formulation of cement-based product incorporating fired waste from red ceramic industry for civil construction , known as "ceramic shards." It was developed a material with technical features adapted to the manufacture of cement pavers, typically used for paving outdoor areas. These ceramic wastes were milled, separated into particle sizes and added to concrete formulations in different particle size and volumetric proportions. The trace of the concrete was carefully determined and characterized. The specimens were produced with and without the addition of ceramic waste. The characterization of the specimens included the determination of the compressive strength, flexural strength, depth of abrasion resistance, water absorption and resistance to chemical attack. The results indicate the possibility of technical incorporating of ceramic waste in pavers, without incurring damage to the

performance of these products and qualifying this as an environmentally appropriated.

Key-words: red ceramic, waste ceramic, concrete, pavers.