

Utilização do resíduo da indústria cerâmica para produção de concretos

(Use of ceramic industry residuals in concrete)

Jardel Pereira Gonçalves

*Dr. em Engenharia Civil, Professor do Departamento de Tecnologia e do Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: jardel@uefs.br; jardelpg@gmail.com*

Resumo

Nesse trabalho, são apresentados os resultados do estudo da utilização do resíduo da indústria cerâmica (tijolos de argila calcinada) como material pozolânico suplementar para produção de concretos. O resíduo da indústria cerâmica foi caracterizado física, química e mineralogicamente. A viabilidade técnica da substituição do cimento por resíduo da indústria cerâmica foi avaliada. As propriedades estudadas foram o comportamento tensão versus deformação, resistência à compressão, resistência à tração na flexão e por compressão diametral. Os resultados demonstram que a substituição de cimento por 20% de resíduo cerâmico (em massa) não influenciou significativamente nas resistências à compressão e tração e promoveu concretos com maior capacidade de deformação.

Palavras-chave: Resíduo da indústria cerâmica, aditivo mineral, concreto.

Abstract

This paper presents the results of a study on the use of ground calcined-clay brick residuals, produced by the ceramic industry, as a supplementary pozzolanic cementing material for use in concrete. The ceramic residue was characterized by physical, chemical and mineralogical tests. The feasibility of the substitution of the cement by the ceramic residue was evaluated by performing mechanical tests on the concrete samples. The properties investigated were stress-strain behavior, compressive strength, flexural strength and splitting tensile strength. The results pointed out that there is a potential for the use of ceramic residue as a supplementary cementing material in concrete production. Concretes containing ceramic residue (20% of cement replacement by weight) presented equal strength and lower elastic modulus than the control mixes.

Keywords: Ceramic residue, mineral admixture, concrete.

1. Introdução

A utilização de materiais suplementares na produção de materiais cimentícios pode reduzir a emissão de CO₂, o consumo de energia, contribuir para a redução do impacto ambiental relacionado com a sua destinação, bem como pode proporcionar ganhos nas propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos.

No Brasil, devido a sua grande disponibilidade, uma alternativa de material pozolânico suplementar é a argila ativada termicamente (argila calcinada). A utilização de argilas ativadas termicamente em argamassas e concretos tem recebido considerável atenção nos últimos anos devido aos benefícios técnicos, econômicos e ambientais que esses materiais podem promover [1, [2, [3]. Uma possibilidade de obtenção da argila calcinada é a partir de resíduos de indústrias que utilizam argila como matéria-prima, como ocorre na indústria cerâmica.

A indústria cerâmica gera uma argila calcinada normalmente da família das ilitas, que são usualmente utilizadas na produção de tijolos e telhas. Nesse processo, as argilas passam por um processo de queima e sinterização, podendo chegar a uma temperatura de aproximadamente 950°C. O índice de perdas do setor de cerâmica vermelha pode variar de 3% a 30% [4]. Esse índice é bastante discutido, pois depende do nível tecnológico de cada indústria em cada região, do tipo de matéria-prima utilizada, da qualidade e escolaridade da mão-de-obra, entre outros itens. Admitindo um índice de 10% e considerando a produção da indústria cerâmica vermelha brasileira em 2002 (cerca de 65 milhões de toneladas [5]), esse setor apresentaria uma geração de resíduo de cerca de 6,5 milhões de toneladas. O volume de resíduo gerado é significativo, ocasionando problemas de transporte, de estocagem, de manutenção dos depósitos e ambientais.

Os resíduos da indústria cerâmica constituem-se numa alternativa atrativa para serem utilizados como substitutos parciais do cimento portland na produção de argamassas e concretos, devido

a sua grande disponibilidade no Brasil e aos benefícios técnicos e ambientais que sua utilização pode promover. O uso de resíduos de tijolos cerâmicos como substituto parcial do cimento em argamassas e concretos tem sido objeto de recentes pesquisas [2, [6 e [7]. Entretanto muitos estudos ainda precisam de ser realizados visando à avaliação do comportamento mecânico de concretos contendo o resíduo da indústria cerâmica na matriz cimentícia. Dessa forma, esse trabalho visa a avaliar o comportamento tensão versus deformação, a resistência à compressão e a resistência à tração de concretos contendo 20% (em massa) de resíduo da indústria cerâmica em substituição parcial ao cimento Portland.

2. Programa experimental

2.1 Materiais

O cimento utilizado foi do tipo CP II F-32. As propriedades do cimento Portland utilizado são apresentadas na Tabela 1. A análise granulométrica do cimento foi realizada utilizando-se o equipamento Malvern MasterSizer Micro - MAF 5001. A curva granulométrica é mostrada na Figura 1 (a). Nota-se que o

resíduo na peneira 75µm é de 7.7%, inferior aos 12% exigidos pela NBR 11578 [8].

O resíduo cerâmico (RC) utilizado no presente estudo é proveniente de uma indústria cerâmica de produção de tijolos furados, localizada em Itaboraí/RJ. Os resíduos foram fornecidos em fragmentos inferiores a 6,3 mm. O RC foi moído em moinho vibratório até que ficasse com uma granulometria que atendesse aos requisitos da NBR 12653 [9] para uso como material pozolânico. A curva granulométrica do resíduo cerâmico é mostrada na Figura 1 (a). Observando-se os resultados nota-se que 62% dos grãos são menores que 45 µm, 40,5% dos grãos são menores que 10 µm, 12,3% dos grãos são menores que 1µm, mostrando que o RC apresenta finura adequada para ser usado como adição mineral no concreto.

Para a determinação da composição química, tanto do cimento Portland, quanto do RC foi empregada análise semi-quantitativa por espectrometria de fluorescência de raios X. A composição química do resíduo cerâmico está apresentada na Tabela 1. A composição química do resíduo cerâmico moído indica que o mesmo possui um teor de Al₂O₃+SiO₂+Fe₂O₃ de 97,11%, atenden-

Tabela 1 - Propriedades físicas e químicas do cimento CP II F 32 e do RC.

Propriedades físicas e químicas	CP II F 32	RC
SiO ₂ (%)	19.98	63.89
Fe ₂ O ₃ (%)	3.12	7.73
Al ₂ O ₃ (%)	3.70	25.49
CaO (%)	62.80	0.29
MgO (%)	3.10	0.04
Na ₂ O (%)	0.07	-
K ₂ O (%)	0.80	0.95
TiO ₂ (%)	-	-
Resíduo insolúvel (%)	1.50	-
Densidade (g/cm ³)	3.10	2.65
P.F. (%) – TG (%)	5.42	1.63

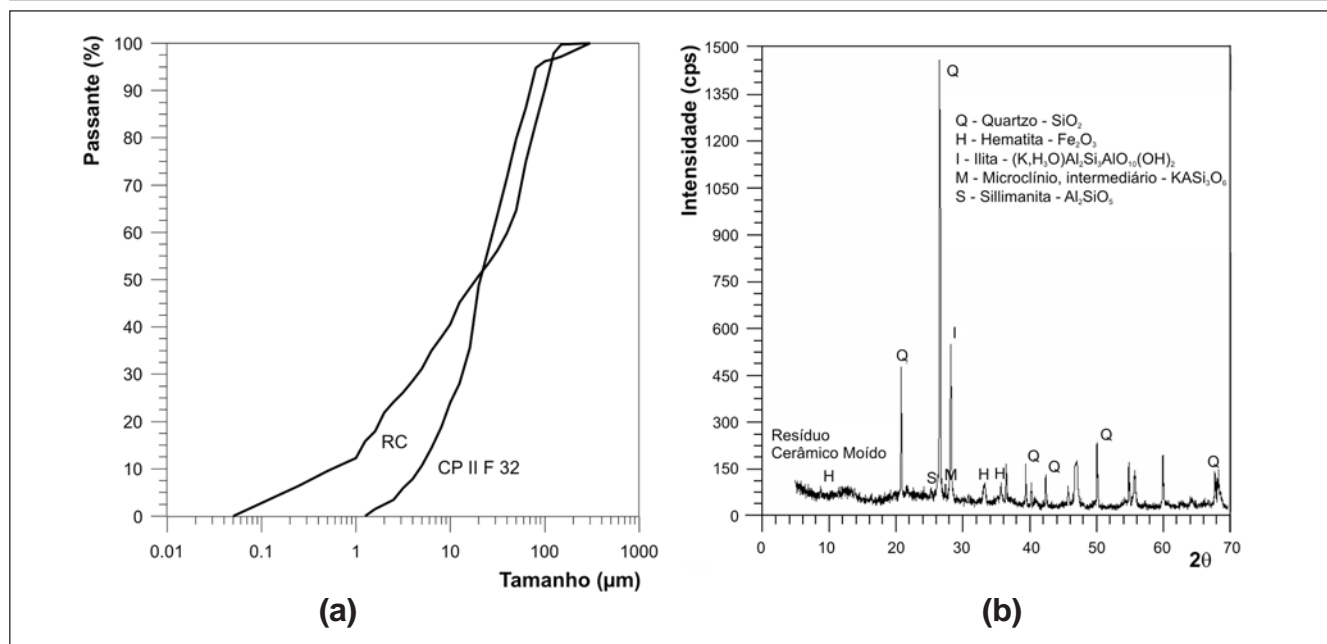


Figura 1 - (a) Curva granulométrica do cimento - CP II F 32 e do resíduo da indústria cerâmica (RC) e (b) Difratoograma de raios X do RC .

do aos limites da NBR 12653 [9] para o uso como material pozolânico. A difração de raios X foi empregada para caracterização de fases cristalinas presentes no RC. O difratograma de raios X da amostra de RC, obtido pelo método do pó, foi coletado em um equipamento Bruker-AXS D5005 equipado com espelho de Goebel para feixe paralelo de raios X, nas seguintes condições de operação: radiação Co K α (35 kV/40 mA), velocidade do goniômetro de 0,02o 2 θ por passo com tempo de contagem de 1,0 segundo por passo e coletado de 5 a 80° 2 θ . A interpretação qualitativa de espectro foi efetuada utilizando o software Bruker Diffrac^{Plus}. Para determinação semiquantitativa das fases cristalinas, utilizou-se o software Siroquant versão 2.0. O difratograma de raios X do RC está apresentado na Figura 1 (b). Utilizando-se o método de Rietveld, para a determinação das fases cristalinas, verificou-se a presença de 27,0% \pm 0,3% de quartzo, 5,3% \pm 0,2% de hematita, 1,5% \pm 0,3% de illita, 2,2% \pm 0,3% de microclínio e 2,3% \pm 0,3% de sillimanita e, por diferença, 61,6% \pm 0,7% de material não cristalino. O resíduo cerâmico apresentou uma área específica BET de 18987 m²/kg (determinado em equipamento Gemini 2375 V. 5,0 no Núcleo de Catálise - NUCAT -

do Programa de Engenharia Química do COPPE/UFRJ) e massa específica de 2,65 g/cm³ (conforme NBR 6474 [10]), enquanto seu índice de atividade pozolânica foi de 88%, atendendo às especificações de uma pozolana classe N da NBR 12653 [9].

O agregado miúdo natural utilizado foi uma areia de rio quartzosa, com módulo de finura 3,02 e massa específica de 2,64 g/cm³. A água utilizada para a produção das argamassas foi proveniente da concessionária de abastecimento da cidade do Rio de Janeiro/RJ. O superplastificante (SP) utilizado foi da Master Builders Technologies do Brasil, à base de naftaleno sulfonado, disponível comercialmente.

2.2 Métodos

Os concretos contendo o resíduo da indústria cerâmica foram avaliados em relação aos concretos contendo apenas cimento (concretos de referência). O teor de substituição de cimento por resíduo cerâmico foi de 20%, conforme estudo anterior desenvolvido em argamassas [7], pois foi o teor máximo de substituição em argamassas sem perda na resistência à compressão. A proporção e o consu-

mo dos materiais dos concretos são apresentados na Tabela 2. A trabalhabilidade dos concretos foi avaliada através do abatimento de tronco de cone [11]. O abatimento de 130 \pm 10mm foi fixado como o índice de trabalhabilidade para todos os concretos. Os concretos com relação água/cimento 0,50 e 0,38, tanto os de referência, quanto os produzidos com resíduo da indústria cerâmica, necessitam da utilização de superplastificante para atingir a trabalhabilidade fixada.

Os concretos foram produzidos em um misturador planetário de eixo vertical com capacidade de 180 litros. O tempo de mistura foi de cinco minutos após a colocação da água. Foram moldados, para cada mistura, 09 corpos-de-prova cilíndricos de 100mm de diâmetro e 200mm de altura e 5 corpos-de-prova prismáticos de 100x100x400 mm, conforme as recomendações da NBR 5738 [12]. O adensamento foi realizado em mesa vibratória. Os corpos-de-prova foram desmoldados após 24 horas e curados em câmara úmida (100% de umidade relativa) a uma temperatura de 23°C \pm 2°C até a idade do ensaio.

Para a verificação do efeito da substituição do cimento por resíduo da indústria cerâmica, no comportamento ten-

Tabela 2 - Programa experimental desenvolvido e consumo dos materiais por m³.

Misturas	Proporção dos materiais (em massa)					Consumos (kg/dm ³)					
	C	Pz	Areia	Brita	Água	C	Pz	Areia	Brita	Água	SP
REF01	1,0	0,0	2,0	2,53	0,62	380,5	0	761,0	962,6	235,9	-
REF02	1,0	0,0	1,65	2,09	0,50	451,4	0	744,9	943,5	225,7	0,9
REF03	1,0	0,0	1,41	1,78	0,38	529,0	0	745,9	941,6	201,0	2,1
CRC01	0,8	0,2	2,0	2,53	0,62	304,4	65,1	761,0	962,6	235,9	-
CRC02	0,8	0,2	1,65	2,09	0,50	356,2	111,7	734,7	930,6	222,6	0,9
CRC03	0,8	0,2	1,41	1,78	0,38	417,4	124,9	735,6	928,7	198,3	2,1

são *versus* deformação, foram ensaiados, aos 28 dias de idade, seis corpos-de-prova cilíndricos de 100mm de diâmetro e 200 mm de altura. A resistência à compressão axial foi avaliada de acordo com a NBR 5739 [13]. Os ensaios foram executados numa prensa SHIMADZU de 1000kN, com controle de deslocamentos, a uma velocidade de 0,01 mm/min (ver Figura 2 (a)). A partir da curva tensão versus deformação e de acordo com as recomendações da NBR 8522 [14], foi calculado o módulo de elasticidade secante das misturas avaliadas.

Para se determinar a resistência à tração por compressão diametral dos concretos, foram ensaiados, aos 28 dias de idade, doze discos de 100 mm de di-

âmetro e 25,5 mm de espessura (em média), através de uma adaptação do Suggested Methods for Determining Tensile Strength of Rock Materials [15] da International Society for Rock Mechanics - SEM (ver Figura 2 (b)). Para avaliação da resistência à tração na flexão dos concretos, foram ensaiados, aos 28 dias de idade, cinco corpos-de-prova prismáticos de 100x100x400mm. A resistência à tração na flexão foi avaliada de acordo com a NBR 12142 [16] (Ver Figura 2 (c)).

3. Resultados e discussão

Na Figura 3, estão apresentadas as

curvas tensão versus deformação típicas das misturas avaliadas. A resistência à compressão axial, o módulo de elasticidade, as resistências à tração por compressão diametral e a tração na flexão estão apresentados na Tabela 3.

3.1 Tensão versus deformação

Na Figura 4 (a), são mostradas as curvas tensão versus deformação normalizadas em relação à tensão de ruptura e deformação de pico dos concretos REF01 e CRC01, em (b) os concretos REF02 e CRC02 e em (c) os concretos REF03 e CRC03.

A substituição de cimento pelo resíduo cerâmico aumentou a deformabili-

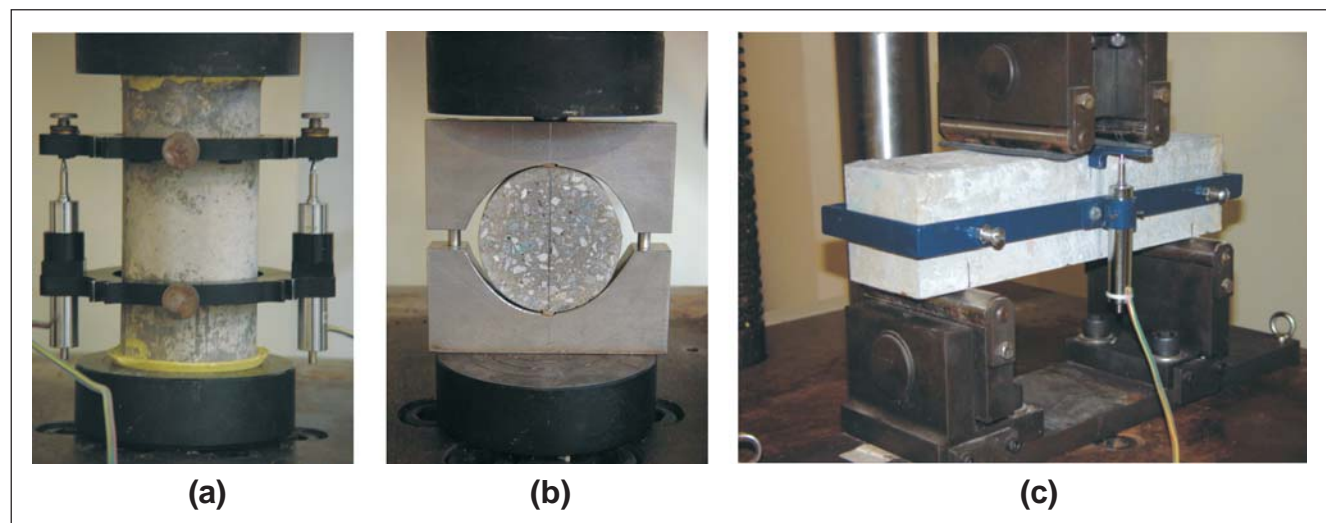


Figura 2 - Esquema de ensaios para avaliação das propriedades dos concretos: (a) resistência à compressão axial; (b) resistência à tração por compressão diametral em discos e (c) resistência à tração na flexão.

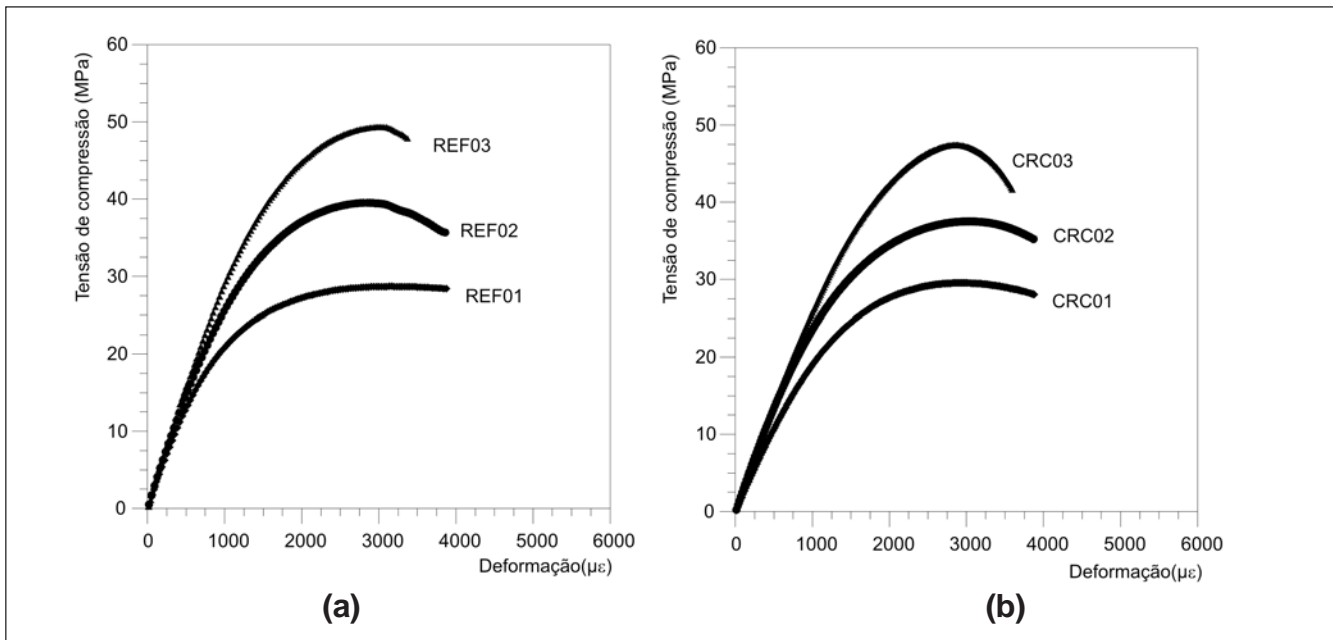


Figura 3 - Curvas tensão versus deformação típicas dos concretos: (a) concretos de referência - sem pozolana (b) concretos contendo resíduo cerâmico moído (RC).

dade dos concretos, ou seja, para o mesmo nível de tensão, os concretos contendo RC apresentam maior deformação. Por exemplo, para um nível de tensão de 70% da tensão de ruptura, o concreto REF01 apresentou 30% da deformação de pico, enquanto que o concreto CRC01 apresentou 38% da deformação de pico. Assim, independentemente do tipo de concreto, a utilização do RC promove um aumento na capacidade de deformação, em relação às misturas de referência. Esse fato ocorre, provavelmente, porque os sais hidratados decorrentes da reação pozolânica do hidróxido de cálcio e o RC devem possuir uma rigidez menor que a dos sais hidratados apenas do cimento.

3.2 Módulo de deformação

Pode-se verificar que a substituição de cimento por RC no concreto REF01 provocou uma redução no módulo de elasticidade de 12%. Para os concretos REF02 e REF03, as reduções foram de 8% e 11%, respectivamente. A redução do módulo de elasticidade de misturas contendo RC é atribuída à menor rigidez dos produtos hidratados decorrentes da reação pozolânica do hidró-

Tabela 3 - Resistência à compressão, módulo de elasticidade (E), resistência à tração por compressão diametral (f_{td}) e tração na flexão (f_{ff}) e coeficiente de variação (C.V.), aos 28 dias, dos concretos avaliados.

Mistura	f_c (MPa) - C.V. (%)	E (GPa) - C.V. (%)	f_{td} (MPa) - C.V. (%)	f_{ff} (MPa) - C.V. (%)
REF01	27,78 (2,66)	27,16 (3,29)	3,64 (3,29)	5,09 (9,93)
REF02	38,84 (2,52)	28,06 (3,89)	4,59 (4,76)	5,61 (6,84)
REF03	47,54 (2,30)	28,94 (1,84)	5,28 (4,75)	6,85 (3,87)
CRC01	27,82 (2,26)	23,92 (1,41)	3,69 (5,01)	4,89 (8,19)
CRC02	37,88 (2,44)	25,75 (1,83)	4,18 (7,86)	5,64 (4,16)
CRC03	47,56 (1,30)	25,84 (3,04)	4,99 (6,66)	6,80 (2,60)

xido de cálcio e o RC, gerando misturas com maior capacidade de deformação sob tensão. Também, pode-se associar a esse comportamento, a presença de partículas de RC não reagidas, que, devido à forma lamelar, apresentam maior capacidade de deformação.

3.3 Resistência à compressão

Os resultados indicam que, em geral, não há incremento da resistência dos concreto contendo RC, mostrando que não há contribuição pozolânica significativa na matriz, na idade 28 dias. Estudos desenvolvidos por Gonçalves [7] mostram que a substituição de 20% de cimento por resíduo cerâmico moído não promoveu variação no empacotamento da mistura granular seca, de forma que a interação entre a quantidade de hidratos formados e o efeito físico do RC não reagido não promoveu incremento na resistência à compressão.

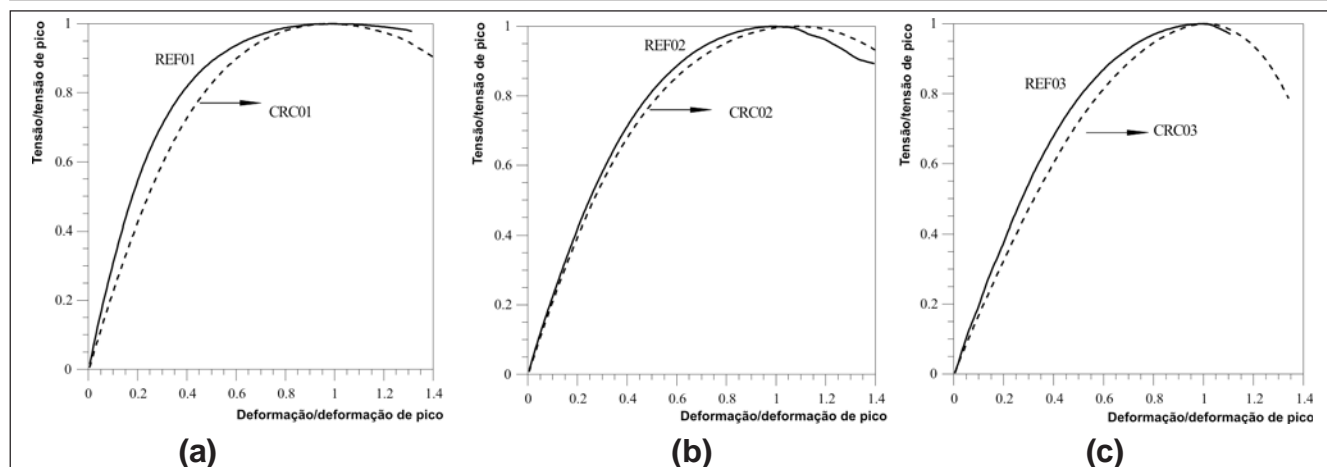


Figura 4 - Curvas tensão versus deformação normalizadas típica dos concretos: (a) com relação $a/c = 0,62$; (b) com relação $a/c = 0,50$ e (c) com relação $a/c = 0,38$.

3.4 Resistência à tração por compressão diametral e flexão

Pode-se verificar que a substituição de cimento por RC no concreto com relação $a/c = 0,62$ não provoca variação da resistência à tração por compressão diametral. Comportamento similar foi observado para o concreto com relação $a/c = 0,50$ e $a/c = 0,38$, onde a substituição de cimento por RC também não provocou variação na resistência à tração por compressão diametral. Acredita-se que os hidratos formados pela reação pozolânica do RC com o hidróxido de cálcio, associados ao efeito físico das partículas de RC não reagidas, foram responsáveis por manter a resistência à tração por compressão diametral desse concreto contendo resíduo cerâmico moído.

4. Conclusões

- A substituição de 20% de cimento por RC promoveu uma redução do módulo de elasticidade dos concretos.
- A presença do RC não influenciou significativamente na resistência à compressão, na resistência à tração por compressão diametral e na resistência à tração na flexão dos concretos aos 28 dias, independentemente da relação a/c .
- Os resultados indicam que o concreto apresenta-se como uma alternativa para incorporar os resíduos da indústria cerâmica com benefícios ambientais.

5. Agradecimentos

O autor agradece ao CNPq pelo auxílio financeiro concedido para realização do trabalho.

6. Referências bibliográficas

[1] COOK, D.J. *Natural pozzolanas and calcined clay, shale and other soils*, Capítulo 1 e 2 In: Cement Replacement Materials, v. 3, In:

- SWAMY, R. N. (ED.) Londres: Blackie and Son Ltda, 1986.
- [2] O'FARRELL, M., WILD, S., SABIR, B., B. Resistance to chemical attack of ground brick-PC mortar. Part I. Synthetic seawater. *Cement and Concrete Research.*, v. 30. p. 757-765. 2000.
- [3] SABIR, B. B., WILD, S., BAI, J. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. *Cement and Concrete Composites*, v.23, p.441-454. 2001.
- [4] DIAS, J. F. *Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo*. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2004. (Tese de doutorado).
- [5] DUAİLÍBÍ FILHO, J., CARVALHO, O. O. Os números da vermelha. *Mundo Cerâmico*, p. 34-38. Jun/Jul -2002.
- [6] O'FARRELL, M., WILD, S., SABIR, B., B. Resistance to chemical attack of ground brick-PC mortar. Part I. Sodium sulphate solution. *Cement and Concrete Research.*, v. 29. p. 1781-1790, 1999.
- [7] GONÇALVES, J. P. *Desenvolvimento e caracterização de concretos de baixo impacto ambiental contendo argila calcinada e areia artificial*. Rio de Janeiro: Programa de Engenharia Civil -COPPE/UFRJ, 2005, 273 f. (Tese de Doutorado em Engenharia Civil).
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 11578 - Cimento Portland Composto - Especificação*. RIO DE JANEIRO. 1991.
- [9] _____. *NBR 12653 - Materias Pozolânicos - Especificação*. Rio de Janeiro. 1992.
- [10] _____. *NBR 6474 - Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 1984.
- [11] _____. *NBR 7223 - Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1992.
- [12] _____. *NBR 5738 - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto*. Rio de Janeiro, 1994.
- [13] _____. *NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos-de-prova de concreto cilíndricos*. Rio de Janeiro, 1994.
- [14] _____. *NBR 8522 - Concreto - Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão-deformação Ensaio de compressão de corpos-de-prova de concreto cilíndricos*. Rio de Janeiro, 1985.
- [15] Suggested Methods for Determining Tensile Strength of Rock Materials of the International Society for Rock Mechanics - SRM, 1977.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12142 - Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos*. Rio de Janeiro, 1991.

Artigo recebido em 29/09/2006 e aprovado em 22/03/2007.