

UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS ALTERNATIVOS DE ISOLADORES ELÉTRICOS DE PORCELANA EM CONCRETOS

Marco Antonio Campos¹ y Vladimir Antonio Paulon¹

RESUMEN

La investigación sobre el uso de materiales alternativos como sustituto a los hogares ordinarios, principalmente en hormigón y mortero, es reciente y la práctica recurrente en las últimas décadas en Brasil. Los residuos de cerámica debido a sus similitudes, física y química, con agregados ordinarios junto con el control del tamaño de partícula son adecuados para uso en hormigón. Se estima que los aisladores de porcelana eléctrica pasivos brasileños anual es de 25,000 toneladas, lo que a menudo se descartan degradar el medio ambiente. El método de uso de esta y posteriores de molienda sustitución de los agregados de porcelana, fino y grueso en hormigón fueron investigados mediante la sustitución del contenido combinado de 25 %, 50 %, 75 % y 100 de ambos grupos. Los resultados de las pruebas mecánicas combinadas con el análisis microscópico de carpeta ITZ por Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) se muestran a ser posible usar esta opción para sustituir los agregados cerámicos comunes que dan el hormigón cuando se utiliza una mayor resistencia y la durabilidad mecánica consiguiente, contribuyendo, incluso en pequeñas maneras de disminuir la extracción de áridos comunes en la naturaleza y que una posible y viable opción para las industrias productoras de cerámica aisladores de porcelana eléctrica.

Palabras clave: aislador de porcelana, concreto, materiales alternativos, porcelana, agregados.

ABSTRACT

Con formato: Inglés (americano). Research regarding the use of alternative materials as a substitute to ordinary households, mainly in concrete and mortar, is recent and recurring practice in recent decades in Brazil. The ceramic waste because of their similarities, physics and chemistry, with ordinary aggregates coupled with control of particle size are suitable for use in concrete. It is estimated that the annual Brazilian passive electrical porcelain insulators is 25,000 tons, which are often discarded degrading the environment. The method of use of this and subsequent grinding replacing porcelain aggregates, fine and coarse in concrete were investigated by replacing the combined content of 25 %, 50 %, 75 % and 100 of both clusters. The results of mechanical tests combined with microscopic analysis of ITZ folder by Scanning Electron Microscopy (SEM) was shown to be possible to use this to replace the common ceramic aggregates giving the concrete when they used higher resistance and consequent mechanical durability, contributing, even in small ways to decrease the extraction of aggregates common in nature and being a possible and viable option for ceramic industries producing electrical porcelain insulators.

Keywords: porcelain insulator, concrete, alternative materials, porcelain aggregates.

RESUMO

Pesquisas referentes à utilização de materiais alternativos como substitutos de agregados convencionais, principalmente em concretos e argamassas, é prática recorrente nas últimas décadas no Brasil. Os resíduos cerâmicos, devido a suas similaridades, física e química, com os agregados comumente utilizados, após controle da distribuição granulométrica são passíveis de utilização nos concretos. Estima-se que o passivo anual brasileiro de isoladores elétricos de porcelana

⁽¹⁾ Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC, Departamento de Recursos Hídricos – DRH. Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Distrito Barão Geraldo - Caixa Postal 6021 - Cep: 13.083-852, Campinas, São Paulo, Brasil. Tel: 55 (19) 3521-2304.

E-mail: engenheiomarcoantonio@hotmail.com; vpaulon@yahoo.com.br

Artículo recibido el 5 de agosto del 2014 y aprobado el 26 de mayo del 2015.

seja de 25,000 toneladas, que muitas vezes são descartados sem controle adequado, degradando o meio ambiente. A metodologia de moagem e posterior utilização desta porcelana substituindo os agregados, miúdo e gráudo, em concretos foi pesquisada, por meio da substituição combinada nos teores de 25 %, 50 %, 75 e 100 % de ambos os agregados. Os resultados dos ensaios mecânicos e análise microscópica, da zona de transição agregado-pasta, por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) mostraram ser possível a utilização desta cerâmica, em substituição aos agregados comuns, conferindo aos concretos, maiores valores de resistência mecânica e consequente durabilidade, contribuindo, para a diminuição da extração dos agregados naturais e constitui uma opção possível e viável para as indústrias cerâmicas produtoras dos isoladores elétricos de porcelana para a prática da sustentabilidade.

Palavras chave: isolador de porcelana, concreto, agregados alternativos, sustentabilidade, porcelana, agregados.

1. INTRODUÇÃO

A busca por materiais alternativos e sua utilização na construção civil vem nos últimos anos se intensificando com exemplos como reaproveitamento de borracha de pneu, cinza da casca de arroz, entulhos, entre tantos outros. Os isoladores elétricos de porcelana, por possuírem similaridade nas suas características químicas, quando comparados aos agregados comuns, são passíveis de serem utilizados, sobretudo em substituição aos agregados e até como adição pozolânica ao cimento Portland.

Uma simples moagem destes isoladores já permite sua utilização, visto que o controle da distribuição granulométrica é realizado durante o próprio processo de moagem com o peneiramento da cerâmica moída. O passivo anual brasileiro desse tipo de cerâmica é estimado em 25,000 t, que vem se acumulando com o passar dos anos, sem que todo este material seja utilizado. Lembra-se que apenas 3 % desse passivo é utilizado pelas indústrias cerâmicas no seu processo fabril em substituição a argila.

Portanto, esta pesquisa se baseia no estudo da substituição em concretos dos agregados, miúdo e gráudo, comuns, areia e brita, por isoladores elétricos de porcelana moídos, por meio da comparação de traços de concreto com diferentes teores de porcelana a um traço referência nas propriedades de: trabalhabilidade; consistência; resistência à compressão simples; resistência à tração na compressão diametral; módulo estático de deformação; absorção de água por capilaridade e; resistência à carbonatação, em diferentes idades. Comprova-se também, por meio de imagens por MEV, que esta porcelana não influencia a microestrutura dos produtos de hidratação da pasta de cimento na zona de transição agregado-pasta.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram: cimento Portland de alta resistência inicial (CP VARI); agregado miúdo comum (areia); agregado miúdo alternativo, (isoladores elétricos de porcelana moídos em granulometria similar à areia); agregado gráudo comum, (brita); agregado gráudo alternativo, (isoladores elétricos de porcelana moídos em granulometria similar à brita); e aditivo superplastificante.

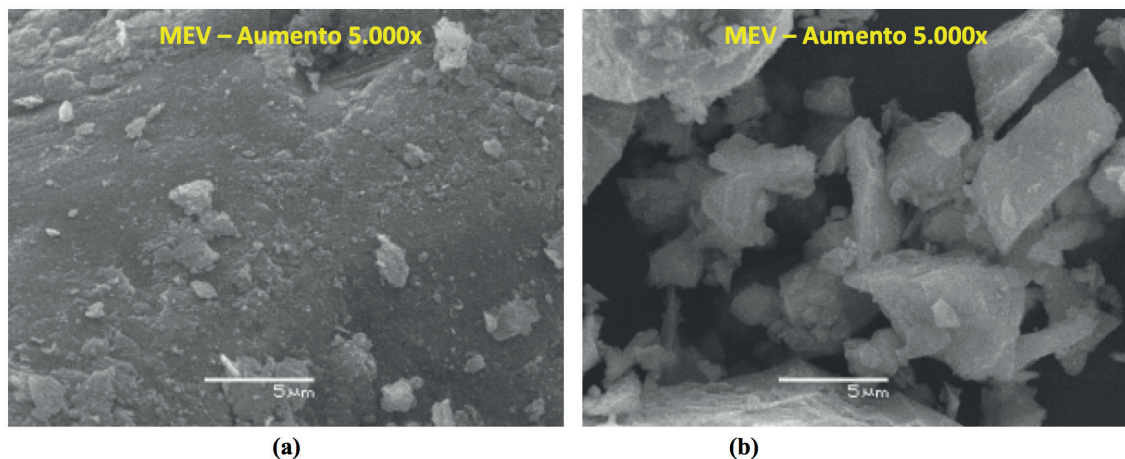


Fig. 1: Imagens MEV: Agregado comum (a) e porcelana miúda (b).

3. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDO E GRAÚDO

Os agregados miúdos utilizados nesta pesquisa foram o agregado comum, areia, e alternativo, porcelana miúda, ilustrados nas figuras 1a e 1b, onde se observa que a areia possui uma superfície mais polida que o agregado de porcelana, em decorrência do processo de moagem desta última durante seu processo de preparação no moinho do tipo martelo.

Por ser um agregado alternativo a porcelana miúda foi caracterizada como parte dos ensaios recomendados na NBR 15116 (2004), embora o objetivo deste trabalho seja a elaboração de concretos estruturais. Para efeito de comparação da real utilização da porcelana o agregado comum também foi caracterizado segundo os mesmos ensaios. A figura 2 mostra a distribuição granulométrica dos agregados miúdos de acordo com a NBR NM 248 (2003), conforme previsto na NBR 7211 (2009). A Tabela 1 resume os resultados da análise petrográfica, de acordo com a NBR 7389-1, bem como apresenta os resultados dos ensaios físicos desses agregados.

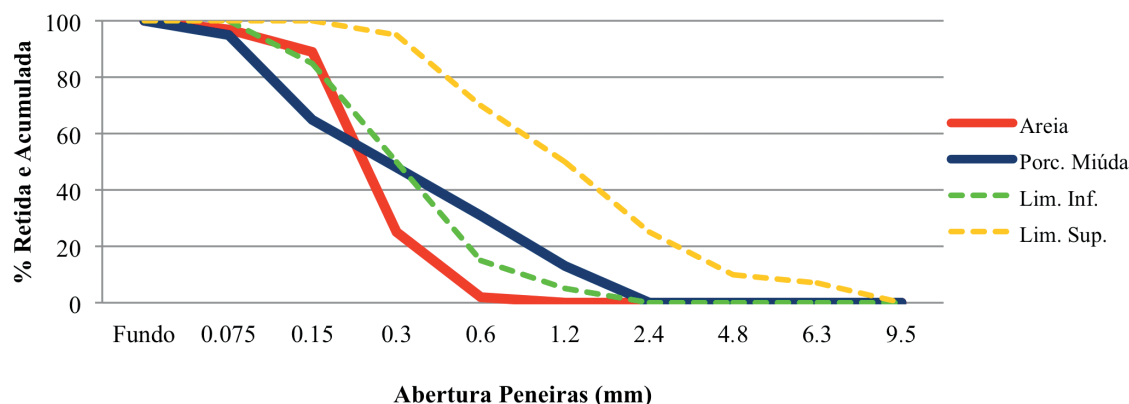


Fig. 2: Distribuição granulométrica agregados miúdos.

Nos ensaios de espectrometria e energia dispersiva de raios X (EDS) destaca-se a similaridade da composição química do agregado comum com a porcelana, com destaque para a presença de Si (silício) e Al (alumínio), que mineralogicamente supõe estar sob a forma de mullita na porcelana e principalmente de quartzo na areia.



Fig. 3: Agregado graúdo comum brita (a) e MEV brita (b).

A figura 3 mostra que o agregado graúdo comum, brita, possui uma superfície rugosa, o mesmo ocorrendo, conforme exibido na figura 4 e figura 5a, com o agregado alternativo, porcelana graúda, resultante do processo de moagem de resíduos de isoladores elétricos de porcelana por moinho do tipo martelo que possui uma superfície rugosa. Entretanto, quando observado pela camada de esmalte externa, verifica-se que a superfície é polida, figura 5b. Destaca-se que esta superfície com esmalte representou, com o quarteamento da amostra, máximo de 20 % em relação ao total de agregado alternativo gerado após sua moagem.

Tabela 1: Análise petrográfica agregados miúdos.

Ensaios	Agregado Comum (Areia)	Agregado Alternativo (Porcelana)
Origem	Analândia-SP	Cerâmica Santa Terezinha
Composição Mineralógica	Inócuos: quartzo, minerais máficos	Isoladores elétricos de porcelana: argila, feldspato e quartzo.
	Friáveis: fragmentos de rocha alterada	
Grau de Esfericidade	Alta	Alta
Grau de Arredondamento	Subarredondado	Subanguloso
Superfície do Grão	Fosco	Fosco
Módulo de Finura	1.16	1.57
Dimensão Máxima (mm) – NBR 7211 (2009)	0.6	1.2
Índice de Atividade Pozolânica (%) – NBR 5752 (1992)	1.0	0.75
Massa Específica (g/cm³) – NBR NM 52 (2009)	2.63	2.43
Massa Unitária (g/cm³) - NBR NM 45 (2006)	1.48	1.41
Absorção de Água (%) - NBR NM 30 (2001)	0.19	0.05
Torrões de Argila e Materiais Friáveis (%) - NBR 7218 (2010)	0	0
Teor de Material Passante na Peneira 75 µm (%) - NBR NM 46 (2003)	2.85	4.75
Observações Adicionais	Areia natural de formação tipicamente eólica com grãos arredondados e superfície predominantemente polida.	Isoladores de porcelana britados em granulometria similar ao agregado miúdo comum.
Potencialidade de Utilização do Agregado Miúdo	Embora esteja fora da zona utilizável este material pode ser usado, sem restrições, como agregado em concretos.	Embora esteja fora da zona utilizável este material pode ser usado, sem restrições, substituindo o agregado comum.

Os resultados da caracterização petrográfica e física dos agregados são apresentados na Tabela 2, bem como a figura 6 mostra a sua distribuição granulométrica. A figura 6 mostra ainda que a distribuição granulométrica de ambos os agregados encontra-se abaixo das faixas granulométricas propostas na NBR 7211 (2009), com destaque para a similaridade entre os teores de materiais finos, inferiores a 2.36 mm.

4. ELABORAÇÃO DOS CONCRETOS E ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS, MEV E CARBONATAÇÃO

O proporcionamento dos materiais foi calculado segundo o Método IPT-Modificado (HELENE, 2005) e assim determinado 1:2:3:0.40:0.0064 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: água: aditivo superplastificante), com consumo de cimento da ordem de 375 kg/m³ de concreto. As quantidades de materiais necessárias para a moldagem de 1.0 m³ de concreto de todos os traços realizados nesta pesquisa são apresentadas na Tabela 3.

A relação água / aditivo superplastificante foi fixada em 1.6 %, visto que nas moldagens preliminares esta foi a relação que permitiu tanto ao traço referência quanto aos traços com maiores teores de substituição dos agregados manter um abatimento entre 6.0 ± 2.0 cm, que é um abatimento comum em concretos não bombeáveis e usuais em obras.

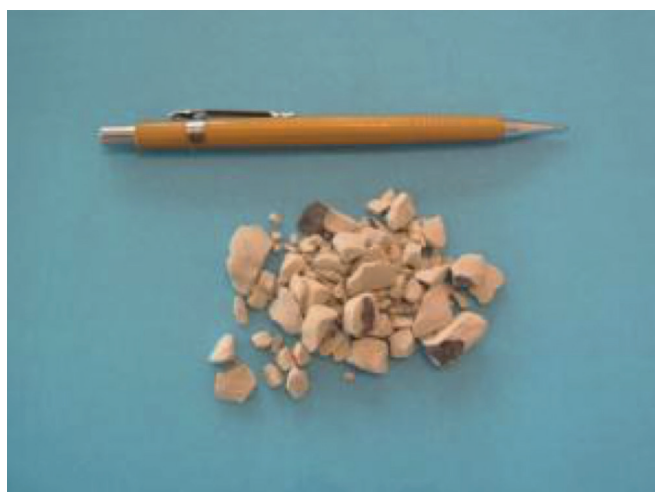


Fig. 4: Agregado gráúdo alternativo, porcelana gráúda.

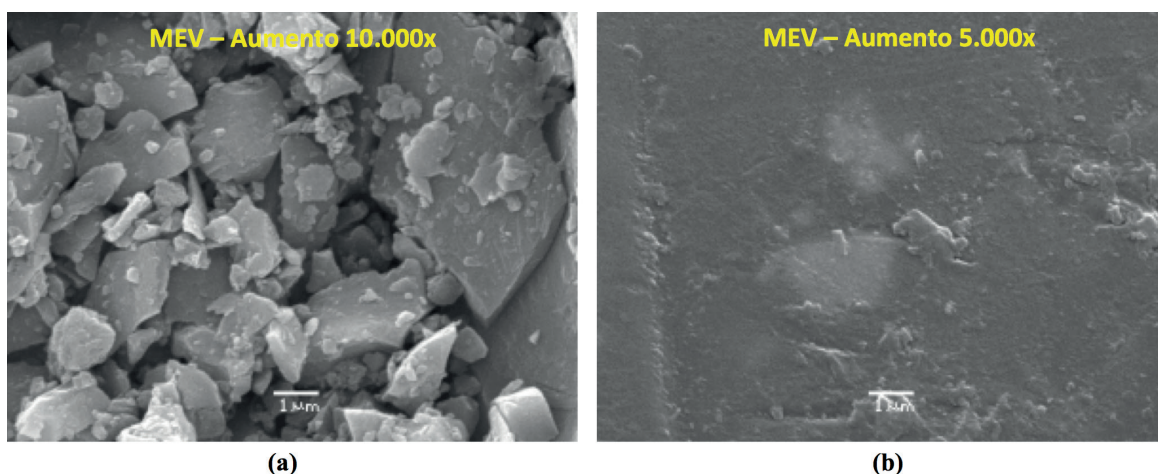


Fig. 5: MEV porcelana gráúda sem esmalte (a) e MEV porcelana gráúda com esmalte (b).

No estado fresco os traços de concreto foram submetidos ao ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone, *slump test*, conforme a NBR NM 67 (1998). Já os ensaios no estado endurecido foram realizados em conformidade com as normas brasileiras em vigor. Na Tabela 4 está apresentado o plano de ensaios a que foram submetidos os distintos traços de concreto.

Todos os traços de concreto foram preparados em betoneira com o processo de adensamento mecânico em duas camadas, por meio de mesa vibratória, com sua superfície rasada. Após a moldagem, os corpos-de-prova foram armazenados por 24 horas em local protegido de intempéries, sendo devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar a perda de água do concreto.

Terminado o período inicial de cura, os corpos-de-prova foram curados em câmara úmida a temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar superior a 95 % até 24 horas antes da realização dos ensaios mecânicos. Todo o processo de moldagem e cura dos corpos-de-prova de concreto foi realizado em atendimento a NBR 5738 (2003).

Nos ensaios de imagens (MEV) e de carbonatação os corpos-de-prova de concreto foram moldados especificamente para estes ensaios, não reutilizando corpos-de-prova provenientes dos outros ensaios citados na Tabela 4. Para os ensaios de MEV o topo dos corpos-de-prova foram cortados e em seguida extraída uma fatia de espessura variável de 0.5 a 1.0 cm. Essas amostras foram devidamente identificadas e enviadas ao Laboratório de Microscopia Eletrônica da Central Analítica do Instituto de Química da Unicamp e posteriormente ensaiadas no equipamento JSM 6360-LV.

Tabela 2: Caracterização agregados graúdos.

Ensaio	Agregado Comum (brita)	Agregado Alternativo (Porcelana)
Origem	Paulínia-SP	Cerâmica Santa Terezinha
Tipo	Pedra britada	Isoladores de porcelana britados
Cor	Negra	Beje
Estrutura	Compacta	Compacta
Textura	Rugosa	Rugosa
Formato dos Grãos	Achatados e alongados	Isométricos
Grau de Alteração	Rocha sã	Isoladores de porcelana
Composição mineralógica	Feldspato, piroxênio e minerais máficos.	Isoladores elétricos de porcelana: argila, feldspato e quartzo.
Classificação petrográfica	Rocha Basáltica	Isoladores de porcelana
Propriedades Físico-mecânicas	Rocha muito coerente	Muito coerente
Índice de Forma	Lamelar: 5% Cúbica: 90% Alongada: 5%	Lamelar: 35% Cúbica: 30% Alongada: 35%
Módulo de Finura	5.51	5.37
Dimensão Máxima (mm)	9.5	9.5
Massa Específica Seca (g/cm³)	2.82	2.44
Massa Específica Unitária(g/cm³)	2.89	2.45
Absorção de Água (%) - NBR NM 53 (2009)	0.65	0.08
Torrões de Argila e Materiais Friáveis (%) - NBR 7218 (2010)	0	0
Teor de Material Passante na Peneira 75 µm (%) - NBR NM 46 (2003)	0.74	0.56
Observações Adicionais	Não há	Não há
Potencialidade de Utilização do Agregado Graúdo	Embora esteja fora da zona utilizável este material pode ser usado, sem restrições, como agregado para o concreto.	Embora esteja fora da zona utilizável este material pode ser usado, sem restrições, substituindo o agregado comum no concreto.

Aceleração de 30KeV, resolução - 3nm, EDS - Noran System Six. Quanto ao ensaio de carbonatação, os concretos de umidade zero após rompidos diametralmente, foram aspergidos por solução alcóolica de 0.5 % de fenolftaleína.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No estado fresco os traços de concreto foram ensaiados quanto ao seu abatimento, Slump test, de acordo com a NBR NM 67 (1998). Como foi adicionado aditivo superplastificante aos traços de concreto com o intuito de reduzir a relação água/cimento e obter um abatimento similar aos concretos convencionais de obra, não bombeável, 6.0 ± 2.0 cm, o traço de concreto referência apresentou um abatimento de 7.0 cm, já para os demais traços, independente do teor de porcelana, o abatimento foi de 8.0 cm, ficando todos os traços dentro do limite estabelecido. O teor de porcelana não influenciou no abatimento, estando em concordância com o relatado por Franck *et al*, (2004).

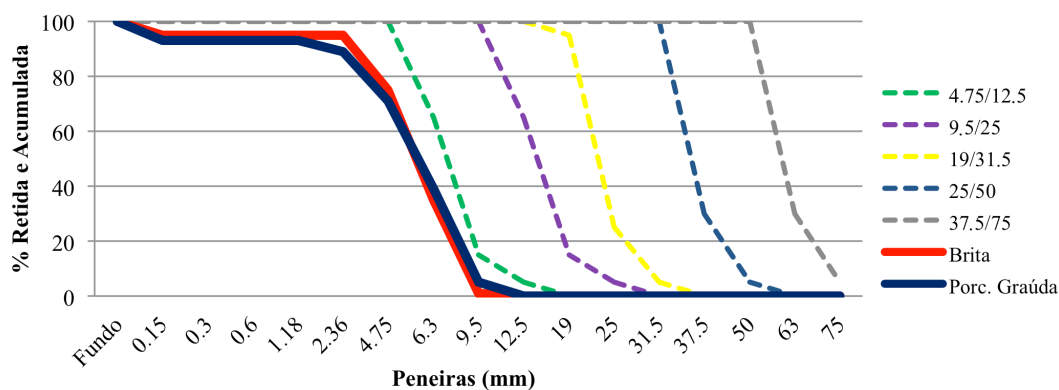
Tabela 3: Quantidade de materiais traços de concreto com porcelana.

Quantidade de Materiais (kg/m ³ de concreto) - Traço 1:2:3:0.40:0.0064									
Traço	Cimento	Agregado Miúdo		Agregado Graúdo		Água	Aditivo	Teor de Substituição (%)	
		Comum	Porcelana	Comum	Porcelana			Ag. Miúdo	Ag. Graúdo
Ref. C	375.0	750.0	-	1.125.0	-	150.0	2.4	Referência	Referência
C 25. 25	375.0	562.5	187.5	843.8	281.2	150.0	2.4	25	25
C 50. 50	375.0	375.0	375.0	562.5	562.5	150.0	2.4	50	50
C 75. 75	375.0	187.5	562.5	281.2	843.8	150.0	2.4	75	75
C 100. 100	375.0	-	750.0	-	1.125.0	150.0	2.4	100	100

Tabela 4: Ensaios realizados traços concreto com porcelana.

Ensaios	Agregado Miúdo						
	3	7	28	56	112	180	365
Resistência à compressão simples - NBR 5739 (2007)							
Resistência à compressão diametral - NBR 7222 (2010)							
Imagens MEV							
Carbonatação							

* Apenas para os traços Ref. C e C 100.100

**Fig. 6: Distribuição granulométrica agregados graúdos.**

6. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Os valores médios calculados da resistência à compressão simples dos traços de concreto com substituição combinada dos agregados miúdo e graúdo por isoladores elétricos de porcelana com distribuição granulométrica similar aos agregados comuns são apresentados na figura 7. Observa-se que na idade inicial de ensaio, 3 dias, as resistências obtidas pelos traços de concretos com porcelana foram inferiores quando comparadas as do traço de referência (Ref. C), em valores de até 20 % medidos no concreto C 50.50.

A partir dos 7 dias de idade, observa-se aumento da resistência à compressão simples em relação ao traço Ref. C. Quanto maior o teor de porcelana, maiores foram as resistências obtidas. Assim, aos 7 dias de idade, o aumento de resistência foi de até 14 %, de 18 % aos 28 dias e aos 56 dias aumento de 20 %, obtidos, todos estes pelo concreto C 100.100, quando comparado ao traço referência.

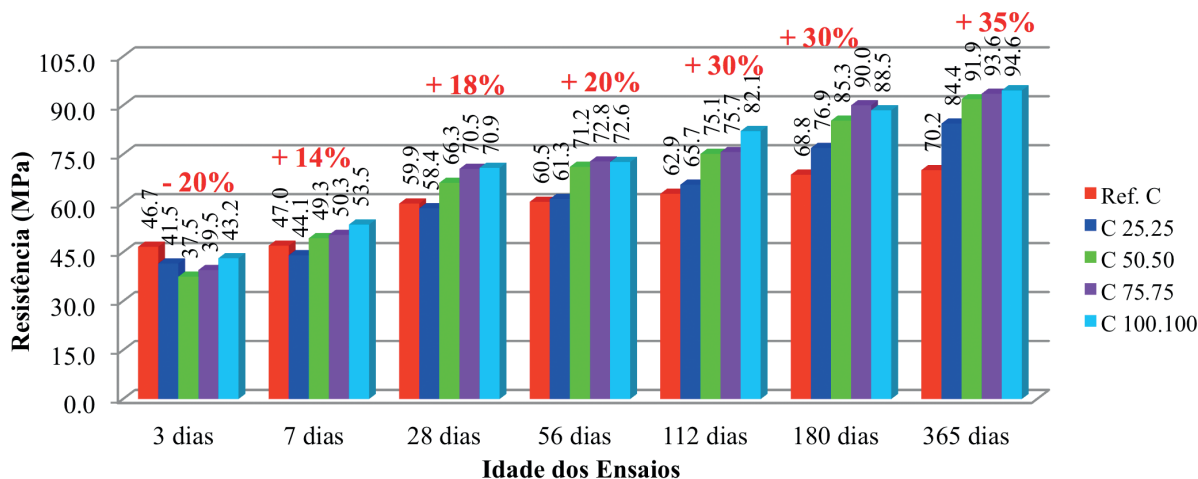


Fig. 7: Resistência à compressão simples.

Para as idades de 112 e 180 dias, os aumentos de resistência foram de cerca de 30 %, atingindo a 365 dias de idade, aumento superior em 35 %, quando comparado o concreto C 100.100 ao traço de referência.

A melhora da resistência à compressão simples para os traços de concreto contendo isoladores elétricos de porcelana substituindo os agregados comuns, miúdo e graúdo, é atribuída a melhor distribuição granulométrica destes agregados alternativos que conferem ao concreto melhor adensamento, ausência de material orgânico e baixa capacidade de absorção de água. Com isso há mais água para o processamento dos produtos de hidratação do cimento e também para a atividade pozolânica da porcelana.

Comparando os resultados obtidos com os relatados por Franck *et al.*, (2004), que propõem um teor de substituição dos agregados por porcelana de 20 a 50 %, verifica-se nesta pesquisa uma tendência distinta, pois quanto maior foi o teor de porcelana, melhor foi o comportamento nos ensaios de resistência à compressão simples.

Esta melhoria de resistência não foi observada nos experimentos relatados de Senthamarai; Devadas Manoharan (2005) e de Campos (2009) devido principalmente a dimensão característica máxima do agregado graúdo de porcelana, de 19 mm. Já Santolaia *et al.*, (2007) e Lintz *et al.*, (2008) propõem um teor de 10 % da porcelana substituindo o agregado graúdo, teores superiores a 10 % resultaram em diminuição da resistência, também atribuída à dimensão característica máxima, entre 19 e 6.3 mm, do agregado de porcelana.

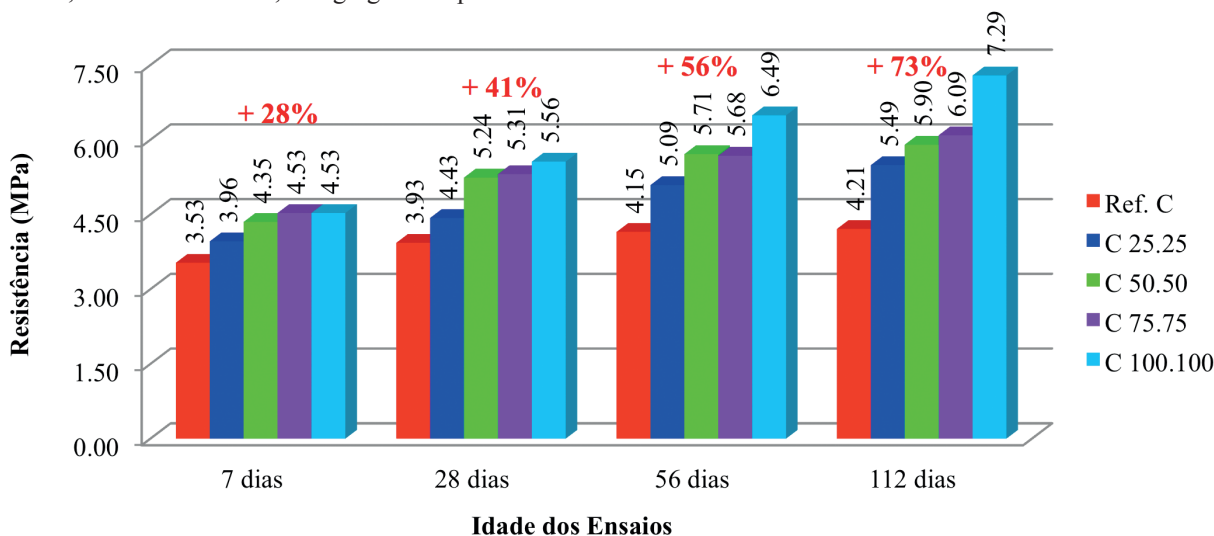


Fig. 8: Resistência à tração por compressão diametral.

7. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Na figura 8 são apresentados os valores médios do ensaio de resistência à tração por compressão diametral e observa-se já a partir dos 7 dias de idade melhora nesta resistência para os traços de concreto com porcelana substituindo os agregados miúdo e graúdo comuns. De fato, a resistência vai se elevando com o aumento da idade de ensaio e o teor de porcelana utilizado. Aos 7 dias de idade, o aumento de resistência foi de até 28 %, observados nos concretos C 75.75 e C 100.100.

Nas demais idades, o concreto C 100.100 também foi aquele que apresentou os maiores valores medidos. Para a idade de 28 dias, a elevação na resistência foi de até 41 %; aos 56 dias de idade o aumento foi de 56 %, atingindo aos 112 dias de idade, aumento na resistência de 73 %, quando comprado ao traço de referência.

A elevação na resistência à compressão diametral para os traços com porcelana quando comparados ao traço referência é atribuída ao melhor comportamento da porcelana frente a este tipo de solicitação, em comparação aos agregados comuns, areia e brita, independente do teor de substituição. A substituição combinada dos agregados de porcelana, miúdo e graúdo, conferiu maior resistência, devido a sua controlada distribuição.

8. ENSAIOS DE IMAGENS POR MEV

Com relação aos concretos com agregado de porcelana graúdo o modelo da zona de transição entre o agregado e a matriz da pasta de cimento exemplificada em Mehta; Monteiro, 2008 (p. 43, fig. 2-14b) foi observado nos traços C 75.75, figura 9 (a) e C 100.100, Figura 9b, aos 7 dias de idade, destacando a presença de etringita (E), CSH e hidróxido de cálcio (CH).

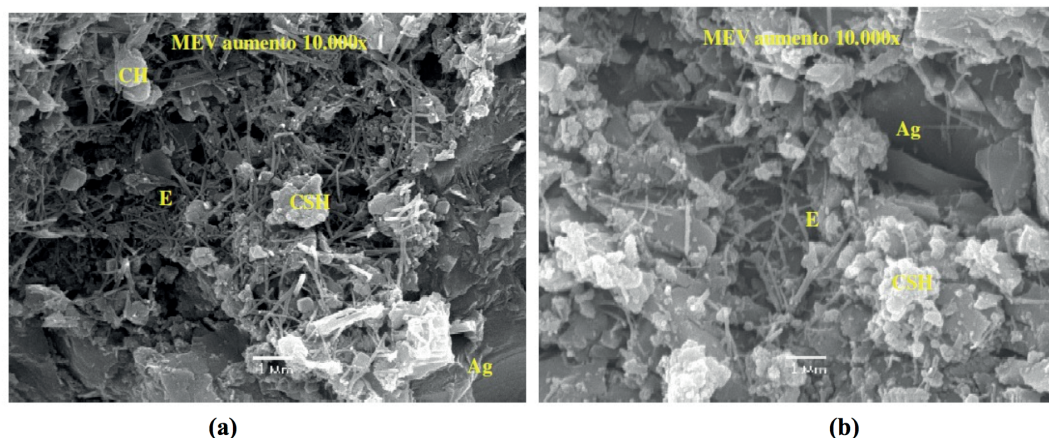


Fig. 9: Zona de transição, aos 7 dias de idade, concretos C 75.75 (a) e C 100.100 (b).

Analisando-se a matriz da pasta de cimento, observa-se a formação característica de CSH, conforme a figura 10a, concreto C 25.25 aos 28 dias de idade, e figura 10b, traço C 75.75 com idade de 112 dias. A matriz da pasta de cimento é caracterizada pela presença em maior quantidade de CSH, ao contrário da zona de transição, onde se tem também etringita e hidróxido de cálcio. No agregado graúdo de porcelana, devido ao fato de sua característica de superfície rugosa, o CSH se desenvolveu na zona de transição agregado-pasta e também sobre a superfície polida (esmaltada) da porcelana.

Os vazios capilares (VC) ficaram evidentes nos agregados (Ag) de porcelana na zona de transição com a pasta (Pa), figura 11a para o traço C 25,25 aos 28 dias de idade. Com o aumento da idade do concreto os vazios capilares tendem a ser preenchidos com os produtos da hidratação do cimento, com sua visualização apenas em razão de haver diferença entre a textura do agregado e da pasta, conforme a figura 11b, traço C 75.75 após 112 dias de idade.

O hidróxido de cálcio (CH) foi observado em maiores quantidades no concreto C

100.100, figura 12 (a) aos 56 dias de idade, formando-se na zona de zona de transição agregado- pasta. Com o decorrer da cura do concreto, os hidróxidos passaram a se formar sobre o agregado de porcelana conforme o observado no traço C 75.75 também na idade de 56 dias, figura 12b.

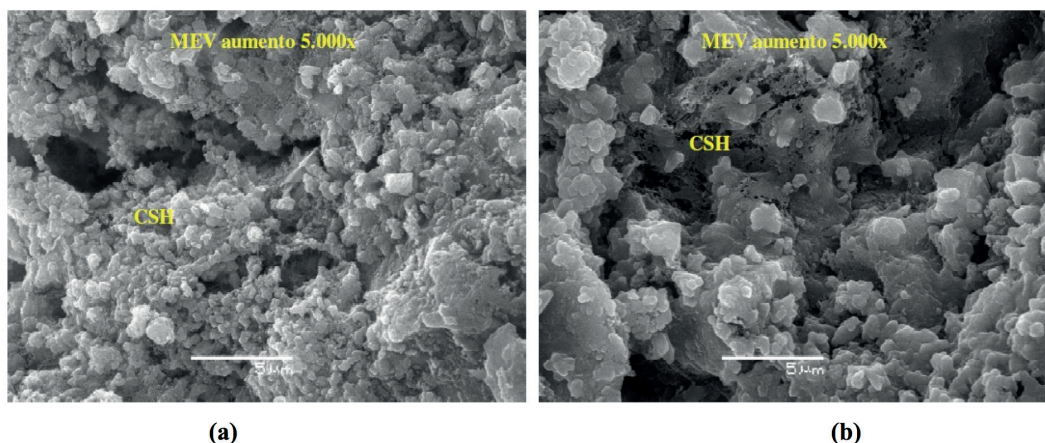


Fig. 10: Formação CSH matriz da pasta de cimento concreto C 25.25 (a), 7 dias, e C 75.75 (b), 112 dias.

9. ENSAIOS DE CARBONATAÇÃO

Não foi efetuado ensaio de carbonatação acelerada, sendo os corpos de prova submetidos às condições de carbonatação no ambiente do laboratório. Nessas circunstâncias não foi observada nenhuma evidência de fenômeno de carbonatação aos 28 dias de idade em nenhum dos traços de concreto contendo agregados de porcelana substituindo os agregados comuns, areia e brita, conforme observa-se na figura 13a o concreto C 25.25, e na figura 13b o traço C 100.100.

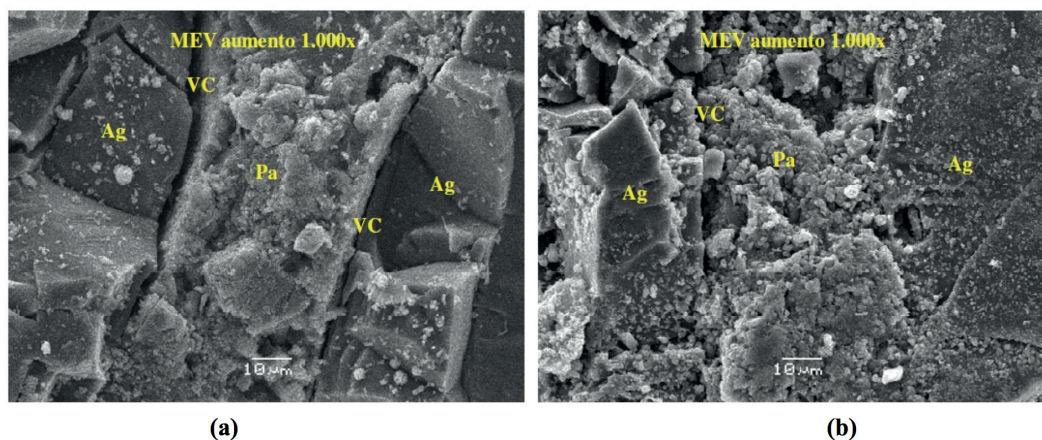


Fig. 11: Vazios capilares concreto C 25.25 aos 28 dias (a) e C 75.75 aos 112 dias de idade (b).

Para idades mais avançadas (365 dias) nos concretos C 25.25, figura 14a, verifica-se uma profundidade de carbonatação média de 2.0 mm que diminuiu para o traço C 75.75 para 0.7 mm. No traço C 100.100, figura 14b não foi observada a ocorrência da carbonatação para esta idade. O agregado de porcelana pode ter contribuído para diminuir discretamente a profundidade de carbonatação, sendo mais seguro concluir que não tem influencia significativa, até pelo fato dos concretos terem sido elaborados com baixa relação a/c, de 0.40, que favoreceu sua baixa permeabilidade.

10. CONCLUSÕES

O processo de moagem a que os isoladores elétricos de porcelana são submetidos para sua reutilização na construção civil permite obter um agregado alternativo com distribuição granulométrica similar ao comum, pois com apenas

ajustes no moinho do tipo martelo e posterior peneiramento pode se obter um material com propriedades que facilitam a moldagem e o adensamento do concreto, seja este bombeável ou lançado.

Esse tipo de agregado alternativo com distribuição granulométrica controlada permite melhorar o adensamento do concreto e o melhor preenchimento das fôrmas, além da ausência de materiais orgânicos potencialmente prejudiciais.

Devido ao processo de fabricação dos isoladores de porcelana, quando eles são moídos em grandes dimensões, superiores a 9.5 mm geram agregados de formato mais lamelar. A menor frequência de partículas lamelares é possível com a diminuição de sua dimensão máxima, pois quanto menor sua dimensão melhor sua aplicação. O aumento de teor de material fino até certos limites resulta em melhoria da resistência.

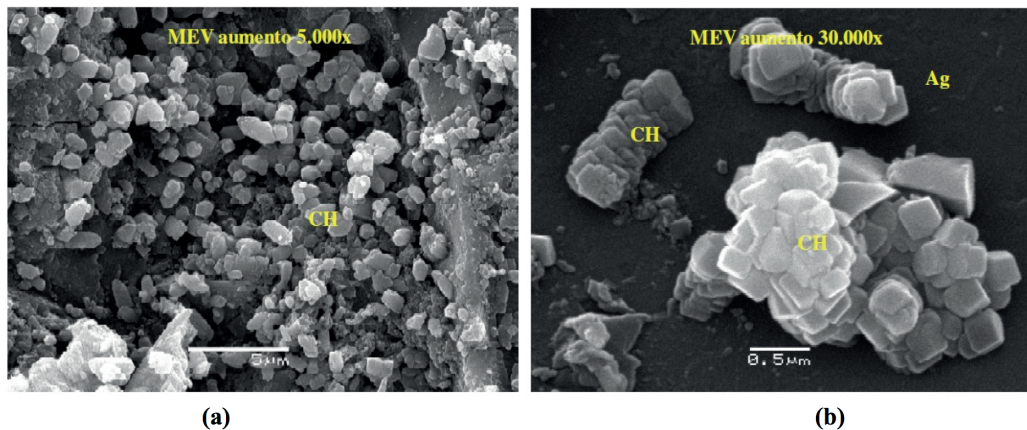


Fig. 12: Formação hidróxido de cálcio na zona de transição, concreto C 100.100 (a) e sobre o agregado de porcelana, traço C 75.75 (b), ambos aos 56 dias de idade.



Fig. 13: Carbonatação traço C 25.25 (a) e traço C 100.100 (b) aos 28 dias de idade.

Este processo de moagem também confere uma textura mais fosca quando comparada a superfície da areia, principalmente, e da brita. Esta superfície fosca, para a porcelana miúda, e rugosa, para a porcelana graúda, facilita o preenchimento pelos produtos de hidratação do cimento na zona de transição agregado-pasta, melhorando sua aderência. Entretanto, quando há superfície esmaltada ocorre a formação de maiores vazios capilares nesta zona de transição, vazios que serão preenchidos com os produtos da hidratação do cimento, originando regiões mais vulneráveis do ponto de vista da durabilidade, razão pela qual deve se levar em conta um controle da frequência de grãos com superfícies esmaltadas, que neste trabalho ficou abaixo de 20 %.



Fig. 14: Carbonatação aos 365 traço C 25.25 (a), C 100.100 (b).

Outro aliado da porcelana refere-se a sua baixa capacidade de absorção de água, água esta que se acumula nas irregularidades das suas superfícies fosca ou rugosa. Tem-se também a similaridade entre os valores de massas específica e unitária, para a porcelana miúda, e massas específicas seca e unitária, para a porcelana graúda, quando ambas comparadas aos agregados comuns utilizados nesta pesquisa.

O ensaio por EDS comprovou também que a porcelana é de composição química similar aos agregados comuns, estimulando sua aplicação como agregado.

Na realização do ensaio de abatimento do concreto a incorporação do aditivo superplastificante permitiu controlar essa propriedade de maneira similar ao usual de obras de 6.0 ± 2.0 cm. Como não houve influência da porcelana, independente de seu grau de moagem, outros tipos de aditivos também podem ser adicionados aos concretos com este tipo de cerâmica, com o intuito de melhorar suas propriedades, sejam elas no estado fresco ou endurecido.

A substituição combinada dos agregados miúdo e graúdo comuns por porcelana miúda e graúda mostrou melhoria nas propriedades mecânicas. A resistência à compressão simples a partir de 28 dias de idade para todos os traços com porcelana apresentou resultados superiores aos do traço referência, alcançando o concreto C 100.100, na idade de 365 dias, resistência 35 % superior, de 94.6 MPa, quando comparado ao traço referência.

Esta observação também é válida para os resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, em que quanto maior o teor de porcelana, maior foi a resistência medida. Com 112 dias de idade, o concreto com o traço C 100.100 apresentou resultado médio 73 % superior ao obtido pelo concreto referência, atingindo 7.29 MPa.

Analisando as imagens de MEV constata-se a formação de compostos na zona de transição do agregado com a matriz da pasta de cimento. Esses compostos foram preenchendo os vazios capilares e também se desenvolvendo sobre a superfície do agregado graúdo, independente deste ser comum ou alternativo.

No ensaio de carbonatação o aumento no teor de porcelana, miúda e graúda, contribuiu para a diminuição de sua penetração, pois aos 365 dias de idade o valor médio de penetração no concreto de referência ficou em 2.3 mm, ao passo que no traço C 100.100 não foi constatada a carbonatação.

A ocorrência da ruptura na face do agregado de porcelana graúda, alertada por vários autores para explicar a diminuição da resistência à compressão simples e à tração na compressão diametral, não foi observada nesta pesquisa. Esse fato pode ser decorrência do agregado graúdo de porcelana, utilizado nesta pesquisa, mesmo contendo superfície esmaltada, ter sido preparado com dimensão característica máxima de 9.5 mm, e com 11 % de material fino, minimizando a influência da camada de esmalte na aderência e portanto nos resultados dos ensaios realizados.

Finalmente, um simples exercício mostra ser possível a produção anual de 500.000 m³ de concreto, com consumo de cimento de 250 kg/m³, utilizando-se agregado de porcelana substituindo 10 % dos agregados convencionais. Portanto, o aprimoramento da metodologia apresentada nesta pesquisa pode constituir estímulo para novas pesquisas visando a utilização de isoladores elétricos de porcelana em concretos e argamassas. O aproveitamento de resíduos de porcelana deve se somar a outros materiais alternativos como contribuição a uma disposição ambiental correta de resíduos industriais bem como com o intuito de reduzir a extração dos agregados convencionais empregados na Construção Civil.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 5738:2003, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003), “Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova”, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 6. ASTM C192, Con formato: Inglês (americano). American Society for Testing and Materials – ASTM, “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory”.

ABNT NBR 5739:2007, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2007), “Concreto: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos”, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 9. ASTM C39, American Society for Testing and Materials – ASTM, “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”.

ABNT NBR 7211:2009, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2009), “Agregados: Determinação da composição granulométrica”, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 9. ASTM C33, Con formato: Inglês (americano). American Society for Testing and Materials – ASTM, “Standard Specification for Concrete Aggregates”.

ABNT NBR 7218:2010, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2010), “Agregados: Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis”, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 3. ASTM C40, American Society for Testing and Materials – ASTM, “Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete”.

ABNT NBR 7222:2010, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2010), “Argamassa e concreto: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos”, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 5. ASTM C496, American Society for Testing and Materials – ASTM, “Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens”.

ABNT NBR 7389-1:2009, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2009), “Agregados: Análise petrográfica de agregado para concreto, Parte 1: Agregado miúdo”, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 5.

ABNT NBR 7389-2:2009, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2009), “Agregados: Análise petrográfica de agregado para concreto, Parte 1: Agregado graúdo”, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 5.

ABNT NBR 15116:2004, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2001), “Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos”, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 12.

ABNT, NBR NM 30: 2001, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2001), “Agregado miúdo: Determinação da absorção de água”, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 3.

ABNT, NBR NM 45:2006, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2006), “Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios”, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 8.

ABNT, NBR NM 46:2001, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2001), “Agregados: Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem”, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 6.

ABNT, NBR NM 52:2009, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2009), “Agregado miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente”, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 6.

ABNT, NBR NM 53:2009, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2009), “Agregado graúdo: Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água”, Rio de Janeiro, Brasil, pp.8.

ABNT, NBR NM 67:1998, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1998), “Concreto: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 8.

ABNT, NBR MN 248:2003, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003), “Agregados: Determinação da composição granulométrica”, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 6.

Campos, M. A. (2009), “Estudo do reaproveitamento de isoladores elétricos de porcelana como agregados em argamassas e concretos”, Dissertação (*Mestrado em Engenharia Civil*) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp. Campinas, Brasil, pp. 155.

Franck, R.; Joukoski, A.; Portella, K. F.; Berksen, R. (2004), “Utilização de rejeitos de isoladores de porcelana em concretos, em substituição parcial ou total dos agregados naturais”, *46º Congresso Brasileiro do Concreto – Ibracon*, Florianópolis, Brasil.

Helene, P. (2005), “Dosagem dos concretos de cimento Portland”, *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*, G. C. Isaia. 1. Ed. Ibracon, São Paulo, 2v, Cap. 15, pp.1600.

Lintz, R. C. C., Campos, M. A., Jacintho, A. E. P. de A., Paulon, V. A., Barbosa, L. A. G. (2008), “Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adições de isoladores elétricos de porcelana em substituição ao agregado graúdo”, *XXXIV Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural*, Santiago, Chile.

Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M. (2008), “Concreto: microestrutura, propriedades e materiais”, Ibracon, São Paulo, Brasil, pp. 674.

Santolaia, A. P. P., Cardin Junior, W. H., Lintz, R. C. C., Bozza, J. L. (2007), “Utilização da adição de resíduo de porcelana no concreto”, *49º Congresso Brasileiro do Concreto – Ibracon*, Bento Gonçalves, Brasil.

Senthamarai, R. M., Devadas Manoharan, P. (2005), “Concrete with ceramic waste aggregate”, *Cement & Concrete Composites*, 27., pp. 910-913.