

APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE CAULIM COMO AGREGADO MINERAL PARA A FORMULAÇÃO DE ARGAMASSAS COLANTES

Cirila Raquel de Araújo Gomes¹; Elbert Valdiviezo Viera²

RESUMO - O caulim é uma rocha, constituída de material argiloso, de granulometria fina, constituído de silicatos hidratados de alumínio, normalmente com baixo teor de ferro, de cor branca ou quase branca. Apresenta características especiais que permitem sua utilização na fabricação de papel, cerâmica, tintas, e outros. No entanto, sua extração e beneficiamento provocam a geração de enorme quantidade de resíduos. Assim, esse trabalho tem por objetivo estudar a utilização do resíduo do beneficiamento do caulim como agregado mineral em argamassas destinadas à construção civil. Neste trabalho foram formuladas argamassas substituindo parcialmente a areia de quartzo por resíduo de caulim. Em seguida, foram confeccionados corpos-de-prova e determinada a resistência de aderência à tração e o seu deslizamento. A substituição parcial da areia de quartzo por resíduo de caulim permitiu a formulação de uma argamassa capaz de atender as especificações segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, gerando um produto que pode atender a uma demanda comercial.

Palavras-chave: Caulim; caracterização; resíduos; argamassa.

ABSTRACT - Kaolin is a rock consisting of clay material, fine particle size, composed of hydrated aluminum silicates, generally with low iron content, white or almost white color. It offers special features that allow its use in papermaking, ceramics, paints, and others. However its extraction and processing cause the generation of large amounts of waste. Thus, this work aims to study the use of kaolin waste as mineral aggregate in mortars intended for construction. In this work were formulated mortars partially replacing the quartz sand by kaolin waste. Then were made bodies test piece and determined the tensile strength and its slip. Partial replacement of quartz sand by kaolin residue allowed the formulation of a mortar able to meet the specifications according to the Brazilian Association of Technical Standards, creating a product that can meet a commercial demand.

Keywords: Kaolin; characterization; waste; mortar.

¹ Graduação em Engenharia de Minas, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Av. Aprígio Veloso, 882, Bloco BY, Campina Grande, PB, CEP 58109-970, Brasil.

² Professor Associado. Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Av. Aprígio Veloso, 882, Bloco BY, Campina Grande, PB, CEP 58109-970, Brasil. E-mail: elbertvaldiviezo@hotmail.com.

1. INTRODUÇÃO

Apesar da grande importância do caulim para o setor industrial, a sua extração e beneficiamento produzem enorme quantidade de resíduos, em virtude do seu processamento ter um aproveitamento de, apenas 30 % do total extraído, ou menor (Pereira, 2014). A maioria do rejeito gerado é, em geral, descartada em campo aberto, em áreas próximas às unidades de beneficiamento, e em várzeas de riachos e rios, o que causa sérios impactos ambientais à fauna, flora e à saúde da população (Leite, 2007).

Nesse sentido, a utilização dos resíduos da extração e do beneficiamento mineral em produtos para construção civil tem-se mostrado uma ótima alternativa para diversificar a oferta de matérias-primas e para a economia dos recursos naturais, onde a reutilização será uma das principais ações para o desenvolvimento sustentável. Essas ações visam reduzir os impactos ambientais e também atuam para que um maior valor seja agregado ao material, gerando além de uma melhora na qualidade de vida dos moradores da região, emprego e desenvolvimento para a comunidade local (Pereira, 2014). No Nordeste Brasileiro, as principais indústrias mineradoras de caulim estão localizadas nos municípios de Equador/RN e Junco do Seridó/PB (Leite, 2007).

O presente trabalho teve como objetivo formular uma argamassa com propriedades adequadas para utilização na construção civil, agregando valor aos resíduos de caulim da região do Seridó paraibano.

2. REVISSÃO BIBLIOGRÁFICA

O caulim é constituído principalmente do mineral caulinita, um silicato de alumínio hidratado, cuja célula unitária é expressa por $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$. A caulinita é um filossilicato (argilo-mineral) com composição química teórica de 39,50 % de Al_2O_3 , 46,54 % de SiO_2 e 13,96% de H_2O ; no entanto, podem ser observadas pequenas variações em sua composição. A presença de minerais do tipo quartzo, cristobalita, alunita, esmectita, ilita, moscovita, biotita, clorita, gibsita, feldspato, anatásio, pirita e haloisita pode prejudicar a qualidade do caulim, afetando propriedades importantes como a alvura, a brancura, a viscosidade e a abrasividade (Cabral, 2009).

Em termos da geologia, os depósitos de caulim são classificados em duas categorias conforme suas origens: primários e secundários. Os depósitos primários são classificados em: Intemperizados que ocorrem em regiões de climas tropicais, úmidos e quentes, a exemplo dos depósitos de caulim em Mogi das Cruzes-SP e Equador-RN. Hidrotermal têm origem a partir de fluidos quentes em circulação do interior da crosta, a exemplo dos depósitos de Nova Zelândia e China. Solfataras que é resultante da ação de emanções vulcânicas ácidas, formadas de vapores de água ricos em enxofre, como os depósitos de caulim solfataras na Itália (Nóbrega, 2007). Os depósitos secundários são formados pela deposição de sedimentos transportados em correntes de água doce. Sua principal característica é a seleção natural, gerada pelo transporte que acumula partículas mais finas e bem selecionadas, de forma que o material fica menos abrasivo (Moraes, 2013).

As diferentes origens geológicas do caulim resultam em diferenças notáveis na composição mineralógica. Normalmente, os caulins secundários apresentam menores porcentagens de quartzo e mica, mas apresentam uma maior contaminação de óxidos de ferro e titânio, responsáveis pela alteração de sua cor branca original (Bristow, 1987). Uma das principais características dos caulins secundários é a granulometria mais fina dos argilominerais. Os depósitos secundários são comuns na Geórgia (EUA); Rio Jari-AP e Rio Capim-PA (Norte do Brasil); oeste da Alemanha; e Guadalajara (Espanha).

As maiores mineradoras de caulim do Brasil situam-se na Região Norte do país. O Estado do Pará representou cerca de 71 % do total da produção interna do caulim brasileiro em 2013. O Estado possui as duas maiores mineradoras de caulim do Brasil, localizadas no município de Ipixuna do Pará. O Estado do Amapá possui a 3ª maior produção caulim. O caulim exportado pelo Brasil é utilizado em diversos setores industriais, principalmente na indústria de papel como elemento de alvura e fixação de impressão, com cerca de 45 % de participação, sendo 32 % utilizado para revestimento e 13 % para carga. Entretanto, no mercado interno, existem duas principais formas de aplicação, uma é para a fabricação de cimento e outra para a utilização na indústria de cerâmica branca (Silva Jr, 2014).

No Estado da Paraíba, o caulim extraído dos pegmatitos, normalmente está encaixado nos micaxistos, e está associado a minerais como tantalita, berilo, moscovita, quartzo e feldspato. Apesar de ser fonte de renda para muitos pequenos mineradores, a produção no Estado corresponde a menos de 1 % da produção nacional. Todo o caulim beneficiado na Paraíba é destinado a polos industriais de outros estados, principalmente, São Paulo. O mineral é utilizado na fabricação de borracha, plásticos, pesticidas, fertilizantes, produtos alimentícios e farmacêuticos, na indústria de papel, na produção de artigos de cerâmica, gessos, cosméticos e produtos químicos diversos (Nobrega, 2007).

No processamento do caulim, ocorre a geração de rejeitos (polpas) que são despejados nos solos e rios, e rejeitos sólidos que também são descartados no solo (Figura 1). Embora a atividade mineradora de caulim tenha grande importância econômica no país, a extração desse mineral por sua própria natureza altera fortemente as condições ambientais podendo provocar grandes impactos. A sua extração, tem demonstrado um grande potencial poluidor, uma vez que 70 a 80 % da matéria-prima empregada no beneficiamento é descartada no meio ambiente (Pereira, 2014).



Figura 1 - Rejeito fino, denominado de “Siri” gerado no processo de beneficiamento do caulim no Junco do Seridó, descartado nas proximidades da usina. Fonte: autores.

A ABNT (Norma Técnica ABNT - NBR 13529, 1995), define argamassa colante (AC) como uma mistura homogênea de agregados minerais, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento. Os tipos mais comuns de argamassa são: argamassa de cal, argamassa de cimento, e argamassa mista. A argamassa de cimento é composta principalmente por cimento Portland, agregado miúdo e aditivos. Apresenta grande resistência mecânica em pequeno intervalo de tempo, mas, tem pequena trabalhabilidade e baixa retenção de água. Essa argamassa é utilizada para circunstâncias específicas, tais como na confecção de pisos. É amplamente utilizada na confecção de chapisco, para ser aplicada nas paredes de alvenaria e estruturas de concreto para aumentar a resistência de aderência do revestimento de argamassas mistas (Silva Jr, 2014).

O cimento Portland é o causador principal da resistência mecânica das argamassas, porém, argamassas de revestimento não necessitam de elevadas resistências mecânicas, basicamente por diminuir a capacidade de deformação, da resistência ao impacto e também diminui a capacidade de aderência. As argamassas que contêm grande quantidade de cimento oferecem grandes tensões, chegando a serem de nove a doze vezes maiores que as tensões das argamassas pobres (que contêm pequenas quantidades de aglomerantes) (Tristão, 1995).

Os agregados minerais (ou agregado miúdo) são de origem natural, é a areia extraída em leitos de curso de água. Apresenta características importantes quando usado na argamassa, devido ter sofrido transporte ao longo do curso, essas características são: menor porcentagem de finos e de material pulverulento, além de influenciar na trabalhabilidade, retenção de água e permeabilidade da argamassa (Russo, 2011).

Os bactericidas utilizados na produção de argamassas geralmente se encontram em forma de pó branco, com umidade de 10 %, densidade por volume de 390 - 490 g.L⁻¹ e pH de 10 a 11. O biocida é um aditivo bactericida que pode ser químico, sintético ou natural que tem como função destruir, travar o crescimento, tornar inofensivo, evitar a ação de qualquer organismo nocivo como fungos e bactérias. É de grande importância a utilização de bactericidas na fabricação da argamassa, uma vez que esses diminuem a contaminação microbiana do material quando armazenado (Cimental, 2014).

Os aditivos usados nas argamassas são polímeros com moléculas muito grandes compostas por pequenas unidades estruturais repetitivas, anexadas por ligações covalentes. Na fabricação de argamassa utiliza-se um polímero redispersível flexível denominado Copolímero Acetato de Vinila Etileno. Esse é utilizado com a finalidade de melhorar as propriedades de flexibilidade, adesão, resistência à tração/compressão e deformação. Esse polímero é encontrado na forma de pó, na cor branca, com umidade máxima de até 5 %, densidade de 450 – 650 g.L⁻¹, pH 8-9 e teor de cinzas de 9 – 16 % (Callister, 2002).

O éter de celulose é um polímero semissintético, solúvel em água, utilizado como aditivo em misturas à base de cimento (argamassa), com objetivo de mudar suas características no estado fresco e como retentor da umidade (Silva e Roman, 2001). Apresenta-se em forma de pó, na cor branca levemente amarelada, umidade máxima de 10 %, densidade de 450 – 550 g.L⁻¹, pH 6,5 – 7,5 e viscosidade (solução a 2 %, 20 °C) 7.000 – 10.000 cP (Cimental, 2014).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Cimento Portland CII, areia de quartzo, resíduo de caulim, éter de celulose, e polímero de acetato de vinila – PVA. O resíduo de caulim foi procedente de uma unidade de beneficiamento do Junco do Seridó. Também foram usados azulejos, placas de concreto e água potável.

3.2 Métodos

Desagregação e peneiramento - Primeiramente, o resíduo de caulim foi desagregado manualmente e seco na estufa durante 24 h, para a etapa posterior de peneiramento. O peneiramento foi realizado com o resíduo de caulim e com a areia de quartzo, em separado, empregando-se a peneira de 48 malhas. A fração passante em 48 malhas foi utilizada na formulação da argamassa. O peneiramento foi realizado usando-se um agitador de peneiras operando com frequência de 10 Hz e tempo de 30 minutos.

Caracterização - O ensaio de DRX mostrou que o resíduo de caulim está constituído por caulinita, como mineral principal, e de outros minerais como a moscovita e o quartzo (Raposo, 2015). A Tabela I apresenta os resultados de FRX do resíduo de caulim, o qual apresenta um teor de sílica (SiO₂) de 54,83 % e óxido de alumínio (Al₂O₃) de 35,19 % e um baixo teor de óxido de ferro (Fe₂O₃) de 1,46 % (Raposo, 2015).

Tabela I - Composição química de amostra do resíduo de caulim.

Óxido	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	SO ₃	TiO ₂	Rb ₂ O	ZnO	CuO	NbO	MnO
Teor	54,83	35,19	6,89	1,46	0,91	0,16	0,17	0,17	0,07	0,04	0,01	0,02	0,06

Fonte: Raposo, 2015

Formulação da argamassa - Os componentes utilizados para formulação da argamassa foram cimento Portland CII, areia de quartzo, resíduo de caulim, éter de celulose e PVA. Foram preparados quatro tipos diferentes de composições de argamassa colante (AC-I), sendo que cada composição apresentou determinada proporção de material, como mostra a Tabela II.

Tabela II – Formulação da argamassa.

Formulação	Agregado mineral (g)		Cimento Portland (g)	Aditivo I Éter de celulose (g)	Aditivo II PVA (g)
	Areia de quartzo	Resíduo de caulim			
I	400,0	400,0	200,0	0,18	0,5
II	560,0	240,0	200,0	0,18	0,5
III	480,0	320,0	200,0	0,18	0,5
IV	720,0	80,0	200,0	0,18	0,5

Cada um dos tipos de argamassa preparados contém uma quantidade de 1,0 Kg, segundo as proporções mostradas na Tabela II. Os componentes foram colocados em uma bandeja e, homogeneizados de forma manual com uma colher de pedreiro, por cerca de 15 minutos (Figura 2).



Figura 2 - Componentes utilizados para composição da argamassa. De esquerda para direita: areia de quartzo, resíduo de caulim, cimento Portland, e aditivos.

Ensaio de assentamento - Para o assentamento da placa cerâmica foi utilizada uma quantidade de 400 mL de água para cada quilo de argamassa preparada com essa finalidade. A mistura umedecida passou 15 min em repouso, em seguida espalhada sobre um substrato de concreto de dimensões 30 cm por 30 cm, para o respectivo assentamento da placa cerâmica (Figura 3). O assentamento da placa cerâmica foi realizado tanto em substrato de concreto quanto em superfície vertical, que era uma parede ou muro. Esse último era realizado, com o intuito de determinar o deslizamento da placa cerâmica, logo após o seu assentamento (Figura 4).

Ensaio de resistência ao arranque - O ensaio de resistência ao arranque foi realizado no 28º dia após o assentamento da placa cerâmica. Nesse tempo de cura as amostras foram mantidas sob as condições ambientais, recomendadas pela ABNT- NBR 14081-4. No ensaio de resistência ao arranque por tração simples foi aplicada uma força que ia aumentando gradualmente até o máximo de $250 \pm 50 \text{ N.s}^{-1}$ onde ocorria o descolamento da placa cerâmica (ABNT- NBR 14081-4, 2012). Para esse ensaio, utilizava-se o equipamento mostrado na Figura 5, onde por meio de um macaco hidráulico e um manômetro era aplicada e quantificada a pressão sobre a placa cerâmica, colada ao substrato de concreto.

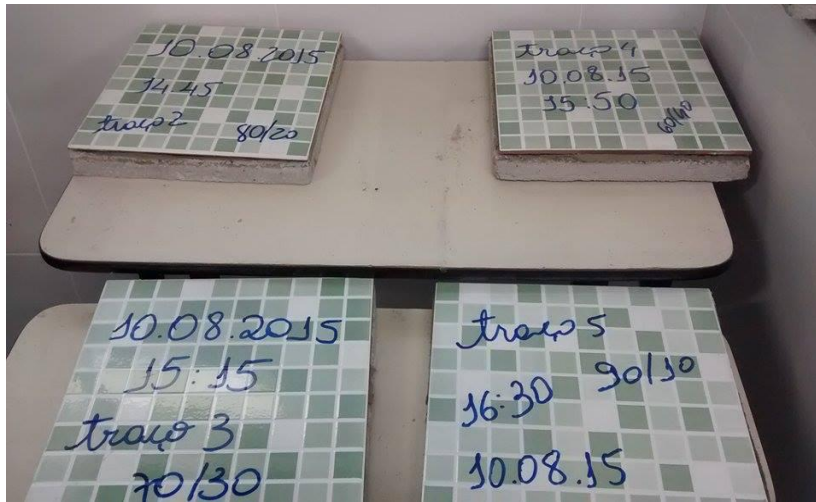


Figura 3 - Placas cerâmicas assentadas sobre as placas de concreto antes do processo de cura.



Figura 4 - Placas cerâmicas assentadas sobre uma superfície vertical no ensaio de deslizamento.



Figura 5 - Ensaio de resistência ao arranque por tração simples.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no trabalho serão discutidos através dos ensaios de deslizamento e de resistência ao arranque. Esses ensaios são relevantes na formulação de argamassas comerciais já que viabilizam a sua comparação com as especificações técnicas recomendadas pela ABNT.

4.1 Ensaios de Deslizamento

O ensaio de deslizamento foi realizado 24 h após o assentamento da cerâmica. As placas cerâmicas foram assentadas na posição vertical e colocado pontos de marcação (Figura 6) para permitir a leitura e verificar, se houve o deslizamento, conforme especificação referenciada na norma ABNT-NBR 14081-5.



Figura 6 – Detalhe do ensaio de deslizamento.

As composições de argamassa ensaiadas neste trabalho apresentaram resultados satisfatórios no teste de deslizamento onde, de acordo com ABNT-NBR-14081-5/2012 o deslizamento deve ser igual ou inferior a 2,0 mm. Constatou-se através de medições realizadas com paquímetro que o deslizamento da cerâmica foi, em todos os casos, menor que 0,5 mm, isto é, inferior a 2,0 mm.

4.2 Ensaios de Resistência ao Arranque

Na Tabela III são apresentados os resultados obtidos no ensaio de resistência ao arranque. A tabela mostra que a formulação I com uma pequena força aplicada (0,075 MPa) há descolamento da cerâmica. A norma da ABNT recomenda que no ensaio de arranque o descolamento da cerâmica pode ocorrer com aplicação da força de $> 0,5$ MPa. Conforme a Tabela III, tanto as formulações II e III o descolamento da cerâmica ocorreu em 0,608 e 0,860 MPa, respectivamente. Enquanto que na formulação IV, com uma força aplicada de 0,922 MPa, não houve descolamento da cerâmica.

Tabela III - Resultados do ensaio de resistência ao arranque por tração simples referente a cada formulação.

Formulação	Resistência ao arranque (MPa)	Tipo de deslocamento
I	0,075	Deslocamento na interface argamassa e placa cerâmica.
II	0,608	Deslocamento da camada de argamassa colante.
III	0,860	Deslocamento da camada de argamassa colante.
IV	0,922	Não houve deslocamento.

A formulação da argamassa I apresentou resultado inferior $< 0,5$ MPa, não se adequando às especificações da ABNT NBR 14081. Esse comportamento estaria relacionado, provavelmente, à maior

quantidade de resíduo de caulim, onde essa formulação teve quantidades iguais para a areia de quartzo e de resíduo de caulim (Tabela II).

As composições de argamassa II, III e IV, apresentaram resultados satisfatórios no teste de resistência ao arranque por tração, obtendo resultado superior $> 0,5$ MPa. Esse comportamento estaria relacionado à maior proporção de areia de quartzo e menor proporção de resíduo de caulim nas composições da formulação. As formulações de argamassa II, III e IV teriam a qualidade necessária para serem potencialmente comercializadas.

5. CONCLUSÕES

O resíduo do caulim, fração mais fina (“Siri”), gerada no beneficiamento, apresentou condições favoráveis para uso como agregado mineral na formulação de argamassas, desde que o mesmo seja dosado em uma proporção adequada junto com areia de quartzo.

O resíduo de caulim apresentou um teor de SiO_2 de 54,83 % e baixo teor de Fe_2O_3 (1,46 %). A granulometria requerida para argamassa que é de -48 malhas (-0,30 mm) pode também ser obtida a partir desse resíduo.

Em termos de teor de SiO_2 , o resíduo de caulim apresentou valor inferior, quando comparado com o teor de SiO_2 para uma areia de quartzo. No entanto, os ensaios de deslizamento e arranque foram satisfatórios para as formulações II, III e IV. Isso permite concluir que a substituição parcial da areia de quartzo pelo resíduo não deve ser maior que 30 %, para não alterar significativamente a qualidade da argamassa colante.

A argamassa colante de formulação II, III e IV, obtiveram resultados satisfatórios, de acordo com as exigências de qualidade recomendadas pela ABNT, requeridas para produto comercializáveis.

6. AGRADECIMENTOS

Ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI), Programa de Entidades Associadas, pelo apoio financeiro.

7. REFERÊNCIAS

Bristow, C. M. 1987. Kaolin Paper Underpins Current Demand. *Industrial Minerals*, July, p.62-67.

Cabral, E. S.; Leite Filho, E. M.; Braz de Araújo, R.; Farias, M.S.S. 2009. Impactos Ambientais: Uma Abordagem das Atividades de Beneficiamento de Caulim na Região Borborema/Seridó na Paraíba.

Callister, W. D. 2002. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 589 p.

Cimental. Disponível em: <www.cimental.com.br> Acessado em: 09 de dezembro de 2015.

Leite, J. Y. P.; Veras; M. M.; Santos, E. P.; Lima, R.F.S.; Paulo, J. B. A. 2007. Mineração de Caulim de Pequena Escala em APL de Base Mineral – Novo Layout para sua Otimização. In: XXII ENTMME/VII MSHMT – Ouro Preto/MG.

Moraes, J. M. 2013. Caracterização Tecnológica e Mineralógica de Caulins Brasileiros. XIV Jornada de Iniciação Científica – CETEM, Rio de Janeiro, RJ.

NBR 14081-4: 2012. Argamassa Colante Industrializada para Assentamento de Placas Cerâmicas. Parte 4: Determinação da Resistência de Aderência a Tração. Rio de Janeiro, RJ.

Nobrega, A. F. 2007. Potencial de Aproveitamento de Resíduos de Caulim Paraibano para o Desenvolvimento de Argamassas de Múltiplo Uso. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PB.

Pereira, A. R. M. 2014. Aproveitamento dos Rejeitos de Quartzito do Junco do Seridó/PB e Várzea/PB para a Produção de Pisos Intertravados. Trabalho Final de Curso. Universidade Federal de Campina Grande, UFCG. Campina Grande, PB.

Raposo, C. M. O; Xavier, A. S. 2015. Relatório: Projeto Integrado de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico voltado para o Aproveitamento Racional e Sustentável de Minerais de Pegmatitos, UFCG, Campina Grande, PB.

Russo, M. L. C. 2011. Reciclagem de Resíduos Gerados na Extração de Quartzito. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo horizonte, 174 p. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS8RRFAS/2011_12_06_tese_vers_o_final__mario_cabello__capa__contra_capa__ficha__catalografica_e_tese_.pdf?sequence=1>. Acesso: 23 Set. 2015.

Silva Junior, C. R. S. 2014. Aproveitamento de Resíduo de Quartzito da Região do Seridó Paraibano para Formulação de Argamassas. Trabalho Final de Curso. Universidade Federal de Campina Grande, UFCG. Campina Grande, PB.

Tristão, F. A. 1995. Influência da Composição Granulométrica da Areia nas Propriedades das Argamassas de Revestimento. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 219 p.