

Obtenção de blocos de concreto com utilização de resíduos reciclados da própria fabricação dos blocos

Manufacturing of concrete blocks using recycled materials from their own manufacturing process

Paulo César Correia Gomes
Fábio Alencar Pereira
Sílvia Beatriz Beger Uchôa
Fábio Cabral de Oliveira
Lícia Holanda Almeida

Resumo

O artigo relata um estudo de caso de uma fábrica de blocos de concreto (BC), que utiliza os resíduos de blocos como agregados reciclados para a produção de novos blocos, denominados aqui blocos reciclados de concreto (BRC). O objetivo do estudo foi obter BRC e avaliar a influência dos agregados reciclados de blocos (AGRB) na resistência à compressão dos blocos. Os BRC foram produzidos para uso na construção de edificações, contribuindo para a diminuição do desperdício e do consumo de matéria-prima, agregando valor aos resíduos e visando, além do atendimento às normas ambientais vigentes, à sustentabilidade. A fábrica foi implantada no próprio local da obra, destinada à construção de moradias populares. Os resíduos foram compostos unicamente de restos de blocos de concreto, tendo sido originados nas diferentes etapas do processo de fabricação. Os AGRB gerados a partir destes foram obtidos pelo processo de peneiramento. Após a caracterização, foram incluídos no processo de fabricação dos BRC. Os mesmos critérios de dosagem dos concretos secos com agregados naturais foram aplicados aos agregados reciclados. Os AGRB foram utilizados para substituírem os agregados naturais de menores dimensões (pó de pedra e/ou areia natural). O melhor desempenho dos BRC foi obtido com a substituição total do pó de pedra e da areia natural (CAGRB).

Paulo César Correia Gomes
Universidade Federal de Alagoas
Maceió - AL - Brasil

Fábio Alencar Pereira
Universidade Federal de Alagoas
Maceió - AL - Brasil

Sílvia Beatriz Beger Uchôa
Universidade Federal de Alagoas
Maceió - AL - Brasil

Fábio Cabral de Oliveira
Universidade Federal de Alagoas
Maceió - AL - Brasil

Lícia Holanda Almeida
Universidade Federal de Alagoas
Maceió - AL - Brasil

Recebido em 29/06/15
Aceito em 26/12/16

Palavras-chaves: Bloco de concreto. Agregado reciclado. Resistência à compressão.

Abstract

This paper reports on a case study conducted in a concrete block factory that uses the waste generated in the manufacturing process of these blocks as recycled aggregates to obtain new blocks, herein named concrete recycled blocks (CRB). The aim of this study was to evaluate the influence of the blocks recycled aggregates (BRAG) on the compression strength of the blocks. The blocks were designed to be used in the construction of social housing, seeking not only to comply with environmental regulations but also to meet sustainability requirements. The factory was set up on the construction site of a low-income housing project. The waste used derived exclusively from the residue of the concrete blocks, produced at different stages of the manufacturing process of the blocks. The BRAG were obtained through sieving. After its characterisation, the AGRB was included in the manufacturing process of new blocks. The same dosage criteria used for dry concrete with natural aggregates was applied in the concrete with recycled aggregates. The BRAG were used to replace the natural aggregates (powder-stone and / or natural sand). The block property evaluated was compressive strength. The best performance of the CRB was obtained with total replacement of stone powder and natural sand (CAGRB).

Keywords: Block concrete. Recycled aggregate. Compressive strength.

Introdução

A construção civil no Brasil passou por um período de grande crescimento nos últimos anos, sofrendo uma desaceleração em 2014 e 2015 (ALMEIDA, 2016). Segundo dados do Dieese (DEPARTAMENTO..., 2011), em 2010 a construção civil apresentou um crescimento de 11%, o melhor desempenho nos últimos 24 anos. Esse cenário foi motivado, dentre outros fatores, por programas do Governo Federal que visaram suprir o déficit habitacional da população brasileira. Teve-se o surgimento do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), com a construção de moradias em todo o país.

Todo crescimento precisa ser acompanhado pelo desenvolvimento da cadeia produtiva, que passa pela exigência de um maior número de trabalhadores e com maior nível de qualificação até o surgimento de novas técnicas e de materiais capazes de aliar alta tecnologia com sustentabilidade e qualidade. Esta, por sua vez, é uma preocupação crescente de todos os setores industriais e, no caso particular da construção civil, pode ser conseguida a partir de um menor consumo dos insumos naturais e reutilização de resíduos do próprio setor ou de outros segmentos.

A construtora parceira nesse estudo esteve responsável pela construção de diversos conjuntos de residências destinadas ao programa habitacional citado anteriormente. Escolheu a tecnologia de blocos de concreto para a execução das residências, com a sua produção no canteiro de obras. No âmbito da busca da sustentabilidade e também visando atender as exigências de gerenciamento de resíduos produzidos, foi buscada a parceria com o Laboratório de Estruturas e de Materiais (Lema), do Centro de Tecnologia (CTEC), da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), para estudar o reaproveitamento dos resíduos produzidos nas diversas etapas de fabricação para a produção de novos blocos de concreto.

O trabalho foi realizado em tempo real de produção numa fábrica pertencente a uma empresa parceira do Lema. Foi desenvolvido no âmbito do projeto Promove – Laboratórios de Inovação do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTI) e do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (Pibiti) da UFAL/CNPq. O projeto previu a utilização dos agregados reciclados de blocos de concreto para aplicação na fabricação de blocos reciclados de concreto (BRC) que foram utilizados na própria obra. No mesmo projeto, foram avaliados o gerenciamento e a produção do resíduo dos blocos

de concreto (GOMES; ALMEIDA; PEREIRA, 2012), e foi proposta uma logística de produção, armazenamento, processo, controle de qualidade e uso contínuo desses resíduos na fábrica.

Este artigo apresenta um estudo de caso, realizado em uma fábrica de blocos de concreto (BC) localizada no canteiro de obras da empresa, que tem como objetivo apresentar a obtenção de BRC que atendessem a resistência à compressão de blocos (f_{bk}) estabelecida pela fábrica, utilizando agregados gerados a partir do próprio processo de fabricação. Avaliou-se o potencial de utilização dos agregados reciclados de blocos (AGRB) por meio da resistência à compressão dos BRC obtidos, com diferentes porcentagens de substituição dos agregados: areia e pó de pedra, pelos AGRB.

Blocos de concreto: dosagem e geração de resíduos

O concreto conhecido na literatura por “concreto seco” é utilizado na fabricação de BC para alvenaria estrutural e de vedação. Métodos de formulação dos concretos secos utilizados na fabricação de blocos não são recentes, podendo ser citados os propostos por Wilk e Grant (1948), Pfeiffenberger (1985), Prudêncio Junior, Oliveira e Frasson Junior (2007) e Fernandes (2011), entre outros. Os métodos de Fernandes (2011) e de Pfeiffenberger (1985) sugerem uma faixa granulométrica da composição de agregados ideal. O método de Wilk e Grant (1948) refere-se ao módulo de finura (MF) das composições de agregados. Prudêncio Junior, Oliveira e Frasson Junior (2007) indicam em seu trabalho que quanto maior o MF da composição de agregados, maior a resistência à compressão.

Os concretos secos, devido à menor quantidade de água empregada, apresentam consistência seca, são compactados em moldes por pressão e permitem a desforma imediata das peças (PRUDÊNCIO JUNIOR; OLIVEIRA; FRASSON JUNIOR, 2007). A prensagem dos concretos secos para moldagem dos blocos de concreto necessita de equipamentos denominados vibro-prensas, que compactam e expulsam o ar da mistura, a partir da compressão aliada à vibração. Com a proliferação desses equipamentos, muitas construtoras passaram a fabricar os blocos no canteiro de obras. No entanto, o despreparo no manuseio desses equipamentos e a falta de conhecimento na obtenção de concretos secos, atrelada às demais etapas de fabricação dos blocos, têm gerado um elevado teor de resíduos de blocos de concreto. Em

outro estudo, numa fábrica de grande porte do interior paulista, o volume de resíduos gerados chegou a 7 m³/dia, contabilizando 160 m³/mês de resíduos de concreto, o que representa 1% da produção total. Desse total, aproximadamente 30 m³ seriam representados por blocos de concreto rejeitados pelo controle de qualidade, fora os resíduos gerados na produção dos blocos (BUTTLER, 2007). Entretanto, no caso da fabricação de outros pré-moldados, a produção de resíduos também é elevada, como o que relata Silva (2014) em um estudo no qual a empresa gerava em torno de 10% em resíduos do total de concreto produzido mensalmente para as estruturas em concreto, o que corresponde em torno de 200 m³/mês de concreto.

Em geral, os resíduos de construção, demolição e de pré-fabricados geram agregados reciclados que apresentam características inferiores aos agregados naturais, tais como: maior porosidade e elevada absorção de água, que afetam as propriedades das argamassas e dos concretos, o que contribui para uma menor qualidade dos produtos (POON; CHAN, 2006, 2007; BUTTLER, 2007). Algumas características desses agregados reciclados são especificadas na NBR 15116 (ABNT, 2004), para atendimento aos requisitos mínimos de utilização para aplicação em camadas de pavimentação e em preparo de concretos sem função estrutural.

Os agregados reciclados de blocos, por serem gerados unicamente de resíduos de blocos de concreto, apresentam uma menor diversidade na composição mineralógica e ausência de contaminantes (gesso, madeira, vidros, papelão, resíduos de cerâmica, etc.), comparados aos obtidos a partir de resíduos de construção e de demolição, o que favorece a obtenção de agregados reciclados com características mais uniformes. Alguns autores propõem que o nível de contaminação admissível no agregado reciclado de concreto com outros materiais pode ser de no máximo 10% (POON; CHAN, 2007). Vários estudos têm mostrado que é possível fabricar BRC, com um bom desempenho, utilizando agregados reciclados de blocos (LINTZ *et al.*, 2012; POON *et al.*, 2009; BOLDRIN *et al.*, 2006; PATTO; OLIVEIRA, 2006; FARIAS *et al.*, 2005; ALBUQUERQUE, 2005; SOUZA; BAUER; SPOSTO, 2002).

De acordo com a literatura, é possível a utilização de resíduos dos BC para obtenção de BRC. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi o estudo da viabilidade técnica para a utilização dos resíduos produzidos nas diferentes etapas do processo de fabricação de blocos de concreto como AGRB para fabricação de BRC. Apresenta-se a seguir o processo objeto de estudo, com a identificação das

etapas de geração do resíduo, para em seguida mostrar o processamento dos resíduos para aplicação. Para a correta aplicação foi feita a caracterização granulométrica do material e a dosagem dos concretos secos para fabricação dos BRC, finalizando com o controle da qualidade destes, por meio da determinação da resistência à compressão.

Método

O estudo de caso, apresentado no fluxograma, Figura 1, ocorreu numa fábrica de blocos de concreto, implantada num canteiro de obras para construção de 5.000 moradias. Trata do aproveitamento de resíduos de blocos de concreto para geração de BRC. Os concretos secos utilizados para fabricação dos BRC têm em suas composições agregados reciclados originados unicamente de resíduos de blocos de concreto gerados durante as diferentes etapas de fabricação e manuseio dos blocos.

O artigo apresenta, inicialmente, a fábrica implantada para fabricação dos blocos, as etapas de produção dos blocos de concreto e um levantamento do quantitativo dos resíduos que foram usados no estudo. Em seguida, prevendo o uso do resíduo como matéria-prima, são apresentados: o processo de beneficiamento do resíduo, a obtenção e caracterização dos AGRB, a formulação dos concretos secos, a fabricação e o controle de qualidade dos BRC, utilizando como parâmetro a resistência à compressão do bloco (f_{bk}).

Para a dosagem das composições de agregados e do concreto seco foram utilizados os métodos de Fernandes (2011), Pfeiffenberger (1985) e Wilk e Grant (1948). A produção dos blocos seguiu o método empregado na fábrica utilizando os agregados naturais.

A determinação da resistência à compressão dos blocos seguiu a norma NBR 6136 (ABNT, 2007), em vigor no momento da execução do estudo, em 2013, e os resultados foram comparados com diferentes níveis de substituição dos agregados naturais pelo agregado reciclado e com os blocos de referência (BREF) sem uso de AGRB.

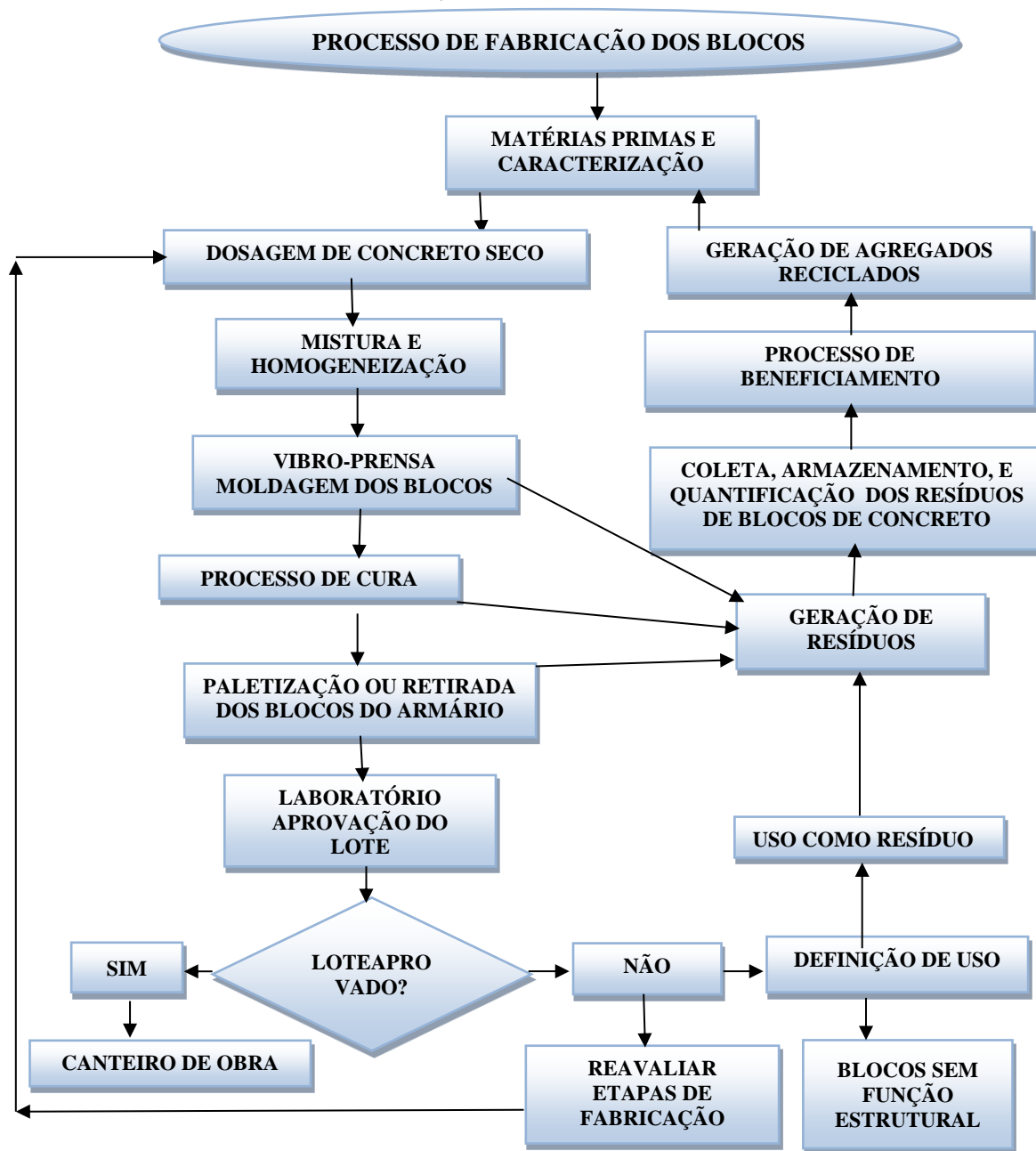
Apresentação da fábrica

A fábrica de blocos de concreto foi implantada no canteiro de obra para produção dos blocos destinados à construção de edificações populares. A obra pertencia a uma construtora com empreendimentos voltados para os programas habitacionais e de infraestrutura do Governo Federal, como o PAC e o (PMCMV). Os blocos de

Figura 3 - Detalhes dos equipamentos utilizados



Figura 4 - Fluxograma do processo de produção dos blocos



Obtenção dos agregados reciclados

Geração dos resíduos de blocos

Conforme apresentado na Figura 4, as principais etapas do processo de fabricação dos blocos que produzem os resíduos de blocos, desde a colocação do material na vibro-prensa até a liberação do lote para entrega no canteiro de obra, são:

- (a) moldagem e armazenamento dos blocos;
- (b) encaminhamento ao processo de cura;
- (c) transporte dos blocos até o pátio de paletização;
- (d) paletização ou retirada dos blocos dos armários; e
- (e) blocos reprovados nos ensaios de qualidade.

Na etapa 1 pode-se evidenciar a geração de resíduos logo após a compactação e a desmoldagem dos blocos na vibro-prensa (Figura 5a), com a ocorrência de desmoroamento imediato e presença de alguma falha na configuração geométrica. Sendo constatados tais aspectos, o material era imediatamente reaproveitado no processo de mistura, após os ajustes necessários da quantidade de cimento ou da umidade. Não havendo evidências de falhas nos blocos após a desmoldagem, esses eram levados para prateleiras ou armários, aguardando o envio para o processo de cura (etapa 2). Durante a permanência nas prateleiras (Figura 5b), alguns blocos desmoroavam ou apresentavam rachaduras (Figura 5c), provocando sua quebra com facilidade, ou eram reprovados pelo controle de qualidade. Os blocos íntegros eram transportados para a área de cura (Figura 5d); durante essa movimentação, no manuseio e no transporte, alguns blocos recém-moldados desmoroavam ou quebravam. Uma vez curados, os blocos eram transportados para paletização (Figura 5e), durante a qual também ocorria geração de resíduos (etapa 3). A paletização consistia na formação de lotes para entrega. Durante a paletização, os blocos eram dispostos de modo que ao serem transportados não sofressem ruptura ou quebra com os impactos e nem queda dos paletes. Quanto ao armazenamento dos paletes, estes eram dispostos de forma que na hora de empilhar uns sobre os outros não houvesse quebra dos blocos (etapa 4) (Figura 5f). Apesar dos cuidados, nessa etapa também ocorria a geração de resíduos. Na última etapa, quando o controle de resistência à compressão reprovava os blocos, estes eram destinados para o local de armazenamento do resíduo.

Contabilizando a produção de resíduos gerados nessas etapas, por meio do levantamento de perdas

durante o processo de produção, chegou-se ao valor máximo de 28% de resíduos, em relação à quantidade de matéria-prima utilizada. Desses, 7% eram reaproveitados imediatamente, enquanto os 21% restantes, aproximadamente 30 m³/dia, provenientes de rejeitos por controle de qualidade e quebras, não eram aproveitados para fabricação de novos blocos. As etapas 3 e 4, incluindo a paletização, foram as que apresentaram a maior geração de resíduos, em torno de 16% do total. Esses valores estavam bem acima dos encontrados na literatura. Verificou-se que esses elevados valores ocorriam devido ao despreparo e desconhecimento da equipe nesse tipo de atividade.

Finalizadas as etapas descritas, os blocos paletizados eram separados em lotes e de cada lote eram selecionados blocos, de acordo com a NBR 6136 (ABNT, 2007), para o controle de qualidade. Em seguida os blocos eram encaminhados ao laboratório para ensaios de determinação das propriedades: resistência à compressão, dimensões e absorção de água.

A coleta e o armazenamento do RBC (Figuras 6a e 6b) eram realizados pela própria fábrica. Verificou-se que no armazenamento havia a incorporação de outros tipos de resíduo e que eram separados na hora da triagem.

Processo e produção do agregado reciclado

Procurando o menor custo para o processo de beneficiamento do resíduo, já que a construtora não possuía nenhum equipamento de britagem para o processo de cominuição do resíduo, foram utilizados equipamentos que se encontravam no canteiro: uma minicarregadeira e peneiras. Grande parte do resíduo se encontrava ainda numa idade inicial de endurecimento, o que facilitava o rompimento e a separação por peneiramento. Foi implantado um sistema de processamento constituído por duas etapas: a primeira com o rompimento (cominuição) por meio de uma minicarregadeira, para diminuir o tamanho dos resíduos que ainda se encontravam como grandes fragmentos de blocos; e a segunda com o uso de peneiras de diferentes aberturas para obter o agregado com a dimensão dos agregados usados na fábrica para a produção dos blocos. Esse segundo processo utilizou duas peneiras: uma inclinada com abertura de 12,5 mm (Figura 7a) e outra plana vibratória com abertura de 9,5 mm. O material retido na peneira 12,5 mm era rompido novamente, e o material passante seguia para a peneira 9,5 mm. (Figura 7b). Essas aberturas foram definidas com base nos agregados naturais utilizados na fábrica, já que a dimensão máxima característica

(D_{max}) dos agregados utilizados na fábrica era de 9,5 mm. O material passante nessa última peneira foi considerado o AGRB, a ser incorporado na

produção dos BRC, sendo armazenado ao ar livre e para uso imediato pela produção (Figura 7c).

Figura 5 - Detalhes das etapas de fabricação dos blocos



(a) Blocos recém-moldados



(b) Blocos sendo colocados em armários para cura



(c) Bloco fissurado



(d) Blocos quebrados durante o processo de produção



(e) Armazenamento no pátio de estocagem



(f) Blocos paletizados prontos para serem transportados

Figura 6 - (a) Coleta dos resíduos de bloco por meio da minicarregadeira e (b) estocagem dos resíduos coletados



(a)



(b)

Figura 7 - Processos de beneficiamento do resíduo



(a) Peneira de 12,5 mm



(b) Peneira vibratória de 9,5 mm



(c) Agregados reciclados de blocos (AGRB)

Caracterização dos agregados

A caracterização dos agregados foi feita por meio de sua granulometria e módulo de finura, e massa unitária, de acordo com as normas NBR NM 248 (ABNT, 2003) e NBR NM 45 (ABNT, 2006), respectivamente. Na Tabela 1 são apresentados os valores do módulo de finura e da massa unitária e na Figura 8 são apresentadas as curvas de distribuição granulométrica dos agregados utilizados na fabricação dos blocos.

Verifica-se que o processo de peneiramento adotado originou um AGRB com granulometria inferior a do pedrisco, e com finura próxima a de uma areia grossa. A massa unitária do AGRB, apesar de próxima das dos demais materiais, foi a maior, caracterizando um material com uma melhor condição de preenchimento dos vazios. Em geral, observa-se que o AGRB se aproxima das características do pó de pedra quanto aos valores de massa unitária.

Na distribuição granulométrica, essa aproximação foi mais acentuada, tendo basicamente a mesma tendência de distribuição de partículas, o que pode ser devido ao fato de o pó de pedra ser obtido por meio da britagem e do peneiramento do agregado natural, semelhante ao processo de obtenção do AGRB.

Determinação das composições dos concretos secos

Os métodos de Fernandes (2011), Pfeiffenberger (1985) e Wilk e Grant (1948) foram usados para determinação e análise das composições de agregados das misturas. A dosagem dos

componentes do concreto seco com AGRB (CAGRB) foi baseada no traço dos concretos secos de referência (CREF) utilizados na fábrica com os agregados naturais. O procedimento de medidas para determinação do volume dos agregados utilizados foi o mesmo usado para o CREF, com padiolas de 63 L ou 126 L.

O cimento foi dosado em massa, utilizando embalagens (sacos de 50 kg), seguindo o procedimento da fábrica. Utilizou-se no estudo a dosagem referente a um saco e meio de cimento (75 kg). Optou-se pela substituição do agregado natural pelo agregado reciclado, considerando a semelhança nas distribuições granulométricas, e foram feitas as substituições nas frações referentes ao pó de pedra e à areia natural. Na formulação dos concretos secos com agregados reciclados foram determinadas três composições: **CAGRB**, com 85,7% de substituição do agregado natural por AGRB, sendo substituídos 100% do pó de pedra e da areia natural; **CAGNRB**, com 57,0% de substituição, sendo substituído 100% o pó de pedra e 50% da areia natural; e **CAGPRB**, também com substituição de 57,0%, sendo substituído 100% da areia natural.

Na Tabela 2 são apresentadas as composições em volume desses concretos secos e do concreto de referência **CREF**

Na Tabela 2, as composições CAGRB, CAGNRB e CAGPRB apresentam como traço unitário, em volume, 1:8,35 e como traço unitário em massa 1:8,79; 1:8,84 e 1:8,89, respectivamente. No total, eram produzidos, por betonada aproximadamente 500 L de concreto seco, que resultavam em cerca de 60 blocos.

Tabela 1 - Módulo de finura e massa unitária dos agregados utilizados na produção dos blocos

Características	Areia natural	Pó de pedra	Pedrisco	AGRB
Módulo de finura	3,14	2,54	5,89	3,12
Massa unitária (kg/dm ³)	1,47	1,50	1,40	1,53

Figura 8 - Granulometria dos agregados utilizados na produção dos blocos

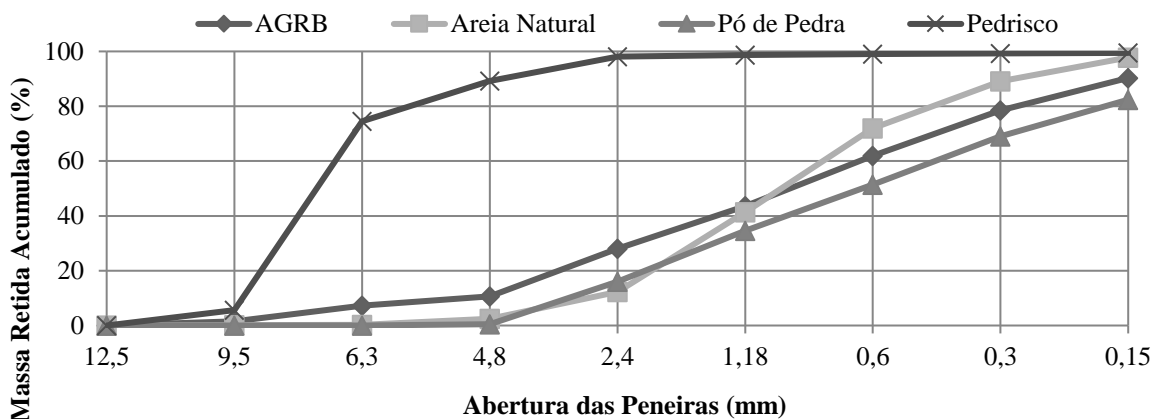


Tabela 2 - Composição dos concretos secos para fabricação dos blocos

Materiais	Composição em volume (Litros)			
	CREF	CAGRB	CAGNRB	CAGPRB
Areia natural	252	-	126	-
Pó de pedra	126	-	-	126
Pedrisco	63	63	63	63
AGRB	-	378	252	252
Água	28	36	36	36
Relação A/C (kg/kg)	0,37	0,48	0,48	0,48

O aumento de consumo de água nos concretos com agregados reciclados foi de 8 L, em relação ao consumo no CREF. Esse aumento foi necessário para garantir a desforma e evitar a quebra dos blocos. O aumento no volume de água dos concretos com AGRB, em relação ao CREF, pode ser justificado pela maior absorção de água dos agregados reciclados em relação aos agregados naturais (BUTTLER, 2007; POON; CHAN, 2007), o que também afeta a consistência das misturas (BOLDRIN *et al.*, 2006). Apesar de o concreto CAGRB ter maior teor de agregado reciclado que os demais concretos (CAGNRB e CAGPRB), a quantidade de água foi a mesma, sendo justificada pelo atendimento às exigências de compactação e de avaliação visual da qualidade dos blocos. A umidade dos concretos secos com agregados reciclados foi de 8,0% e do concreto de referência (CREF) 6,5%.

Produção e controle dos blocos

Foram produzidos blocos da família M-15, de acordo com a NBR 6136 (ABNT, 2007), com as dimensões: 39 cm de comprimento, 14 cm de largura e 19 cm de altura.

Inicialmente, os agregados eram colocados no misturador por uma esteira, (Figura 9a) homogeneizados, e em seguida eram adicionados o cimento e a água. Depois, na vibro-prensa, as formas dos blocos eram preenchidas, vibradas e prensadas (Figura 9b).

Após a moldagem, os blocos eram encaminhados para armários de aço e seguiam para a primeira cura, onde os elementos ficavam na sombra (Figura 10a). Para a segunda cura, os blocos eram removidos a um pátio descoberto (Figura 10b) e recebiam uma aspersão de água, em intervalos de 4 h, nas primeiras 48 h após a moldagem. Após 48 h,

os blocos eram paletizados até o transporte para o estoque.

O controle de qualidade foi realizado em lotes com 10.000 blocos, referentes à produção de concreto de, no máximo, cinco dias corridos, correspondendo a aproximadamente 80 m³ de concreto. A resistência característica à compressão requerida para os blocos (f_{bk}) era de no mínimo 3,0 MPa, de acordo com a norma NBR 6136 (ABNT, 2007) para blocos estruturais.

Resultados e análises

Avaliação dos concretos secos

As curvas de composição dos agregados de cada concreto, apresentadas na Tabela 2, são mostradas nas Figuras 11 e 12, pelo método de Fernandes (2011) e Pfeiffenberger (1985), respectivamente, e a determinação do módulo de finura sugerida por Wilk e Grant (1948) é apresentada na Tabela 3.

Figura 9 - Produção dos blocos



(a) Misturador dos agregados



(b) Esteira de transporte para prensagem

Figura 10 - Cura dos blocos



(a) Galpão



(b) Pátio

Figura 11 - Curva granulométrica da composição dos agregados - Método Fernandes (2011)

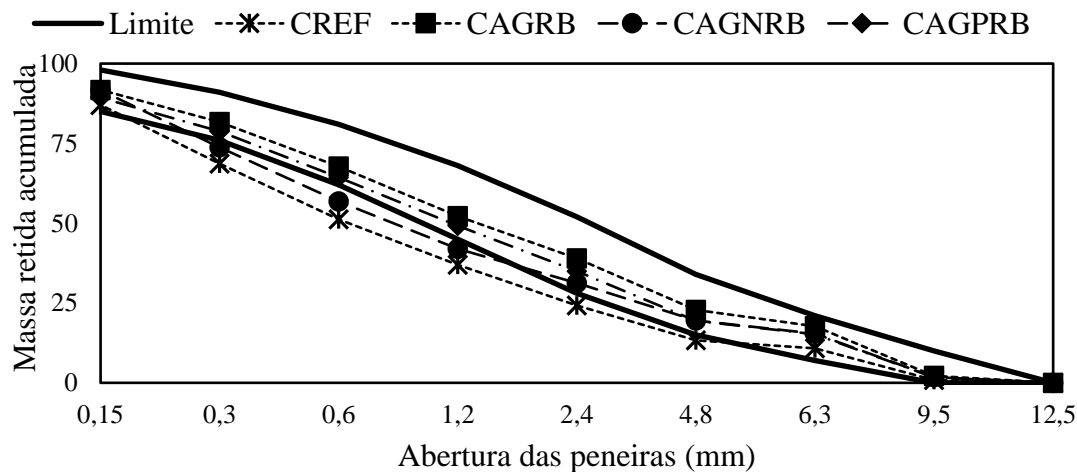
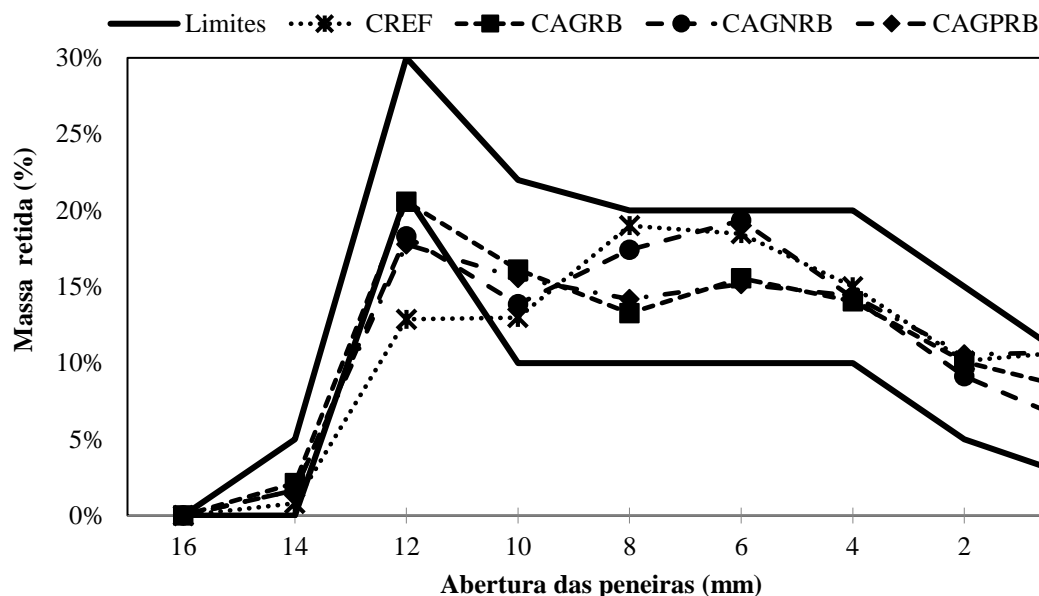


Figura 12 - Curva granulométrica da composição dos agregados - Método Pfeiffenberger (1985)



Verifica-se nas Figuras 11 e 12 que a composição de agregados utilizada no concreto CAGR B foi a que melhor se ajustou aos limites de dosagem dos métodos aplicados. As composições dos concretos CAGNR B e CAGPR B mostraram-se também mais próximas aos limites das curvas granulométricas propostas pelos métodos, em relação à do CREF, usados na fábrica, o que evidencia uma contribuição do AGR B para uma melhor distribuição granulométrica das misturas.

A presença do AGR B (Tabela 3) de granulometria superior a do pó de pedra elevou o módulo de finura (MF) das misturas. O CREF sem AGR B apresentou o menor MF (3,47), e o CAGR B o maior (3,74), com mais de 80% de agregado reciclado, substituindo em 100% a areia natural e o pó de pedra.

Resistência à compressão dos blocos

A Tabela 4 apresenta os valores de resistência à compressão média e característica de seis (6) blocos, obtidos dos lotes de produção dos blocos.

Verifica-se na Tabela 4 que as resistências características (f_{bk}) dos BRC são menores comparadas ao f_{bk} dos BREF. Essa diminuição pode estar relacionada a vários fatores, dentre eles o aumento da umidade que elevou a relação água/cimento (a/c) de 0,37, dos BREF, para 0,48, dos BRC, justificada pela necessidade de suprir a absorção de água do agregado reciclado e garantir a moldagem do BRC. Entre os BRC, a maior resistência foi a dos blocos com CAGR B (85,7% de AGR B), que substituiu em 100% o pó de pedra e a areia natural, confirmando a curva de melhor

ajuste das composições de agregados obtidas pelos métodos aplicados. A menor resistência foi dos blocos com CAGPR B (57%), substituindo em 100% a areia natural, o que pode ser justificado pela modificação causada na distribuição granulométrica da mistura, prejudicando o empacotamento e ao mesmo tempo a compactação dos blocos. Outro aspecto é a redução do teor de AGR B, nas composições dos concretos CAGNR B e CAGPR B, que proporcionaria menor absorção de água, e, conseqüentemente, diminuiria a quantidade de água requerida, porém essa foi mantida constante, o que pode ter contribuído para a diminuição da resistência.

Os blocos produzidos com CAGNR B e CAGR B apresentaram (f_{bk}) acima de 3,0 MPa, o que os habilitaria para serem utilizados para construção de paredes estruturais, desde que atendessem aos requisitos dimensionais e de absorção recomendados pela NBR 6136 (ABNT, 2007), em vigor no momento da produção e aplicação dos blocos na obra, objeto desse estudo. Já os blocos com CAGPR B apresentaram resistência à compressão característica com valor inferior a 2,0 MPa, mostrando que a substituição da areia natural pelo AGR B prejudicou o arranjo relativo entre os grãos, o que gerou um volume maior de vazios, caracterizado pela resistência inferior aos blocos dos concretos CAGNR B e CAGR B.

Os valores do desvio padrão dos BRC foram menores que o do BREF, principalmente do BRC com o CAGR B, que apresentou resistências à compressão próximas, caracterizando maior homogeneidade nos blocos produzidos.

A Figura 13 apresenta os resultados da resistência à compressão dos blocos BRC *versus* o módulo de finura das composições de agregados dos concretos. Analisando a resistência à compressão dos BRC produzidos com as composições contendo AGRB, percebe-se que essa propriedade aumenta à medida que o módulo de finura aumenta, confirmando o que foi relatado por Wilk e Grant (1948) e Prudêncio Junior, Oliveira e Frasson Junior (2007). Os resultados do CREF não são incluídos nessa análise, já que sua composição não contém AGRB.

Observa-se também que a substituição da areia natural pelo AGRB, apesar de causar uma redução de apenas 5,7 e 6,1% no módulo de finura, causou uma diminuição acentuada na resistência à compressão do bloco com CAGPRB, de 56,7 e

59,1%, evidenciando o efeito da areia natural no arranjo das partículas da mistura.

Considerações finais

Visando a otimização do uso de recursos naturais, o aproveitamento de resíduos de blocos de concreto pode ser considerado como mais uma iniciativa para reduzir a produção de resíduos e atingir a sustentabilidade nos canteiros de obras de construção civil.

No caso da obra estudada, o AGRB obtido por processos simples, como o destorroamento e peneiramento, produziu agregados com características granulométricas semelhantes as do pó de pedra, já utilizado na produção dos blocos de concreto.

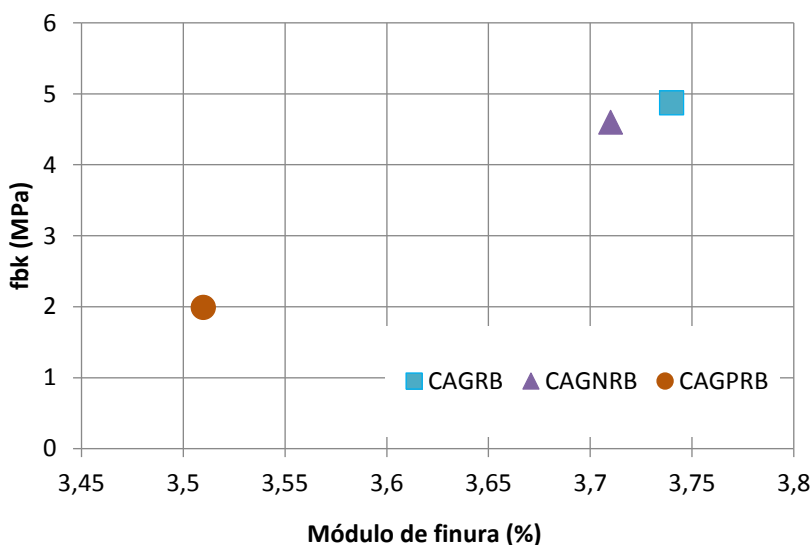
Tabela 3 - Módulo de finura das composições dos agregados dos concretos secos

Composição de agregados	Composição			
	CREF	CAGR B	CAGNR B	CAGPR B
Módulo de Finura (MF)	3,47	3,74	3,71	3,51

Tabela 4 - Valores de resistência à compressão dos blocos com diferentes composições

Resistência à compressão (MPa)	Composições			
	CREF	CAGR B	CAGNR B	CAGPR B
Média	5,77	4,87	4,60	1,99
Característica (f_{bk})	4,71	4,20	3,54	1,33
Desvio padrão	0,96	0,27	0,71	0,44

Figura 13 - Resistência à compressão dos blocos (f_{bk}) em função do módulo de finura das composições de agregados



As substituições dos agregados naturais pelos AGRB nas composições de concreto mostraram-se satisfatórias, do ponto de vista de resistência à compressão, no caso dos traços CAGR B e CAGNR B, considerando a norma brasileira em vigor na época do estudo. Já no caso do CAGPR B, houve perda acentuada da resistência, que pode ser atribuída à presença do AGRB e do pó de pedra, cujas partículas são mais irregulares do que a areia natural.

Os métodos de dosagens de Fernandes (2011) e Pfeiffenberger (1985) mostraram um resultado satisfatório, sendo possível utilizá-los para dosagens de concretos para blocos com AGRB.

A partir desse estudo, verificou-se a possibilidade de produzir blocos de concreto estruturais com agregados reciclados oriundos do processo de produção desses blocos e que atenderam os requisitos de resistência à compressão da NBR 6136 (ABNT, 2007), em vigor na execução da pesquisa.

A relevância desse artigo pode ser apreendida pela possibilidade de redução na geração dos resíduos, bem como em seu aproveitamento, o que diminui a utilização de matéria-prima.

Referências

- ALBUQUERQUE, S. M. **Estudo Para Uso de Agregado de Resíduos de Construção e Demolição em Blocos de Concreto Para Alvenaria**. São Paulo, 2005. 104 f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ALMEIDA, R. Os Efeitos Assimétricos da Crise no Setor de Construção Civil. **Brasil Debate**. 2 de fev de 2016. Disponível em: <<http://brasildebate.com.br/osefeitosassimetricosdacrisenoconjuntoconstruocivil/>>. Acesso em: 01 abr. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: blocos vazados de concreto simples para alvenaria: requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil: utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural: requisitos. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- BOLDRIN, A. J. *et al.* Estudo das Propriedades Mecânicas do Concreto Com Resíduos de Construção e Demolição Empregados na Produção de Blocos de Concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 48., Rio de Janeiro, 2006. **Anais...**São Paulo: IBRACON, 2006.
- BUTTLER, A. M. **Uso de Agregados Reciclados de Concreto em Blocos de Alvenaria Estrutural**. São Carlos, 2007. 535 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDO SOCIOECONÔMICOS. **Estudo Setorial da Construção – 2011**. São Paulo: DIEESE, 2011.
- FARIAS, R. S. *et al.* Análise de Propriedades de resistência à Compressão e Módulo de Elasticidade em Prismas de Blocos de Concreto Produzidos Com Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47., Recife, 2005. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2005.
- FERNANDES, I. D. **Blocos e Pavers - Produção e Controle de Qualidade**. 2. ed. Jaraguá do Sul: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda., 2011.
- GOMES, P. C. C.; ALMEIDA, L. H.; PEREIRA, F. A. Avaliação de Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil de Grandes Geradores. **Concreto & Construção**, São Paulo, v. 1, p. 80-88, 2012.
- GOOGLE MAPS. [Rota]. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/dir/Benedito+Bentes,+Maceió++AL/Maceió++Jardim+da+Saúde,+Maceió++AL/>>. Acesso em: 15 ago. 2016.
- LINTZ, R. C. C. *et al.* Estudo do Reaproveitamento De resíduos de Construção Empregados na Fabricação de Blocos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 166-181, abr. 2012.
- PATTO, A. L.; OLIVEIRA, M. J. E. Produção de Blocos de Concreto Com Agregado Reciclado e Minimização de Impactos Ambientais. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 7., São Paulo, 2006. **Anais...**São Paulo: IBRACON, 2006.

PFEIFFENBERGER, L. E. **Aggregate Graduations Used For Various Products Formed on the Block Machine**. BesserBlock: Alpena, 1985.

POON, C. *et al.* Properties of Concrete Blocks Prepared With Low Grade Recycled Aggregates. **Waste Management**, v. 29, n. 8, p. 2369-77, ago. 2009.

POON, C.S.; CHAN D. Paving Blocks Made With Recycled Concrete Aggregate and Crushed Clay Brick. **Construction and Building Materials**, v. 20, n. 5, p. 569-577, jun. 2006.

POON, C.S.; CHAN, D. Effects of Contaminants on the Properties of Concrete Paving Blocks Prepared With Recycled Concrete Aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 21, p. 164-175. 2007.

PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R.; OLIVEIRA, A. L.; FRASSON JUNIOR, A. **Metodologia de Dosagem Para Blocos de Concreto Empregados em Alvenaria Estrutural**. Caderno Técnico de Alvenaria Estrutural - CT 10 (Revista Prisma). Santa Catarina, 2007.

SILVA, A. J. Reciclagem de Resíduos Produzidos pela Indústria de Pré-Moldados em Concreto na Região de Chapecó – SC. **Revista Especialize On-line IPOG**, v. 1, n. 9, 2014.

SOUZA, J. G.; BAUER, E.; SPOSTO, R. M. Blocos de Concreto Produzidos Com Agregados Provenientes da Reciclagem de Resíduos Gerados Pela Construção ciVil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIADO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., Foz do Iguaçu, 2002. **Anais...** Paraná: ANTAC, 2002.

WILK, B.; GRANT, W. Proportioning Concrete for Product Plants. **Rock Products**, p. 172-176, fev. 1948.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, Capes, Fapeal, Finep, UFAL, Procad/Casadinho 2011, Universal 2012, Lema e à construtora Sauer pelo apoio ao desenvolvimento do estudo.

Paulo César Correia Gomes

Centro de Tecnologia, Laboratório de Estruturas e Materiais | Universidade Federal de Alagoas | Av. Lourival Melo Mota, Br 104 km 14, Campus A. C. Simões, Tabuleiro dos Martins | Maceió - AL - Brasil | CEP 57029-070 | Tel.: (82) 3214-1721 | E-mail: paulocorreia@gmail.com

Fábio Alencar Pereira

Centro de Tecnologia, Laboratório de Estruturas e Materiais | Universidade Federal de Alagoas | E-mail: fabioalpe@ig.com.br

Sílvia Beatriz Beger Uchôa

Centro de Tecnologia, Laboratório de Estruturas e Materiais | Universidade Federal de Alagoas | E-mail: sbuchoa@gmail.com

Fábio Cabral de Oliveira

Centro de Tecnologia, Laboratório de Estruturas e Materiais | Universidade Federal de Alagoas | E-mail: fabiocabral91@gmail.com

Lícia Holanda Almeida

Laboratório de Estruturas e Materiais | Universidade Federal de Alagoas | E-mail: licia_holanda@hotmail.com

Revista Ambiente Construído

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro
Porto Alegre - RS - Brasil
CEP 90035-190
Telefone: +55 (51) 3308-4084
Fax: +55 (51) 3308-4054
www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido
E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br