Brazilian Journal of Development

Análise de permeabilidade em painéis de vedação de concreto autoadensável leve

Permeability analysis of self-consolidating lightweight concrete panels

DOI:10.34117/bjdv6n9-671

Recebimento dos originais:08/08/2020
Aceitação para publicação:29/09/2020

Alexandre Nascimento de Lima
Doutorando em Materiais pela Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Endereço:Av. Lourival Melo Mota, S/N – Tabuleiro do Martins – Maceió/AL – CEP 57072-900
E-mail:alexnlima@gmail.com

Lucas Oliveira Correia Silva
Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas – UFAL
ENCIBRA - Estudos e Projetos de Engenharia
Endereço:Av. Lourival Melo Mota, S/N – Tabuleiro do Martins – Maceió/AL – CEP 57072-900
E-mail:lucas.oliveira@uconn.edu

Mateus da Silva Santos
Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Endereço:Av. Lourival Melo Mota, S/N – Tabuleiro do Martins – Maceió/AL – CEP 57072-900
E-mail:mateussilvasantos@outlook.com

Alysson de Lima Lessa
Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Endereço:Av. Lourival Melo Mota, S/N – Tabuleiro do Martins – Maceió/AL – CEP 57072-900
E-mail:alyssonlessa1@gmail.com

Paulo César Correia Gomes
Doutor. em Engenharia Civil pela Universitat Politècnica de Catalunya
Prof. Assc. CTEC da Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Endereço:Av. Lourival Melo Mota, S/N – Tabuleiro do Martins – Maceió/AL – CEP 57072-900
E-mail:pgomes@ctec.ufal.br

RESUMO
O artigo analisa o desempenho de painéis de vedação confeccionados em concreto autoadensável leve frente a penetração e absorção de água; assim como verifica a influência da orientação da moldagem nas propriedades de permeabilidade dos painéis. Para isso, produziu-se painéis na vertical e horizontal e realizou-se os ensaios de verificação da estanqueidade e da permeabilidade de sistemas de vedação interna e externa, preconizados pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013), e o ensaio do cachimbo, prescrito pelo Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC). Os painéis apresentaram ótimo desempenho quanto ao ensaio de estanqueidade. Embora tenham absorvido quantidade de água superior ao limite indicado para o ensaio de permeabilidade, este limite é

Brazilian Journal of Development

questionado. O resultado do ensaio do cachimbo indicou que as propriedades de permeabilidade são influenciadas pela orientação a qual o painel foi moldado.

Palavras-chave: Permeabilidade, Estanqueidade, Absorção de Água, Painéis de Vedação Vertical, Concreto Autoadensável Leve

ABSTRACT
This paper analyzes the performance of self-consolidating lightweight precast concrete panels against water absorption and penetration; as well as verifies the casting orientation influence on the permeability properties of the panels. For this reason, vertical and horizontal panels were produced. The watertightness test and permeability test were carried out, by recommendation of NBR 15575-4 (ABNT, 2013); besides the pipe test, prescribed by the Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC). The panels performed greatly in the watertightness test. Although they absorbed a high quantity of water, greater than the limit determined by the permeability test, this limit is questionable. The pipe test results indicated that the permeability properties are influenced by the orientation to which the panel was molded.

Keywords: Permeability, Watertightness, Water Absorption, Precast Concrete Panels, Self-Compacting Lightweight Concrete

1 INTRODUÇÃO

O sistema construtivo de elementos pré-moldados constitui uma alternativa para a necessidade de racionalização de processos e de maior produtividade no setor da construção civil. O emprego de painéis de vedação permite atender a demanda habitacional brasileira, pois promove a execução de obras de modo mais ágil, econômico e sustentável (CESAR E ROMAN, 2006). A aplicação de concreto autoadensável leve (CAAL) em elementos pré-moldados pode contribuir ainda para a redução do peso próprio da estrutura, para melhorias do isolamento térmico, acústico e do acabamento superficial (COPPOLA, 2000).

Atrelado à agilidade, um sistema construtivo eficiente deve propiciar edificações de qualidade, que apresentem condições adequadas de segurança estrutural, salubridade, capacidade funcional, conforto e confiabilidade das instalações (JANTSCH, 2015); de modo que o não atendimento aos requisitos mínimos de desempenho pode afetar diretamente a durabilidade e a vida útil das construções.

Segundo o CSTC NIT 210 *apud* Oliveira (2013), cerca de 50% das patologias verificadas em edifícios na Bélgica estão relacionadas à umidade e a reduzida capacidade de impermeabilização dos elementos de vedação. Assim, para restringir tais problemas, as vedações devem constituir barreiras estanques à água. No Brasil, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) é responsável pelo

estabelecimento de critérios de avaliação e análise do desempenho dos sistemas de vedações internas e externas quanto a ação de água.

Nesse âmbito, este trabalho analisa o desempenho de permeabilidade de painéis de vedação de CAAL, de acordo com os ensaios de penetração de água indicados pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013) e pelo método do cachimbo (CSTC, 1998). Além disso, verifica-se a influência da orientação da moldagem nas propriedades de permeabilidade. Empregou-se o CAAL devido a facilidade de preenchimento das formas, em razão da dispensa de vibração mecânica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a produção do concreto autoadensável leve (CAAL) foram empregados cimento Portland CP II-Z 32; agregados graúdo e miúdo de origem granítica e aditivos superplastificante de terceira geração (SP), incorporador de ar (IA) e modificador de viscosidade (MV).

A dosagem do CAAL baseou-se em métodos de dosagem previamente definido na literatura para concreto autoadensável e leve, realizados em trabalhos anteriores do grupo de pesquisa (SILVA, 2015; AMORIM, 2016). A tabela 1 mostra a composição utilizada para o concreto nos painéis, em volume, para 1 m^3 de concreto. Para os aditivos, é considerada o teor, em massa, em relação ao cimento. O aditivo foi acrescentado à mistura para a geração da espuma dentro do concreto.

Tabela 1 – Dados da composição do CAAL

a/c	Composição (dm³)				Aditivos		
	Cimento	Agreg. Miúdo	Agreg. Graúdo	Água	Sp (%) SP/C Sólidos	IA (%) IA/C Solução	MV (%) MV/C Solução
0,50	400,00	813,21	566,29	200,00	0,12	0,20	0,50

A tabela 2 aponta os resultados dos ensaios do CAAL no estado fresco, determinados de acordo com as normas NBR 15823-2 (ABNT, 2017b), NBR 15823-4 (ABNT, 2017c) e NBR 15823-5 (ABNT, 2017d).

Tabela 2 - Propriedades do CAAL no estado fresco

Ensaio	Norma	Unidade	Resultado	Classe da NBR 15823-1 (ABNT, 2017a)
Espalhamento	15823-2	mm	665	SF2
t_{500}	15823-2	s	0,7	VS1
Funil V	15823-5	s	5,2	VF1
Caixa L	15823-4	-	0,80	PL2

Brazilian Journal of Development

A tabela 3 mostra os resultados dos ensaios do CAAL no estado endurecido, determinados de acordo com as normas NBR 5739 (ABNT, 2018) NBR 9778 (ABNT, 2009) e NBR 7222 (ABNT, 2011.

Tabela 3 - Propriedades do CAAL no estado endurecido

Propriedade	Norma	unidade	Resultado
Absorção de água	NBR 9778	%	8,08
Índice de vazios	NBR 9778	%	13,21
Massa específica	NBR 9778	kg/m³	1.969
Resistência à compressão (28 dias)	NBR 5739	MPa	16,81
Resistência à tração (28 dias)	NBR 7222	MPa	2,08

3 MONTAGEM DOS PAINÉIS

As formas vertical e horizontal empregadas para a produção dos painéis foram confeccionadas em compensado naval plastificado, de modo a restringir a absorção de água pela forma. Os painéis foram produzidos nas dimensões de 135 cm x 100 cm x 10 cm (altura x largura x espessura). Para os painéis verticais (figura 1), a altura de queda do concreto foi limitada à 0,5 m, para assim manter a homogeneidade da mistura, dividindo-se a região frontal da forma vertical em 3 sessões, realizando seu preenchimento de forma independente.

Figura 1. Forma vertical

Tanto para a forma vertical quanto para a forma horizontal (figura 2), utilizou-se uma malha de aço de 4 mm de diâmetro como armação dos painéis, a fim de fornecer maior resistência aos esforços devido ao peso do concreto e movimentação dos painéis durante e após a etapa de

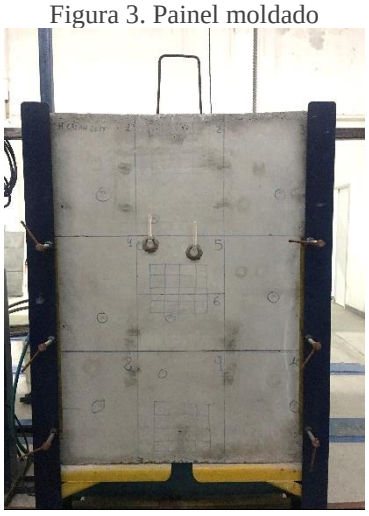
Brazilian Journal of Development

concretagem. As formas vertical e horizontal foram nomeadas, respectivamente, de CAAL-V e CAAL-H.

Figura 2. Forma horizontal

Após a desmoldagem, a face de ensaio de cada painel foi dividida em 3 seções – inferior, intermediária e superior (figura 3), para determinar, por meio dos ensaios, comparações entre as regiões.

Figura 3. Painel moldado



4 ENSAIO DE ESTANQUEIDADE

O ensaio de estanqueidade prescrito pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013), propõe a análise de desempenho de elementos de vedação quanto a penetração de água, por meio da simulação da incidência de chuvas. O método consiste no acoplamento do painel à uma câmara em formato prismático (figura 4), desenvolvida em trabalhos anteriores e que possibilitou o depósito de uma

Brazilian Journal of Development

patente; e aplicação de pressão pneumática em conjunto com aspersão de água (3,0 ± 0,3 $dm^3/min/m^2$), de forma a criar uma película homogênea e contínua em uma das faces do elemento, por 7 horas.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) delimita regiões no território brasileiro quanto as condições de exposição ao vento, utilizadas na determinação da pressão aplicada. Empregou-se pressão estática de 10 Pa, correspondente ao uso dos painéis no estado de Alagoas (Região I). Assim, deve-se determinar o nível de desempenho dos elementos por meio da comparação da área das manchas de umidade que, por ventura, venham a aparecer na face oposta à incidência de água, com os percentuais máximos descritos na norma.

Figura 4. Detalhe da câmara de estanqueidade (Patente: BR 20 2016 011862 5)

(

5 ENSAIO DE PERMEABILIDADE

O ensaio de verificação da permeabilidade à água de Sistemas de Vedações Verticais Interna e Externa (SVVIE) da norma NBR 15575-4 (ABNT, 2013) visa analisar o comportamento de elementos de vedação quanto a penetração de água, reproduzindo as condições de utilização em áreas molhadas. O procedimento consiste em submeter uma sessão do painel a presença de água, com pressão constante, por meio da fixação de uma câmara (figura 5), registrando o nível da bureta e repondo o volume de água infiltrada após: 1 h, 2 h, 4 h, 6 h e 24 h do início do ensaio. O limite de absorção de água em 24 horas, para uma área exposta de 34 cm x 16 cm (área da câmara), é de 3 cm^3. Realizou-se o ensaio nas regiões superior (definida pela presença do gancho para movimentação) e inferior dos painéis, a fim de avaliar a penetração de água em locais distintos.

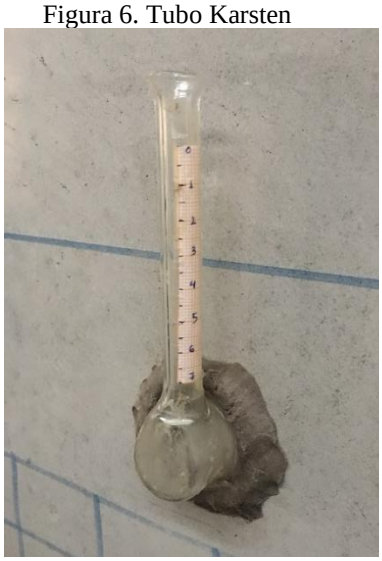
Brazilian Journal of Development

Figura 5. Câmara de permeabilidade

6 ENSAIO DO CACHIMBO

O ensaio do cachimbo é prescrito pelo *test method* n° II.4 (RILEM, 1980) da *The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures* (RILEM) e pelo NIT n.140 da *Centre Scientifique et Technique de la Construction* (CSTC, 1998). Este ensaio caracteriza-se por ser um método de maior facilidade de execução, complementar aos ensaios de capilaridade, permitindo a avaliação em laboratório ou *in loco* da quantidade de água que penetra no material. O procedimento consiste na fixação de tubos de vidro em forma de L (cachimbo) nos painéis (figura 6), por meio da aplicação de silicone e massa de calafetar; e na verificação do volume de água que percola nos corpos de prova, nos intervalos de 5, 10 e 15 minutos; repondo-se a água a cada verificação.

Figura 6. Tubo Karsten



Brazilian Journal of Development

Segundo o CSTC (1998) a pressão exercida sobre a superfície é equivalente à 98 mm de água, ou à uma pressão dinâmica de vento de aproximadamente 150 km/h. Os painéis foram divididos em três regiões, superior, central e inferior, onde foram aplicados seis cachimbos por região, a fim de se verificar a homogeneidade na distribuição dos poros dos painéis e a influência da orientação das formas nas propriedades analisadas.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 ENSAIO DE ESTANQUEIDADE

Como resultado do ensaio de estanqueidade na câmara, não foram observadas manchas de umidade na face oposta à de incidência de água em ambos os painéis. Assim, segundo a NBR 15575-4 (ABNT, 2013), tais peças alcançaram o nível S/I (Superior/Intermediário) de estanqueidade, apresentando ótimo desempenho frente à ação de chuvas.

7.2 ENSAIO DE PERMEABILIDADE

Os resultados dos ensaios de permeabilidade na câmara encontram-se na tabela 4, para os 2 tipos de painéis e para as 2 áreas (inferior e superior) de cada painel.

Tabela 4. Absorção de água pelo ensaio de permeabilidade

Tempo (h)	**Absorção (ml)**			
	CAAL-H		**CAAL-V**	
	Inferior	**Superior**	**Inferior**	**Superior**
1	69.7	48.6	63.6	20.3
2	85.4	64.7	85.7	36.3
4	106.0	82.4	110.7	53.8
6	123.0	97.8	131.7	76.0
24	148.0	122.8	156.7	101.0

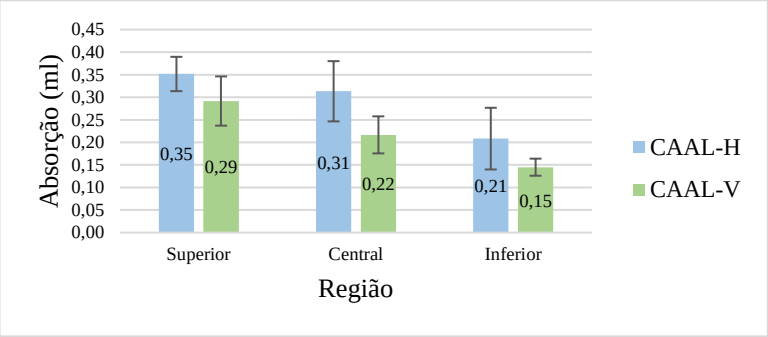
Com relação ao limite de absorção imposto pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013), que é de 3 ml (cm^3), ambos os painéis absorveram quantidade de água superior ao determinado, em ambas as regiões. Apesar da ausência de revestimento e dos elevados índice de vazios e absorção de água do concreto empregado, em razão da utilização de aditivo incorporador de ar, com o objetivo de propiciar a característica de leveza à mistura; os valores observados neste estudo e na literatura divergem consideravelmente do imposto pela norma. Dessa forma, assim como nos estudos de Hattge (2004), Rodrigues (2010) e Giorgi (2016), que realizaram ensaios em alvenaria de blocos cerâmicos, de concreto e de solo-cimento, com e sem revestimento, observou-se a inviabilidade do cumprimento do limite estabelecido pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013), considerando a possibilidade de um equívoco na especificação da norma.

Brazilian Journal of Development

7.3 ENSAIO DE CACHIMBO

Os valores médios de absorção de água do ensaio do cachimbo são apresentados na figura 7, para os 2 tipos de formas e nas 3 regiões de estudo (superior, médio e superior).

Figura 7. Ensaio do Cachimbo - Absorção de água por região



De modo geral, o painel CAAL-V absorveu menor quantidade de água; no entanto, considerando a variação de absorção conforme o local selecionado para aplicação do cachimbo, e que o método empregado depende da capacidade de leitura do avaliador (JANTSCH, 2015), este painel apresentou maior diferença de absorção entre as regiões estudadas. A menor homogeneidade quanto a penetração de água e distribuição dos poros do CAAL-V pode estar relacionada com o adensamento devido ao peso das camadas sobrepostas de concreto, de modo que a camada inferior tende a tornar-se mais compacta; assim como o processo mais longo de moldagem provoca perda de fluidez da mistura, propiciando maior ocorrência de poros na região superior do painel. De modo inverso, a maior agilidade de preenchimento da forma horizontal (CAAL-H), proporcionam melhor distribuição do concreto e consequentemente dos poros deste elemento.

8 CONCLUSÃO

A análise de desempenho dos sistemas construtivos frente à ação da água é fundamental para a verificação das condições funcionais das peças. Os sistemas de vedação devem ser estanques à água a fim de restringir a ocorrência de patologias e de estender a vida útil das edificações.

Por meio dos resultados dos ensaios, constatou-se que os painéis, vertical e horizontal, apresentaram ótimo desempenho quanto a simulação da ocorrência de chuvas, obtendo nível de desempenho superior/intermediário no ensaio de estanqueidade. Com relação ao ensaio de permeabilidade, assim como afirmaram outros autores, considerou-se a possibilidade de haver incoerência no limite de absorção definido, visto que os resultados encontrados neste trabalho e na literatura divergem de forma significativa do prescrito pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

O resultado do ensaio do cachimbo indicou maior diferença de absorção entre as camadas do CAAL-V, tendo em vista a distribuição menos regular dos poros do painel, sugerindo que a orientação da moldagem influencia nas propriedades de permeabilidade. Dessa forma, com exceção do ensaio de verificação da permeabilidade, considerou-se satisfatórios os resultados dos ensaios, de modo a considerar plausível a aplicação dos painéis como elementos de vedação, tendo em vista as propriedades apresentadas, bem como a gama de benefícios atrelados ao emprego desse sistema construtivo em conjunto com as tecnologias de autoadensibilidade e leveza do concreto utilizado.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, CAPES, FAPEAL, UFAL, LEMA, Grupo de Pesquisa MECOEFICON e aos PROJETOS: Casadinho/PROCAD 2011 e Universal 2012, pelo apoio ao desenvolvimento do estudo.

Brazilian Journal of Development

REFERÊNCIAS

AMORIM, T. F. de. Propriedades de durabilidade de concreto autoadensável leve com agregado reciclado. Maceió: UFAL, 2016. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 15575-4: Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Parte 4: sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15823-1: Concreto autoadensável – Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco. Rio de Janeiro, 2017a.

_____. NBR 15823-2: Concreto autoadensável – Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual – Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017b.

_____. NBR 15823-4: Concreto autoadensável – Parte 4: Determinação da habilidade passante – Métodos da caixa L e da caixa U. Rio de Janeiro, 2017c.

_____. NBR 15823-4: Concreto autoadensável – Parte 5: Determinação da viscosidade – Método do funil V. Rio de Janeiro, 2017d.

CÉSAR, C. G.; ROMAN, H. R. Capítulo 5. In: Desenvolvimento de um processo construtivo racionalizado: painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos. Coletânea Habitare – vol. 6 - Inovação Tecnológica na Construção Habitacional. Porto Alegre, ANTAC, 2006.

COPPOLA, L. Self-compacting concrete. *In*: Concrete Technology. P. 42-47, 2000;

CSTC, Centre Scientifique et Technique de la Construction. Efficacite et durabilite des hydrofuges de surface. Rapport de fin de biennale. Bruxelas, 1998.

GIORGI, P. Avaliação de desempenho de sistema de vedação vertical de bloco de solo-cimento conforme NBR 15575 referente à habitalidade e sustentabilidade. Santa Maria: UFSM, 2016. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

HATTGE, A. F. Estudo comparativo sobre a permeabilidade das alvenarias em blocos cerâmicos e alvenarias em blocos de concreto. Porto Alegre: UFGRS, 2004. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

JANTSCH, A. C. A. Análise do desempenho de argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes. Santa Maria: UFSM, 2015. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

OLIVEIRA, J. M. P. Estudo da durabilidade e eficácia da ação de repelentes de água em fachadas de edifícios recentes. Porto: Universidade PORTO, 2013. 174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).

RILEM TC 25-PEM. Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods. Materials and Structures, v. 13, n. 75, p. 175 – 253, 1980.

RODRIGUES, A. H. Estanqueidade de alvenaria revestida com diferentes argamassas e acabamentos: Aplicação da NBR 15575-4/2008. Porto Alegre: UFRGS, 2010. 75f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil).

SILVA, N. V. Obtenção de concreto autoadensável leve com agregado reciclado. Maceió: UFAL, 2015. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil).