

CONCRETO AUTOADENSÁVEL DE BAIXA DENSIDADE PARA APLICAÇÃO EM PAINÉIS DE VEDAÇÃO PRÉ-FABRICADOS

LOW DENSITY SELF COMPACTING CONCRETE: FOR APPLICATION IN PRE-FABRICATED PANELS

Amanda Silva Souza¹
Carlos Mavíael de Carvalho²

RESUMO

Os painéis de vedação pré-fabricados de concreto são uma alternativa à alvenaria tradicional, pois apresentam redução de custos com mão de obra, aumento de velocidade de produção e reduzida geração de entulho. O concreto aplicado nos painéis é de suma importância para alcançar o desempenho necessário, assim, este trabalho apresenta o concreto leve autoadensável (CLAA) como alternativa ao concreto autoadensável convencional (CAA), aquele agrega construções redução do peso próprio da estrutura, além de alta eficiência para isolamento térmico. Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa foi elaborar um painel de vedação pré-fabricado com concreto autoadensável de baixa densidade. Desenvolveu-se um traço de CAA para utilizar como referência e a partir deste traço foi elaborada a dosagem do CLAA com substituição do agregado graúdo convencional por argila expandida. Ambos os traços apresentaram reologia adequada sem indicar os fenômenos de exsudação e segregação. Na condição endurecida, o CLAA obteve resistência à compressão aos 28 dias de idade, média, de 23,29 MPa, uma redução de 30,30% quando em comparação ao CAA_{REF} . Apesar da redução de resistência, o concreto leve produzido alcançou o limite de resistência determinado por norma. Já em relação à massa específica seca, houve uma redução média de 32,30% em comparação ao CAA_{REF} , resultando um valor, médio, de 1.602,69 kg/m³ o que atesta a baixa densidade do concreto produzido. Constatou-se que o CLAA é uma alternativa notável para substituir o concreto autoadensável convencional em obras especiais, tais como painéis de vedação pré-fabricados.

Palavras-chave: Sistema construtivo. Concreto autoadensável. Argila expandida.

¹ Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). E-mail: amandasouza.eng@hotmail.com

² Doutorando em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Docente do Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ). E-mail: carlos.mavíael@unipe.br

ABSTRACT

Pre-fabricated concrete panels are an alternative to traditional masonry, as it reduces labor costs, increases production speed and reduces the generation of debris. The concrete applied to the panels is of paramount importance in order to achieve the required performance, so this work presents the self-supporting lightweight concrete (CLAA) as an alternative to conventional self-compacting concrete (CAA), which aggregates the structure's own weight reduction constructions, as well as high efficiency for thermal insulation. In this context, the objective of this research was to elaborate a pre-fabricated self-compacting low-density concrete panel. A trace of CAA was developed to be used as reference and from this trait the CLAA dosage was elaborated with replacement of the conventional aggregate by expanded clay. Both traces presented adequate rheology without indicating exudation and segregation phenomena. In the hardened condition, the CLAA obtained compressive strength at 28 days of age, of 23.29 MPa, a reduction of 30.30% when compared to CAA_{REF}. Despite the reduction of resistance, the lightweight concrete produced reached the limit of resistance determined by norm. In relation to the specific dry mass, there was an average reduction of 32.30% in comparison with the CAA_{REF}, resulting in an average value of 1,602.69 kg / m³, which verifies the low density of the concrete produced. It has been found that CLAA is a remarkable alternative to replace conventional concrete in special works, such as prefabricated panels.

Keywords: Construction system. Self-concrete. Expanded clay.

INTRODUÇÃO

Os elementos pré-fabricados são um sistema construtivo vantajoso, em razão da diversidade das peças e a facilidade de montagem contribuir para a produtividade, segurança e qualidade das construções (SERRA *et al.*, 2005).

O concreto leve autoadensável (CLAA) é uma tecnologia relevante para aplicação em painéis pré-fabricados, pois atende à demanda do cenário habitacional brasileiro que buscam por construções rápidas, econômicas, sustentáveis e que cumpram as normas de desempenho. O CLAA agrega às construções redução do peso próprio da estrutura e, conseqüentemente, das cargas da fundação, alta eficiência para isolamento térmico, subtração da fase de vibração, qualidade no acabamento superficial, agilidade no processo de produção e redução de custos (REPETTE, 2011; ASSUNÇÃO, 2016).

A união do sistema construtivo de pré-fabricados com a tecnologia dos concretos autoadensáveis de baixa densidade beneficia tanto as habitações de interesse social, que vem crescendo diante das iniciativas do governo, como as edificações de múltiplos pavimentos.

Este estudo tem a intenção de colaborar para a compreensão das características do concreto autoadensável com substituição total do agregado natural graúdo por argila expandida nacional e propor este concreto especial como alternativa para aplicação em elementos pré-fabricados com função de vedação vertical nas construções brasileiras.

Neste âmbito, este estudo propõe-se a elaboração de dois painéis pré-fabricados de concreto autoadensável, sendo o primeiro com massa específica normal e o segundo de baixa densidade. Os concretos produzidos deverão obter resultados satisfatórios nos ensaios para aceitação da autoadensibilidade e deverão alcançar os limites de resistência mecânica preconizados por normas. Sendo conhecidas e divulgadas as propriedades do CLAA na fabricação de pré-fabricados seu uso será uma questão de interesse e oportunidade do mercado.

PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO

É cada vez mais crescente a utilização de painéis de concreto pré-fabricados, visto que o sistema se torna vantajoso devido à alta produtividade, diminuição de etapas construtivas do revestimento, limpeza do canteiro de obras, controle de qualidade, redução dos desperdícios, dentre outras. O método industrializado também simplifica a execução das instalações elétricas, que já vem embutida nas paredes pré-fabricadas (SERRA *et al.*, 2005).

Para alcançar as vantagens impostas pela implantação do sistema construtivo de paredes de concreto é necessário um bom planejamento e um controle rigoroso dos serviços, visto que a necessidade de retrabalhos pode gerar altos custos. O sistema de pré-fabricados está ligado não somente aos processos de fabricação, mas também aos processos de transporte, de montagem e aos métodos de inspeção e controle (SERRA *et al.*, 2005; NEMER, 2016). O concreto leve autoadensável (CLAA), união em um único produto das conhecidas qualidades do concreto leve (CLE) com a tecnologia do concreto autoadensável (CAA), é uma alternativa inovadora para aplicação nesse sistema construtivo.

CONCRETO LEVE ESTRUTURAL (CLE)

Os concretos leves estruturais são oriundos da substituição total ou fracionária dos agregados convencionais por agregados leves, estes caracterizados pelo valor da massa específica aparente abaixo de $2\,000\text{ kg/m}^3$ (SCHAT, 2008; ROSSIGNOLO, 2003; ROSSIGNOLO, 2009). Segundo Mehta e Monteiro (2008), o concreto leve apresenta, aproximadamente, dois terços da massa específica do concreto com agregado típico.

A norma ACI 213R-87 (1999) propõem, ainda, que além de seguir o limite preconizado de massa específica, é necessário, ainda, que o CLE obtenha resistência característica à compressão superior a $17,2\text{ MPa}$.

A caracterização dos concretos com agregados leves ocorre, não somente pela redução da massa específica, outras mudanças significativas notadas nas propriedades desses concretos são a resistência mecânica, a trabalhabilidade, o módulo de deformação, a retração e a fluência, além da modificação na condutibilidade térmica (ROSSIGNOLO, 2003).

ARGILA EXPANDIDA

As argilas expandidas são consideradas os agregados mais utilizados no Brasil e são obtidas pelo processo de forno rotativo. Considera-se o diâmetro desses agregados inversamente proporcional à massa específica. Em grande parte dos sistemas de fabricação apresentam diâmetro entre 1 mm e 25 mm, mas para aplicação em concretos, não é recomendado o agregado leve com dimensão superior a 19 mm (TUTIKIAN; DAL MOLIN, 2015). A Figura 1 ilustra tipos de argila que são produzidos no Brasil.

Figura 1- Argilas expandidas nacionais.



a. Cinexpan 3222

b. Cinexpan 1506

c. Cinexpan 0500

Fonte: A autora.

A diminuição da resistência mecânica é causada devido à alta porosidade da argila expandida. No entanto, a textura áspera da superfície do agregado leve, ocasiona uma boa aderência entre este e a pasta hidratada de cimento que a envolve, o que resulta em um intertravamento mecânico entre o agregado e a pasta. A água absorvida pelo agregado leve, na hora da mistura, aperfeiçoa essa aderência e, após um certo tempo, é disponibilizada para a hidratação do cimento anidro. Uma parcela desta hidratação acontece ao redor da região da interface agregado-matriz, fornecendo maior resistência à aderência entre o agregado e a matriz (MORAVIA *et al.*, 2006).

CONCRETO AUTOADENSÁVEL (CAA)

Para Mehta e Monteiro (2008) e Repette (2011) o concreto autoadensável é um fluido estável, capaz de preencher por completo uma forma com apenas o seu peso próprio, livre de vazios (sem espaços não preenchidos no interior da fôrma), que possui habilidade de passagem por restrições e resistência a segregação e exsudação.

Para a confecção do CAA podem ser utilizados os mesmos componentes que são utilizados no concreto convencional (CCV) com o acréscimo nas adições de materiais finos, quimicamente ativos ou não, e superplastificantes. As adições minerais são acrescentadas ao concreto com o objetivo de diminuição de custos e aperfeiçoamento na trabalhabilidade e fluidez do CAA além de melhoras em relação à durabilidade, resistência e permeabilidade, devido ao refinamento dos poros. A sílica ativa é considerada a adição mineral de maior notoriedade (GOMES e BARROS, 2009; REPETTE, 2011).

Já o aditivo superplastificante é essencial nos concretos autoadensáveis, visto que é o principal elemento responsável pela fluidez da mistura. (GOMES e BARROS, 2009).

As principais classificações do CAA se dão quanto à fluidez, viscosidade aparente e habilidade passante. Para a avaliação dessas características e comprovação da autoadensabilidade do concreto fabricado, foram propostos métodos de ensaios, dos quais alguns já foram normatizados. Para a aceitação do CAA é necessário avaliar os resultados dos ensaios e comparar com os limites prescritos pela norma ABNT NBR 15823-1 (2010).

PROGRAMA EXPERIMENTAL

As principais etapas experimentais envolvidas no presente estudo foram: (i) caracterização dos materiais; (ii) estudo da dosagem; (iii) produção dos concretos e (iv) ensaios de autoadensabilidade, de resistência à compressão e determinação da massa específica do concreto.

Caracterização dos materiais

AGLOMERANTE

O cimento Portland utilizado na produção dos concretos autoadensáveis com e sem argila expandida foi o cimento de alta resistência inicial CP V-ARI fabricado pela Brennand cimentos.

AGREGADOS

Foram utilizados como agregado miúdo para a confecção do CAA_{REF} uma mistura de areia fina de rio e pó de pedra e como agregado graúdo brita 0 ($D_{máx} = 9,5$ mm).

Já na elaboração do CLAA foi utilizada uma mistura do pó (passante na peneira # 2,0 mm) da argila tipo 0500 e areia fina como agregado miúdo. O agregado leve utilizado na confecção do CLAA foi a argila expandida tipo 1506 da empresa CINEXPAN.

Também foram usados na elaboração dos dois tipos de concretos o aditivo superplastificante Glenium 51, sílica ativa e água proveniente do abastecimento da cidade de João Pessoa-PB.

A fim de caracterizar os materiais, foram feitos ensaios de granulometria para todos os agregados, conforme a NBR NM 248/2003. A determinação da massa específica dos agregados miúdos foi feita conforme a NBR NM 52:2009, para o agregado graúdo a massa específica foi determinada conforme a NBR NM 53:2009 e a massa específica do cimento foi determinada de acordo com a NBR NM 23:2001. A massa unitária no estado solto foi determinada conforme a NBR NM 45/2006. A Tabela 1 apresenta a caracterização dos materiais utilizados nesta pesquisa e a Tabela 2 apresenta a caracterização dos agregados leves.

Tabela 1- Ensaios de caracterização dos materiais

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO % retida % acumulada		AREIA		PÓ DE PEDRA		BRITA 0		
		% retida	% acumulada	% retida	% acumulada			
COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (% retida e acumulada) (ABNT NM 248:2003)	Abertura das peneiras	9,5 mm	0	0	0	0	10,54	10,54
		4,8 mm	0	0	0,78	0,78	66,46	77
		2,4 mm	0	0	34,23	35,01	20,2	97,2
		1,2 mm	0,24	0,24	16,49	51,5	0,8	98
		0,6 mm	22,87	23,11	10,64	62,14	0,5	98,5
		0,3 mm	46,4	69,51	18,24	80,38	0	98,5
		0,15 mm	21,07	90,58	15,88	96,26	0	98,5
		Fundo	9,42	100	3,74	100	1,5	100
Dimensão máxima característica (mm)		1,2		4,8		9,5		
Módulo de finura		1,83		3,26		5,78		
Massa específica seca (kg/dm ³) (ABNT NM 52: 2009)		2,6		2,75		2,79		
Massa unitária, solta (kg/dm ³) (ABNT NM 45: 2006)		1,25		1,69		1,64		

Fonte: A autora.

Tabela 2- Ensaio de caracterização dos agregados leves (CINEXPAN 1506 e pó de argila)

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO % retida % acumulada		CINEXPAN 1506		PÓ DE ARGILA		
		% retida	% acumulada			
COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (% retida e acumulada) (ABNT NM 248:2003)	Abertura das peneiras	9,5 mm	76,31	76,31	0	0,00
		4,8 mm	23,59	99,9	0	0,00
		2,4 mm	0,1	100	15	15,00
		1,2 mm	0	100	27	42,00
		0,6 mm	0	100	29	71,00
		0,3 mm	0	100	19	90,00
		0,15 mm	0	100	7	97,00
		Fundo	0	100	3,00	100,00
Dimensão máxima característica (mm)		9,5		2,4		
Módulo de finura		6,76		3,10		
Massa específica seca (kg/dm ³) (ABNT NM 52: 2009)		1,11		1,52		
Massa unitária, solta (kg/dm ³) (ABNT NM 45: 2006)		0,62		0,85		

Fonte: A autora.

Estudo da dosagem

O concreto autoadensável de referência) foi dosado a partir de ajustes feitos ao traço desenvolvido por Pereira *et al.* (2016). A dosagem para concreto autoadensável foi realizada com a finalidade de se obter uma mistura fluida, resistente à segregação e exsudação e com parecer favorável aos ensaios de autoadensabilidade preconizados pela ABNT NBR 15823-1 (2010).

Com a validação do foram feitos testes para dosagem do concreto leve autoadensável (CLAA), os quais utilizaram cimento Portland, agregados leves, areia, superplastificante e sílica ativa com a finalidade de se obter um concreto com:

- I. Baixa massa específica, valores $< 2\ 000\ \text{kg/m}^3$, segundo a ACI 213R-87 (1999), para caracterizar concreto leve;
- II. Resistência mecânica acima de 17,2 MPa, segundo a ACI 213R-87 (1999), para caracterizar concreto leve estrutural; e
- III. Aceitação como concreto autoadensável.

A Tabela 3 apresenta a composição dos traços desenvolvidos nesta pesquisa. Após várias tentativas que resultaram em misturas com segregação e exsudação, baixa fluidez e acabamento insatisfatório, foram validados 02 traços, sendo 1 para o e o outro para o CLAA com substituição total do agregado graúdo por argila expandida nacional tipo 1506 e com a utilização de pó de argila como agregado miúdo em mistura com a areia. O consumo de cimento e a relação água/cimento variaram entre os dois traços.

Cada traço foi repetido 03 vezes, sendo que nas 2 primeiras vezes foram moldados corpos de provas e na 3ª vez foi moldado um painel de concreto.

Tabela 3- Dosagem dos concretos

COMPOSIÇÃO DOS TRAÇOS UTILIZADOS	CONCRETO AUTOADENSÁVEL DE REFERÊNCIA (CAAREF)	CONCRETO LEVE AUTOADENSÁVEL (CLAA)
	Consumo de cimento (kg/m³) 343,18	Consumo de cimento (kg/m³) 340,90
	Traço unitário (kg)	Traço unitário (kg)
Cimento Portland- CPV ARI	1,000	1,000
Areia (natural, quartzosa)	2,000	1,700
Pó de pedra	1,570	0,000
Pedra britada, basalto - Brita 0	1,900	0,000
Argila expandida CINEXPAN 1506	0,000	0,600
Pó de argila	0,000	0,880
Silica ativa	0,000	0,050
Água	0,484	0,500
Aditivo superplastificante (Glenium 51)	0,033	0,060

Fonte: A autora.

Produção dos concretos

A caracterização dos concretos no estado fresco e endurecido foi feita tendo como referência os procedimentos propostos pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os principais ensaios são relacionados na Tabela 4.

Tabela 4- Ensaios para caracterização das propriedades dos concretos (CAAREF e CLAA)

ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	
CONCRETO FRESCO	
Espalhamento e viscosidade plástica aparente (T500) - fluxo livre	NBR 15823-2 (2010) - Concreto autoadensável: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - Método do cone de Abrams.
Habilidade passante - fluxo confinado	NBR 15823-4 (2010) - Concreto autoadensável: Determinação da habilidade passante - Método da caixa L.
Viscosidade plástica aparente - fluxo confinado	NBR 15823-5 (2010) - Concreto autoadensável: Determinação da viscosidade - Método do funil V.
CONCRETO ENDURECIDO	
Massa específica seca	NBR 9778 (2015) - Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica.
Resistência à compressão	NBR 5739 (2007) - Concreto: Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos.

Fonte: A autora.

CONCRETO AUTOADENSÁVEL DE REFERÊNCIA (CAAREF)

Tendo definidas as quantidades de materiais para o traço, ocorreu a separação e pesagem para a fabricação do concreto. As misturas foram feitas em betoneira de eixo inclinado, previamente umedecida colocando-se todo o agregado graúdo, os agregados

miúdos, cimento e $\frac{2}{3}$ da água de amassamento, proveniente da rede pública de esgoto. Em seguida houve a mistura dos materiais na betoneira, por aproximadamente 5 minutos. Logo após foi adicionado o aditivo superplastificante diluído ao restante de água, ocorrendo uma nova mistura por mais 5 minutos. Avaliada como concreto autoadensável, a mistura foi moldada, conforme ABNT NBR 5738 (2015) em corpos-de-prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, além do painel de concreto com 50 cm de largura x 70 cm de altura x 12 cm de espessura.

CONCRETO LEVE AUTOADENSÁVEL (CLAA)

A produção ocorreu da mesma maneira do CAAREF.

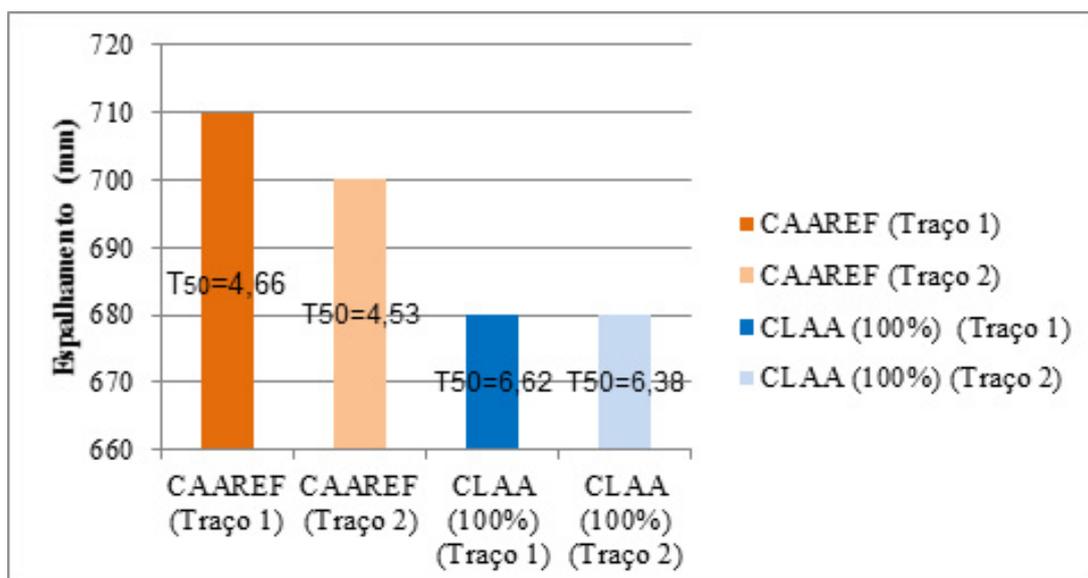
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio no estado fresco

DETERMINAÇÃO DO ESPALHAMENTO (SLUMP FLOW TEST) – MÉTODO DO CÔNE DE ABRAMS

Os valores da determinação do espalhamento pelo método do cone de Abrams do concreto autoadensável de referência (CAAREF) e o concreto leve autoadensável (CLAA) encontram-se na Figura 2.

Figura 2- Espalhamento CAAREF e CLAA

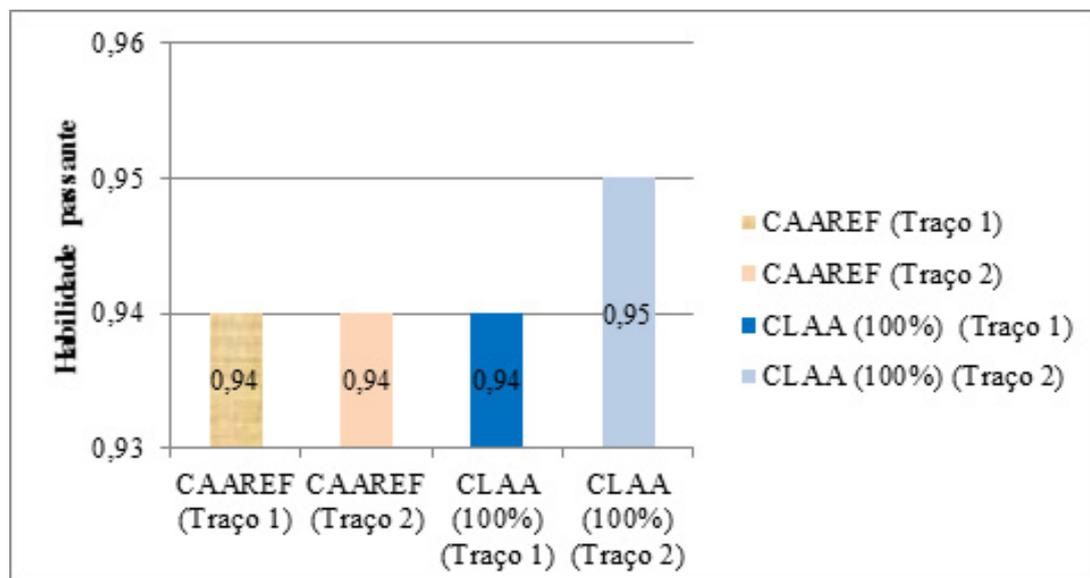


Os traços desenvolvidos nesta pesquisa atingiram espalhamento maior a 550 mm, requisito para um concreto ser classificado como autoadensável. Os concretos produzidos ficaram dentro da faixa de *slump flow* SF2 da ABNT NBR 15823:2010. Já para a viscosidade plástica aparente *t500* os concretos ficaram na faixa VS2 (> 2 s). Para todas as misturas foram verificadas coesão e fluidez satisfatórias além de não terem sido observados segregação e exsudação.

DETERMINAÇÃO HABILIDADE PASSANTE – MÉTODO DA CAIXA “L”

Os valores da determinação da habilidade passante por meio do método da caixa “L” do concreto autoadensável de referência (CAAREF) e o concreto leve autoadensável (CLAA) encontram-se na Figura 3.

Figura 3- Habilidade passante CAAREF e CLAA



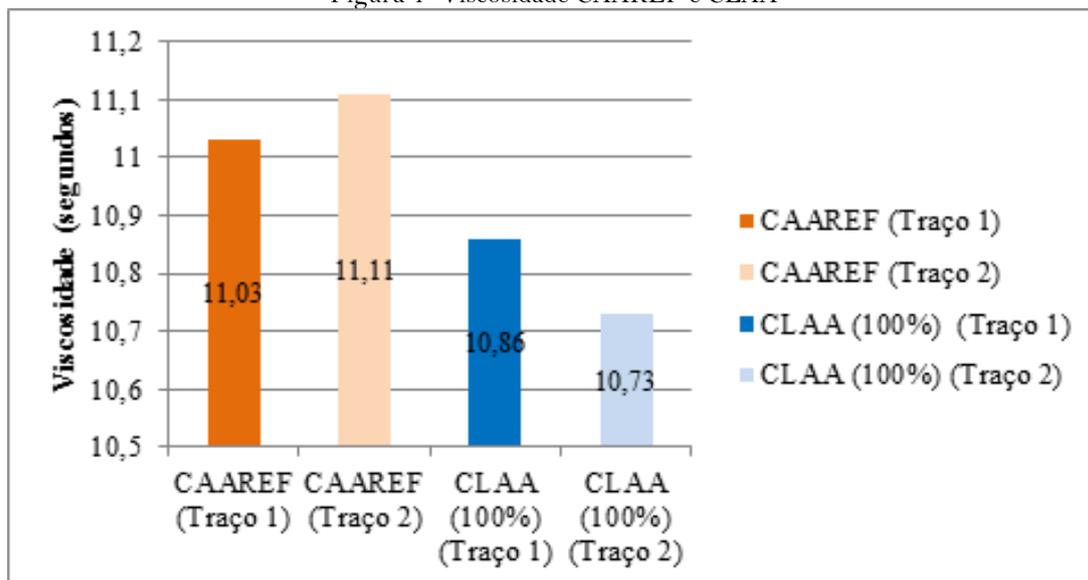
Fonte: A autora.

A partir dos resultados apresentados na Figura 3, observou-se que todos os traços apresentaram valores maiores que 0,80, valor mínimo exigido pela ABNT NBR 15823-4 (2010), para caracterizar os concretos como autoadensáveis.

DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE – MÉTODO DO FUNIL “V”

Os valores da determinação da viscosidade por meio do método do funil “V” do concreto autoadensável de referência (CAAREF) e o concreto leve autoadensável (CLAA) encontram-se na Figura 4.

Figura 4- Viscosidade CAAREF e CLAA



Fonte: A autora.

Através dos resultados apresentados na Figura 4 notou-se que todos os traços estão em conformidade com a ABNT NBR 15823-5 (2010). Os concretos ficaram na faixa VF2, entre 9 s e 25 s. Percebeu-se também que o concreto leve levou vantagem, possuindo um menor tempo de escoamento devido ao formato esférico que ocasiona sua maior fluidez, assim passam com maior facilidade pelos obstáculos.

ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MASSA ESPECÍFICA

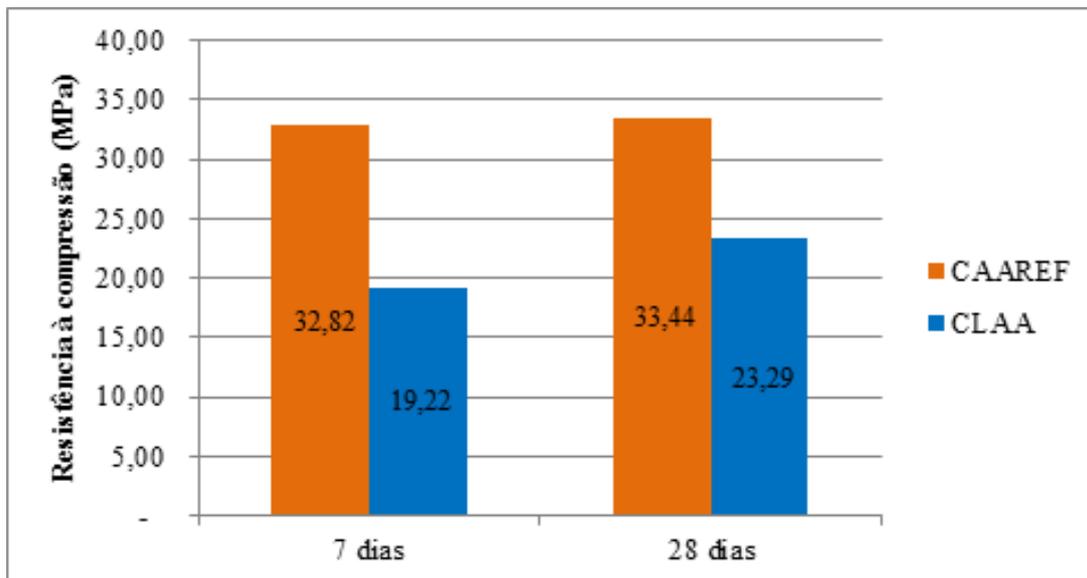
Para o ensaio de resistência à compressão dos concretos elaborados foram seguidas as orientações da norma ABNT NBR 5739 (2007). Foram utilizados corpos-de-prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro x 20 cm de altura, os quais foram rompidos aos 7 e 28 dias. Para cada traço e idade foram moldados 4 corpos-de-prova.

A massa específica do concreto, no estado endurecido, foi realizada segundo as prescrições da norma ABNT NBR 9778:2015 para os concretos com idade de 28 dias. Para cada traço foram moldados 4 corpos-de-prova em cilíndricos de 10 cm de diâmetro x 20 cm de altura.

a) Resistência à compressão

A Figura 5 ilustra a comparação entre os resultados de resistência à compressão do CAAREF e do CLAA, aos 7 e 28 dias. Os resultados são a média dos valores obtidos, entre todos os corpos-de-prova moldados, de cada ensaio.

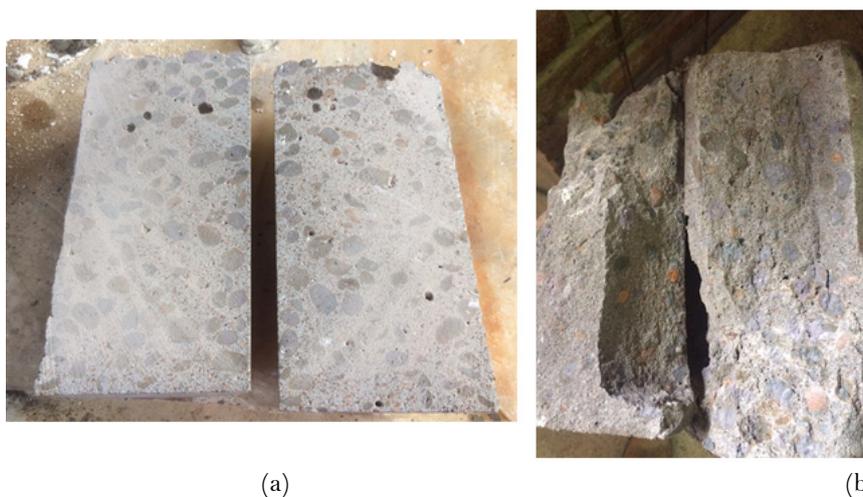
Figura 5- Comparação entre a média dos resultados da resistência à compressão do CAAREF e CLAA



Fonte: A autora.

De acordo com a Figura 5 o concreto produzido com agregado leve apresentou redução da resistência, média, de 41,40% aos 7 dias e de 30,30% aos 28 dias de idade. Apesar da diminuição da resistência o CLAA atingiu o valor de resistência necessária para ser considerado como concreto estrutural ($> 17,2$ MPa) e alcançar os objetivos do trabalho. Durante a realização das análises experimentais, observou-se que não houve flutuação da argila expandida, sendo uniforme a sua distribuição na argamassa. Este fato também colabora para resistências satisfatórias. A Figura 6a ilustra um corpo-de-prova faceado e a Figura 6b ilustra um corpo-de-prova rompido por compressão. Pelas figuras é possível verificar que não houve segregação do agregado.

Figura 6 – Corpos-de-prova sem segregação: (a) Faceamento (b) Rompido por compressão

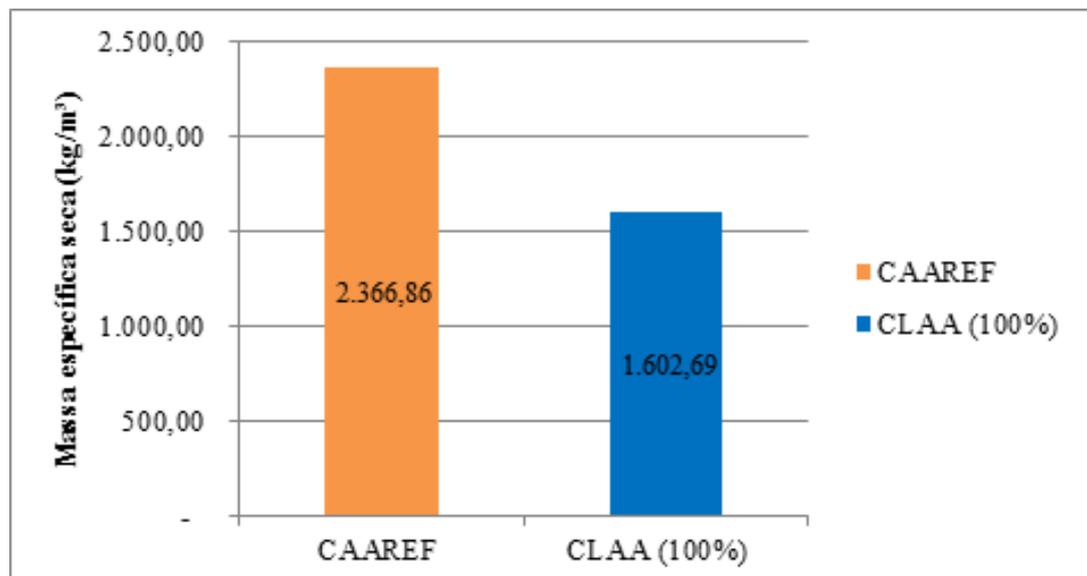


Fonte: A autora.

b) *Massa específica seca*

A Figura 7 apresenta uma comparação entre a massa específica do $CAAREF$ e o CLAA aos 28 dias de idade. O resultado apresentado é uma média dos valores obtidos, entre todos os corpos-de-prova moldados, de cada ensaio.

Figura 7 - Comparação entre a média dos resultados de massa específica do $CAAREF$ e CLAA



Fonte: A autora (2017).

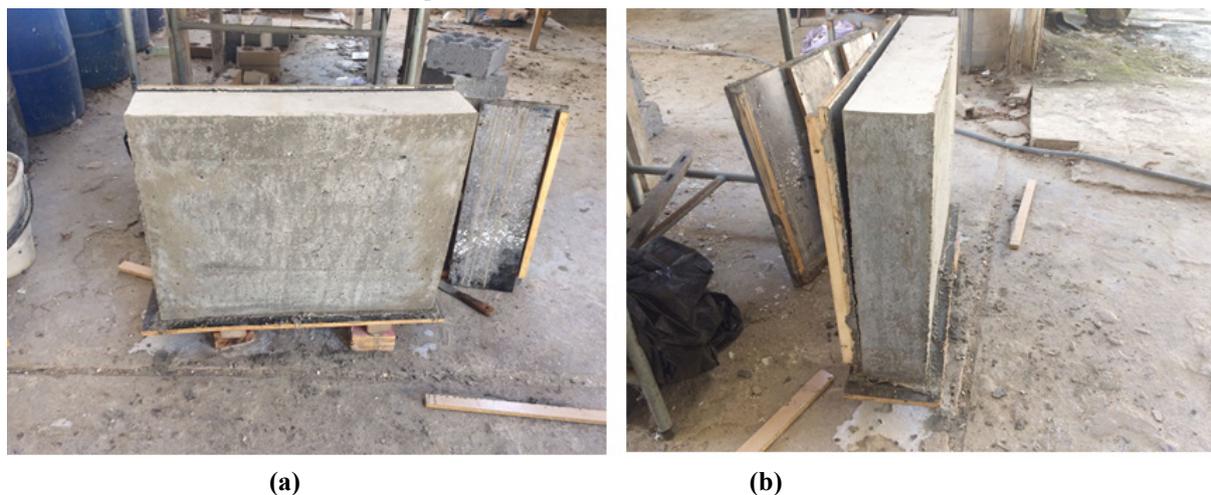
Observou-se com os resultados que o concreto produzido com agregado leve apresentou redução da massa específica no estado endurecido, média, de 32,30% e atingiu o objetivo da pesquisa que era produzir um concreto leve ().

c) *Verificação dos painéis moldados*

Foram moldados dois painéis pré-fabricados, sendo o primeiro com o concreto autoadensável de referência ($CAAREF$) e o segundo com o concreto leve autoadensável (CLAA). Diante dos resultados obtidos pelos ensaios nos corpos-de-prova é possível verificar que os painéis moldados atendem aos propósitos do trabalho, visto que o CLAA apresentou baixa densidade, sendo assim, aceito como concreto leve, e atingiu a resistência necessária para ser considerado como concreto estrutural.

As Figuras 8a e 8b ilustram o painel moldado com o $CAAREF$ e as Figuras 9a e 9b o painel moldado com o CLAA. Ambos apresentaram bom acabamento superficial e nenhuma falha relacionada a preenchimento da forma.

Figura 8- Painel moldado com CAAREF



Fonte: A autora.

Figura 9- Painel moldado com CLAA



Fonte: A autora.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos neste trabalho conclui-se:

O programa experimental utilizado mostrou-se eficiente, pois produziu um concreto autoadensável de baixa densidade que atende aos objetivos inicialmente estipulados. Assim, o concreto elaborado teve parecer satisfatório para aplicação no setor da construção civil, na produção de elementos pré-fabricados, tais como painéis de vedação e estrutural.

Para todos os traços produzidos, o concreto apresentou coesão e consistência adequadas para o manuseio e moldagem e não indicou os fenômenos de exsudação e segregação. As misturas também apresentaram resultados satisfatórios quanto

ao espalhamento, viscosidade aparente e habilidade passante, resultados estes que confirmam a autoadensibilidade dos concretos produzidos.

Em relação aos valores de massa específica seca, o concreto autoadensável de referência (CAA_{REF}) apresentou resultado, médio, de $2\ 366,86\text{ kg/m}^3$, enquanto o concreto leve autoadensável (CLAA) apresentou valor, médio, de $1\ 602,69\text{ kg/m}^3$, ou seja, uma redução de $32,30\%$. Com este resultado é possível constatar que o concreto com agregado leve produzido é de baixa densidade.

Os resultados obtidos de resistência à compressão do CLAA, aos 28 dias de idade, ainda que sejam, em média, $30,30\%$ menor do que quando comparado ao CAA_{REF} , faz do concreto de baixa densidade uma alternativa notável para aplicação em elementos estruturais, levando-se em conta, que mesmo com os resultados de resistência relativamente baixos, atingiram valores maiores que os exigidos por normas.

Com o conjunto de informações resultantes do programa experimental, observou-se a funcionalidade do concreto leve autoadensável para aplicação em painéis de vedação pré-fabricados devido à redução da massa específica e ao excelente desempenho nas propriedades mecânicas, além de maior conforto térmico sem o comprometimento da função estrutural.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 213-87**: guide for structural lightweight aggregate concrete. Farmington Hills, USA, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 35**: Agregados leves para concreto estrutural: especificação. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR NM 45** – Agregados – Determinação da massa unitária de do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52** – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 53** – Agregado graúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 15220-1**: Desempenho Térmico das Edificações Parte 1: Definições,

símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15823-1**: Concreto Auto-adensável Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15823-2**: Concreto Auto-adensável Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15823-3**: Concreto Auto-adensável Parte 3: Determinação da habilidade passante – Método do anel J. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15823-4**: Concreto Auto-adensável Parte 4: Determinação da habilidade passante – Método da caixa L. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15823-5**: Concreto Auto-adensável Parte 5: Determinação da viscosidade – Método do funil V. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15823-6**: Concreto Auto-adensável Parte 6: Determinação da resistência à segregação – Método da coluna de segregação. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 9778** – Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 5738** – Concreto: Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 5739** – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto. Rio de Janeiro, 2007.

ASSUNÇÃO, J. W. **Concreto leve autoadensável**: avaliação da influência da argila expandida no processo de dosagem e nas propriedades do concreto. Tese de Doutorado. Programa de pós-graduação de arquitetura e urbanismo, Instituto de arquitetura e urbanismo da universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. São Paulo: PINI, 2009.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MORAVIA, W. G.; OLIVEIRA, C. A. S.; GUMIERI, A. G.; VASCONCELOS, W. L. **Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como**

agregado em concreto estrutural leve. Revista Cerâmica, v. 52, p. 193-199, 2006.

NEMER, P. C. C. **Avaliação do sistema construtivo paredes de concreto moldado no local à luz das normas técnicas vigentes.** Monografia (Especialização em produção e gestão do ambiente construído) – Departamento de Engenharia de Materiais e Construção de Minas Gerais, Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

PEREIRA, V. F. R.; SILVA, F. M.; GACHET, L. A.; LINTZ, R. C. C. **Avaliação do concreto auto adensável com argila expandida.** Anais do 58º Congresso Brasileiro de Concreto, IBRACON, 2016.

REPETTE, W. L. **Concreto autoadensável.** In: ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: Ciência e Tecnologia.** 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 2, p. 1768 – 1806.

ROSSIGNOLO, J. A. (2003). **Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos:** dosagem, produção, propriedades e microestrutura. Tese de Doutorado. Interunidades Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade de São Paulo. São Carlos.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto leve estrutural:** produção, propriedades, microestruturas e aplicações. 1 ed. São Paulo: Pini, 2009. 144 p.

SACHT, H. M. **Painéis de vedação de concreto moldados in loco: avaliação de desempenho térmico e desenvolvimento de concretos.** 229 p. + anexos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. A.; PIGOZZO, B. M. **Evolução dos pré-fabricados de concreto.** Núcleo de Estudos e Tecnologia em Pré-moldados (NET-PRÉ), Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, 2015.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto autoadensável.** 2 ed. São Paulo: PINI, 2015.

Recebido em: 28/11/2017.

Aceito em: 21/09/2017.