

Estudo sobre concretos leves de alto desempenho

Study on Lightweight Concrete of High Resistance



Nathalia Tawany Oliveira do Nascimento

Graduanda do Curso de Engenharia Civil (UNIPAM). e-mail: nathaliatawany.on@gmail.com

Eduardo Pains de Moraes

Professor Orientador (UNIPAM). e-mail: eduardopm@unipam.edu.br

RESUMO: A utilização do concreto leve na construção civil está se tornando aos poucos cada vez mais usual, e a necessidade de buscar elementos mais leves proporciona o desenvolvimento dessa tecnologia. Deve-se salientar que o concreto leve utiliza, na sua composição, materiais que possuem outras propriedades relevantes, sendo conforto térmico e acústico. A presente pesquisa buscou desenvolver traços de concreto leve de alto desempenho (CLAD), com o intuito de realizar o estudo de suas propriedades mecânicas, através dos ensaios de compressão axial, e a análise do fator de eficiência, que correlaciona a massa com a resistência obtida pela amostra ensaiada. Através dos ensaios realizados verificou-se que a adição de argila expandida com as pérolas de EPS proporcionaram uma redução na resistência mecânica, entretanto, o traço 4 apresentou uma eficiência de aproximadamente 318% em relação ao traço 2, sendo que ambos possuem as mesmas composições, diferenciando-se apenas nas proporções. Já o traço 3, que possui apenas argila expandida em sua composição, também sofreu uma redução de 50,95% em relação ao concreto padrão convencional, porém, apresentou resultado satisfatório quanto à resistência mecânica, pois atende o limite mínimo da Classe de Agressividade Ambiental I (CAA-I) da ABNT NBR 6118 (2014), em que pode ser utilizado para lajes em ambientes rurais.

PALAVRAS-CHAVE: Concretos leves, fator de eficiência, alta resistência

ABSTRACT: The use of lightweight concrete in civil construction is gradually becoming more and more usual, and the need to look for light elements provide the development of this technology. It should be emphasized that lightweight concrete should be used in its composition materials that have other relevant properties, being thermal and acoustic comfort. A research was carried out to evaluate the mechanical properties of the samples by means of the axial compression tests, efficiency factor analysis, which correlates the mass with a resistance obtained by the test sample. By the tests carried out, it was verified that the addition of expanded clay to EPS pearls provided a reduction in mechanical strength. However, trace 4 presented an efficiency of approximately 318% with respect to trace 2, both of which as in their compositions, differentiating only in the proportions. However,

the trace 3, which only has expanded clay in its composition, also suffered a reduction of 50.95% in relation to the conventional standard concrete. However, it presented a satisfactory result considering the mechanical resistance, for it attends the minimum limit of the Classe de Agressividade Ambiental I (CAA-I) of ABNT NBR 6118 (2014), in which can be used for slabs in rural environments.

KEYWORDS: Lightweight Concrete, Efficiency Factor, High Resistance

1. INTRODUÇÃO

O ramo da construção civil está em constante evolução, em busca de melhorias para as técnicas construtivas já existentes, e no enlaço de novos recursos e métodos que possam otimizar o processo de desenvolvimento, para que assim, seja possível acelerar a produtividade e alavancar o crescimento econômico. Dessa forma, empresas e profissionais da área sentem a necessidade de desenvolver e de se inteirar em relação às novidades disponíveis no mercado, para que seja possível confirmar a qualidade dessas novas técnicas, ou então propor novas melhorias.

Nessa perspectiva, surge o concreto leve com alta resistência, que busca otimizar o concreto de alto desempenho com o concreto leve estrutural. À vista disso, aplicando essa combinação, é possível desenvolver um produto que possa atender às necessidades construtivas atuais de uma forma mais otimizada.

Para tanto, Rossignolo, Paulon e Agnesi (2003) explicitam que o concreto leve de alto desempenho (CLAD) possui um grande potencial econômico de utilização em situações em que o peso próprio tem grande importância nas cargas permanentes da estrutura, como em pontes, e quando existe a necessidade de transportar a estrutura, como estruturas pré-fabricadas e plataformas marítimas.

Rossignolo (2016) ilustra que o concreto leve de alta resistência também pode apresentar maior vida útil, isso devido ao fato de os agregados leves utilizados em sua composição exercerem o papel de um minireservatório de água dentro do concreto, absorvendo-a durante a mistura e liberando-a durante o endurecimento do concreto, possibilitando, assim, uma melhor cura interna.

Ademais, Rossignolo, Paulon e Agnesi (2003) ressaltam ainda que o CLAD atua como um isolante, e em virtude disso, esse tipo de concreto é ideal para o conforto térmico dos ambientes que apresentam variações térmicas e acústicas, além do conforto acústico, proporcionando também resistência ao fogo, ao gelo e ao degelo.

De acordo com Sussekind (1980), podem-se destacar algumas vantagens do concreto estrutural convencional, como a economia de materiais e investimentos, a facilidade de se adaptar a qualquer tipo de forma, além da facilidade de execução que permite liberdade ao desenvolvimento arquitetônico. Ademais possui resistência aos efeitos térmicos, atmosféricos e a desgastes mecânicos, além de apresentar baixa necessidade de manutenção associada à grande durabilidade.

Devido a essas vantagens, pode-se destacar o porquê de o concreto armado convencional ser o material estrutural mais utilizado no Brasil nos últimos anos, contudo, ainda de acordo com Sussekind (1980), a grande desvantagem desse tipo de estrutura é o seu elevado peso próprio.

A utilização do concreto leve de alto desempenho se apresenta como uma solução satisfatória para contornar essa desvantagem, podendo trazer benefícios para as nossas construções, principalmente nas estruturas pré-fabricas ou ainda na sua utilização em regiões com solos de baixa resistência. Analogamente, além de reduzir o peso próprio da construção, reduziria também o custo da sua fundação. Podem-se salientar também outras vantagens do concreto leve de alto desempenho, como a baixa condutividade térmica e a sua elevada resistência ao fogo.

Portanto, por meio desta pesquisa, buscou-se desenvolver traços de concreto leve de alto desempenho, de modo a analisar o estudo de suas propriedades mecânicas, com o intuito de verificar se os resultados obtidos condizem com o que é esperado, e tendo como base para essa análise o fator de eficiência.

2. REVISÃO LITERÁRIA

Holm e Bremner (1994) salientam que a primeira utilização dos concretos de alta resistência com agregados leves ocorreu durante a Primeira Guerra Mundial, quando a American Emergency Fleet Building Corporation utilizou concreto com xisto expandido para construir suas embarcações, alcançando uma resistência à compressão de 35 MPa e massa específica em torno de 1700 Kg/m³.

Segundo Isaia (2005), foram executados diversos projetos com concreto leve até a década de 60, e a partir daí, foram construídos edifícios de múltiplos andares com concreto leve, como o *Australia Squer Tower*, mostrado na Figura 1a, o *Park Regis*, mostrado na Figura 1b, ambos construídos na Austrália em 1967 e 1968, respectivamente. Ademais em 1970 foi construído na África do Sul o *Standart Bank*, ilustrado na Figura 1c, e o *BMW Building*, construído em 1972 na Alemanha, ilustrado na Figura 1d (figuras nas páginas seguintes).

Conforme Rossignolo, Paulon e Agnesi (2003), mesmo a utilização do CLAD tendo aumentado após a década de 50, até 1980, os estudos se concentravam na grande maioria nos concretos de alta resistência com massa específica normal, tendo assim poucos estudos voltados para o CLAD. Além do mais, estes estudos já apresentavam concretos leves com resistência à compressão superior a 60 MPa e com a massa específica em torno de 2000 Kg/m³, demonstrando então o grande potencial do material. Após 1980, com o desenvolvimento acelerado da tecnologia dos concretos, tornou-se mais simples a obtenção de concretos com alta durabilidade e alta resistência mecânica. Utilizando as tecnologias disponíveis, foi possível potencializar os resultados dos concretos leves estruturais.

De acordo com Holm e Bremner (1994), o CLAD é definido atualmente por meio de um parâmetro que relaciona a resistência à compressão à massa específica seca do material, em que essa relação é denominada de fator de eficiência e é dada

através da equação 1. Segundo essa relação, um concreto com fator de eficiência acima de 25 MPa.dm³/kg é considerado como um concreto leve de alto desempenho.

$$\text{Fator de eficiência} = \frac{f_c}{\gamma} \quad \left(\text{Mpa} \cdot \frac{\text{dm}^3}{\text{kg}} \right) \quad (1)$$

Onde: f_c = resistência a compressão (MPa)

γ = massa específica seca do concreto $\left(\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right)$

FIGURAS 1a, 1b, 1c e 1d. Edifícios projetados e executados com concreto leve de alto desempenho (CLAD)



Fonte: HPP ARCHITECTS, 2010

Delazzeri (2010) especifica que o fato de a massa específica ser reduzida no CLAD tem como consequência um menor consumo de aço em relação ao concreto convencional, resultando na redução do custo. Apesar dessa vantagem, o CLAD possui a desvantagem de necessitar de um controle tecnológico mais eficaz do que aquele que já é comumente realizado, devido ao emprego de vários aditivos e adições que ainda não são tão difundidos nos projetos vigentes no Brasil. Por esse motivo, o concreto de alto desempenho ainda possui um custo mais elevado que o concreto convencional.

Rossignolo, Paulon e Agnesi (2003), ressaltam que o concreto leve de alto desempenho é hoje um material de construção consagrado em todos o mundo nos mais diversos tipos de construções, e além da redução da massa específica, o CLAD possui outras vantagens, como maior isolamento térmico e acústico, maior resistência ao fogo e alta resistência ao gelo e degelo.

Rossignolo (2009) afirma que no Brasil a utilização do concreto com agregados leves ainda é limitada, devido ao fato de a argila expandida ser o principal agregado leve disponível no país, sendo que sua fabricação se restringe a um único fabricante, do estado de São Paulo. Devido a esse fato, a maioria das aplicações dos concretos leves estruturais se dá em cidades e estados vizinhos. Contudo, na construção de Brasília, o concreto leve estrutural foi amplamente utilizado nas construções de conjuntos habitacionais, dentre outras construções.

A argila expandida, ilustrada na Figura 2, é um agregado leve que se apresenta em forma de bolinhas de cerâmica leves e arredondadas, com uma estrutura interna formada por uma espuma cerâmica com microporos e com uma casca rígida e resistente. Por ser microporosa fechada, característica rara nos agregados leves, ela possui uma elevada capacidade de isolamento (REFRATIL REFROTÁRIOS, 2017).

FIGURA 2. Argila expandida



Fonte: Clica Sorocaba, 2017

Para o desenvolvimento de um concreto de alto desempenho, que possui como agregado leve a argila expandida, Moravia, Oliveira, Gumieri e Vasconcelos

(2006) afirmam que é de suma importância a caracterização da microestrutura da argila expandida, pois ela auxilia na compreensão das reações físico-químicas que ocorrem na sua interface com a matriz de cimento.

Devido à sua alta porosidade, a argila expandida proporciona uma redução da resistência mecânica dos concretos. Por outro lado, uma importante característica do agregado leve é a boa aderência entre este e a pasta hidratada de cimento que o envolve. Esta aderência ocorre pela textura áspera da superfície do agregado leve, resultando em um intertravamento mecânico entre o agregado e a pasta. A aderência também pode ser melhorada pela água absorvida pelo agregado no momento da mistura do concreto, que, com o tempo, torna-se disponível para a hidratação do cimento anidro. Parte dessa hidratação ocorre na região da interface agregado matriz, tornando a aderência entre o agregado e a matriz mais resistente (MEHTA; MONTEIRO, 1994; WASSERMAN; BENTUR, 1996; ZHANG; GJØRV, 1992; WEBER; REINHARDT, 1997; GESOGLU; ÖZTURAN; GÜNEYISI, 2004 *apud* MORAVIA, OLIVEIRA; GUMIERI; VASCONCELOS, 2006).

Em conformidade com Rossignolo e Oliveira (2006), a redução da massa específica do concreto se dá através da substituição dos agregados convencionais pelos agregados leves, e tal substituição pode acarretar significativas alterações em outras características importantes do concreto, como na resistência mecânica, na absorção de água e no módulo de deformação. Rossignolo e Agnesini (2005) elucidam que uma das formas de ajustar o desempenho do concreto de baixa densidade, compensando as prováveis alterações provenientes do uso do agregado leve, é a utilização de adições minerais pozolânicas, tal como o metacaulim.

Não obstante, Rossignolo e Oliveira (2006) ressaltam que essa adição mineral proporciona reatividade com o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento, efeito esse denominado de reação pozolânica. Essa reação reduz a porosidade e o teor de hidróxido de cálcio na matriz de cimento, assim melhorando a qualidade da zona de transição agregado-matriz e promovendo uma melhoria no desempenho das propriedades do concreto estrutural leve relacionadas à resistência mecânica e à durabilidade.

Ademais, os aditivos superplastificantes também melhoram as características do concreto de alto desempenho, permitindo o uso de agregados menores. Carlos Eduardo de Siqueira Tango, pesquisador do Laboratório de Concreto do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) avalia que, “quanto menor a pedra, menor a probabilidade de haver vazios ou rupturas internas”, além de que “o superplastificante envolve melhor os agregados, mantendo a trabalhabilidade”. A diminuição do tamanho do agregado também reduz a quantidade de água presa sob o agregado, o que enfraqueceria a pasta (BOCCHILE, 2000).

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a pesquisa foi desenvolvida em três etapas, sendo que a primeira consistiu de uma revisão bibliográfica, que possibilitou um

maior conhecimento a respeito do assunto e de quais seriam os melhores materiais a serem utilizados, sendo eles, a argila expandida e o poliestireno expandido (EPS). A segunda etapa baseou-se em caracterizar esses materiais. Foram realizados os ensaios de granulometria, massa específica e massa compacta, baseando-se na ABNT NBR NM 248:2003 e ABNT NBR NM 45:2006, respectivamente. A terceira etapa consistiu no procedimento experimental, que buscou avaliar as propriedades desse concreto por meio de ensaios normatizados pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Depois de definidos os traços do concreto e de se executá-los, foi realizado o *slump test*, em conformidade com a NBR NM 67: 1998, a fim de verificar a trabalhabilidade do concreto desenvolvido em seu estado fresco. Logo depois, as amostras ensaiadas foram moldadas e curadas consoante a NBR 5738: 2015.

Posteriormente, com as amostras do concreto em seu estado endurecido, foram realizados ensaios a fim de avaliar as suas propriedades mecânicas, e para esse fim, foi determinada a massa específica de cada amostra, conforme a NBR 9778:2005, versão corrigida 2009. Por fim, essas amostras foram submetidas aos ensaios de compressão axial, conforme a NBR 5739: 2007, e de compressão diametral, conforme a NBR 7222: 2010. Assim, foi determinado o fator de eficiência dos concretos ensaiados, de acordo com Holm e Bremner (1994), citados anteriormente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, foram realizados os ensaios de granulometria da argila expandida (Tabela 1), massa específica (Tabela 2) e massa compacta (Tabela 3), baseando-se nas ABNT NBR NM 248:2003 e na ABNT NBR NM 45:2006 respectivamente, para que fosse possível caracterizar os novos agregados que comporiam o concreto a ser desenvolvido. O ensaio de granulometria foi realizado apenas para a argila expandida, devido ao fato de que o EPS é um material industrializado, que possui uma dimensão padronizada e especificada, sendo um diâmetro de 4 mm.

TABELA 1. Ensaio de Granulometria

Argila Expandida				
Peneiras	Abertura (mm)	Agregado retido (g)	Mi (g)	Qg (%)
37,5	37,50	0	0	100
3/4"	19,00	362,70	362,70	81,865
3/8"	9,50	1632,40	1995,10	0,245
nº 4	4,75	2,80	1997,90	0,105
nº 10	2,36	0,30	1998,20	0,090

Fonte: dos autores, 2017

TABELA 2. Ensaio de massa unitária no estado solto

Massa unitária no estado solto				
Amostra	Volume (dm ³)	Massa (kg)	Massa unitária (kg/dm ³)	Massa unitária média (kg/dm ³)
Argila expandida	20	11,44	0,250	0,249
	20	11,41	0,249	
	20	11,41	0,248	
Poliestireno expandido (EPS)	20	6,50	0,00283	0,325
	20	6,50	0,00280	
	20	6,501	0,00280	

Fonte: dos autores, 2017

TABELA 3. Ensaio de massa unitária no estado compacto

Massa unitária no estado compacto				
Amostra	Volume (dm ³)	Massa (kg)	Massa unitária (kg/dm ³)	Massa unitária média (kg/dm ³)
Argila expandida	20	11,440	0,250	0,249
	20	11,415	0,249	
	20	11,411	0,248	
Poliestireno expandido (EPS)	20	6,5070	0,00311	0,003
	20	6,5066	0,00309	
	20	6,5064	0,00308	

Fonte: dos autores, 2017

Posteriormente, foram definidos os traços dos concretos em conformidade com o método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), que prevê a determinação do fator água/cimento em relação à resistência esperada para o concreto com 28 dias de cura, bem como o consumo dos agregados, relacionando-os ao fator água/cimento. Devido à grande variação em relação à densidade dos agregados utilizados, os traços definidos foram volumétricos, o primeiro traço desenvolvido foi o convencional, e com isso, foram feitas as alterações, recalculando-se o traço com os novos agregados, como visto na Tabela 4 (na página seguinte).

Assim foram desenvolvidos os concretos, realizado o *slump test*, de acordo com a NBR NM 67: 1998. Cada traço apresentou valores bem diferentes para o ensaio. Tal fato se deu pelas próprias características do concreto, devido aos agregados utilizados.

TABELA 4. Traços volumétricos

Traço dos concretos desenvolvidos (volumétrico)							
Traço	Cimento	Areia	Brita	Argila expandida	EPS	Água/cimento	Aditivo (%)
Traço 1	1	2	2			0,5	0,75
Traço 2	1	2		1	1	0,5	1,5
Traço 3	1	2		2			1,5
Traço 4	1	2		1,5	0,5	0,5	1,5

Fonte: dos autores, 2017

TABELA 5. Ensaio de *slump test*

Traço	<i>Slump test</i> (cm)
Traço 1	22
Traço 2	10
Traço 3	8
Traço 4	15

Fonte: dos autores, 2017

Foram moldados dois corpos de prova para o concreto convencional, cinco para os traços dois e quatro, e para o traço três, foram três corpos de prova. Os moldes utilizados eram cilíndricos, tendo 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Para a cura, os corpos de prova ficaram submergidos em tanques cobertos de água durante os 28 dias.

Adiante, após a cura do concreto, realizaram-se os ensaios de compressão axial e diametral, em que as resistências obtidas foram dadas em mega pascal (MPa), conforme a NBR 5739: 2007 e NBR 7222: 2010. Simultaneamente, os corpos de prova foram pesados separadamente em uma balança de precisão, para assim se obter a massa específica de cada concreto desenvolvido, a fim de que fosse possível fazer a análise do fator de eficiência dos mesmos. Os resultados estão dispostos na Tabela 6 (na página seguinte).

Por fim, após todos os ensaios previstos serem realizados, percebeu-se que todos eles apresentaram uma boa incorporação entre pasta e agregado, não havendo a sua segregação. Assim, foram determinados os fatores de eficiência para cada traço. Para três dos quatro traços desenvolvidos, os fatores obtidos foram bastante semelhantes, tendo apenas um traço com uma resistência bem inferior aos outros. Contudo, essa diferença era prevista devido ao fato de que esse traço em específico possuía apenas o EPS como agregado graúdo, sendo esse material leve e de baixa resistência à compressão. Percebe-se também, no traço dois, onde foram utilizados a argila expandida e o EPS como agregados graúdos, na mesma proporção volumétrica, que a argila expandida atua com sua massa específica assim co-

mo com a sua resistência, diferentemente do EPS, que colabora com a sua baixa densidade, o que possibilitou chegar a um concreto mais leve, contudo, resistente.

TABELA 6. Análise dos concretos

Traço	Massa (Kg)	Massa Específica (Kg/dm ³)	Resistência Axial (MPa)		Fator de Eficiência	
1	3,570	2,274	33,6	31,7	14,78	13,81
	3,640	2,318	29,8		12,85	
2	2,176	1,386	5,3	6,6	3,82	4,11
	2,737	1,743	5,8		3,33	
	2,414	1,537	5,5		3,58	
	2,803	1,785	6,0		3,36	
	2,549	1,623	10,5		6,47	
	2,532	1,613	17,5		10,85	
3	2,556	1,628	21,7	20,2	13,33	12,32
	2,614	1,665	21,3		12,79	
	2,580	1,643	20,5		12,47	
4	2,594	1,652	22,2	21,0	13,44	12,74
	2,599	1,655	20,3		12,26	
	2,597	1,654	21,1		12,76	
	2,573	1,639	20,9		12,75	

Fonte: dos autores, 2017

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os ensaios realizados, o concreto desenvolvido não alcançou o fator de eficiência mínimo previsto, contudo, conseguimos alcançar um fator de eficiência semelhante ao do concreto convencional.

Sendo assim, concluiu-se que para o desenvolvimento de um concreto que alcance o fator de eficiência mínimo, é necessária a utilização de outros agregados que potencializem a sua resistência.

No entanto, através dos ensaios realizados, verificou-se que a adição de argila expandida com as pérolas de EPS proporcionaram uma redução na resistência mecânica. Entretanto, o traço 4 apresentou uma eficiência de aproximadamente 318% em relação ao traço 2, sendo que ambos possuem as mesmas composições, diferenciando-se apenas nas proporções. Já o traço 3, que possui apenas argila expandida em sua composição, também sofreu uma redução de 50,95% em relação ao concreto padrão convencional, porém, apresentou resultado satisfatório quanto à resistência mecânica, pois atende o limite mínimo da Classe de Agressividade Ambiental I (CAA-I) da ABNT NBR 6118 (2014), que pode ser utilizado para lajes em ambientes rurais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Concreto – Relação água/cimento*. São Paulo: Comunidade da Construção, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 8522: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão*. Rio de Janeiro, 2008.

_____. *NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro, 2005, versão corrigida 2009.

_____. *NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1998.

_____. *NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 2015, versão corrigida 2016.

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

_____. *NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2010.

_____. *NBR 10786: Concreto endurecido – Determinação do coeficiente de permeabilidade à água*. Rio de Janeiro, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. *C157/C157M: Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete*, 2014.

ANGELIN, Andressa Fernanda. *Concreto leve estrutural - Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais*. 126 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, 2014.

BOCCHILE, Cláudia. *Concreto Turbinado*. Disponível em <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/49/artigo287208-1.aspx>>. Acesso em 07 maio 2017

BREMNER, T. W. *Concreto de agregado leve*. Disponível em <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/37/artigo287164-1.aspx>>. Acesso em 21 maio 2017

CINEXPAN, Argila Expandida. Disponível em <<http://www.cinexpan.com.br/concreto-leve-estrutural.html>>. Acesso em 13 mar 2017

CLICA SOROCABA. Disponível em <<http://www.clicasorocaba.com.br/floramorum-by/argila-expandida-jardins-paisagismo-construcao-civil-lajes-cl-64>>. Acesso em 02 mar 2017

DELAZZERI, Marcus Lessandro Costa. *Concreto Leve de Alto Desempenho (CLAD) Avaliação do fator de eficiência*. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil. Universidade Estadual de Feira de Santana, 2010.

GOMES, Paulo César Correia *et al.* Obtenção de concreto leve utilizando agregados reciclados. *Ambiente Construído*, 15(3): 31-46, 2015.

MORAVIA, W. G. *et al.* Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve. *Cerâmica*, 52(2006): 193-199.

ROSSIGNOLO, João Adriano. Concreto leve estrutural: influência da argila expandida na microestrutura da zona de transição pasta/agregado. *Ambiente Construído*, 9(4): 119-127, 2009.

ROSSIGNOLO, João Adriano. *Concreto leve de alto desempenho modificado com SB para pré-fabricados esbeltos: dosagem, produção, propriedades e microestrutura*. 220 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos e instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

ROSSIGNOLO, João Adriano; OLIVEIRA, Ismael Lorandi. *Concreto leve estrutural com metacaulim*. *Minerva*, 3(2): 177-187, 2006.

ROSSIGNOLO, João Adriano; OLIVEIRA, Ismael Lorandi. Efeito do metacaulim nas propriedades do concreto leve estrutural. *Acta Scientiarum Technology*, 29(1): 55-60, 2007.

ROSSIGNOLO, João Adriano; PAULON, Vladimir Antonio; AGNESINI, Marcos Vinício Costa. Concreto de alto desempenho com agregado leve. *I Encontro Tecnológico de Engenharia Civil e Arquitetura*. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2003, pp. 337-346.

SILVA, Márcio Dario da. *Estudo comparativo entre a utilização dos concretos convencional e leve nos elementos horizontais das estruturas de edifícios*. 165f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2003.

STOCCO, Wagner; RODRIGUES, David; CASTRO, Adriana Petito de Almeida Silva. *Concreto leve com uso de EPS*. Recife: Cobenge, 2009.