

CONCRETO LEVE ESTRUTURAL COM ARGILA EXPANDIDA: DETERMINAÇÃO DO TRAÇO

Alexandre Amaral Rei de França¹
Renato Oliveira Rocha¹
Chrystian Iezid Maia e Almeida Feres²

RESUMO

A construção civil exige constantemente novas técnicas, bem como a melhoria das já existentes a fim de solucionar problemas e otimizar resultados. A argila expandida como agregado em Concreto Leve Estrutural (CLE) aparece como alternativa econômica, pois com a redução do peso próprio da estrutura, diminuem-se os gastos com fundações, dimensões de estruturas, ferragens, transporte e formas, compensando o gasto inicial maior. Foi avaliado, através de ensaios laboratoriais, o comportamento do CLE com agregado argila expandida e feito comparativo em relação ao concreto estrutural convencional, com a substituição parcial e total da brita de rocha calcária. Foram testados 5 níveis de argila (0% 25%, 50%, 75% e 100%) em substituição da brita de rocha calcária, em que o nível zero é o traço de referência com utilização total de brita. Foram avaliadas a resistência à compressão, massa específica e absorção de água. Para a classificação do produto obtido, foram aplicadas as normas ABNT NBR 12655:2015 e ABNT NBR 6118:2014. A argila expandida na produção de concreto proporciona baixa massa específica. Esse produto atinge o valor mínimo de resistência à compressão normatizado pela ABNT e ACI para concreto leve estrutural com substituição de 66% do agregado agraúdo por argila expandida.

Palavras-chave: Argila expandida, concreto leve, agregado leve.

STRUCTURAL LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH EXPANDED CLAY: DETERMINATION OF TRACE

ABSTRACT

Introduction: civil building industry constantly requires new techniques to improve and solve problems. The expanded clay is applied as an aggregate in Light Structural Concrete (CLE) with economic and technical properties. The use of this product reduces the own weight of the structure, the expenses with foundations, structural dimensions, transport. Objective: to evaluate the behavior of CLE with aggregate expanded clay in relation to conventional structural concrete with limestone. Methodology: five levels of clay (0% 25%, 50%, 75% and 100%) were tested in place of limestone, where zero is the reference level with total gravel use. The compressive strength, specific mass and water absorption were evaluated. For the classification of the product obtained, the standards ABNT NBR 12655: 2015 and ABNT NBR 6118: 2014 were applied. Conclusion: Expanded clay in concrete production provides low specific mass, this product reaches the minimum value of compressive strength normalized by ABNT and ACI for light structural concrete with 66% aggregate replacement by expanded clay.

Keywords: Expanded clay, lightweight concrete, lightweight aggregate.

¹ Graduando em Engenharia Civil. Faculdades Integradas do Norte de Minas. FUNORTE

² Professor Dr. Faculdades Integradas do Norte de Minas: FUNORTE-Engenharias Integradas

1 INTRODUÇÃO



Desde a criação do concreto moderno produzido com a patente Cimento Portland, até o início da década de 70, seus componentes eram basicamente os agregados, o cimento e a água, sem mudanças e inovações que pudessem alterar suas propriedades (ROSSIGNOLO, 2009). Diante das demandas observadas em campo e por conseguinte nas soluções em tecnologia do concreto, estudos foram desenvolvidos para melhorias da forma convencional de produção, um deles é a utilização de agregados mais leves produzindo uma mistura com massa específica menor e mantendo suas características mecânicas de resistência a compressão (ANGELIN, 2014). Após essa busca pela estrutura, a compreensão de elementos, como conforto bioclimático e gestão financeira e técnica das obras, os processos construtivos precisavam unir aspectos técnicos estruturais com propriedades, como capacidade de isolamento térmico e acústico, melhoria na trabalhabilidade, durabilidade, estabilidade dimensional e resistência a grandes temperaturas. Nesse sentido, foi desenvolvido e ampliado o conceito do concreto, com uma nova variante, esta denominada Concreto Leve Estrutural (CLE) (MENDES *et al.*, 2016 ROSSIGNOLO, 2009). De acordo com o ACI 213R-03 (2003) e Rossignolo (2009), apesar de possuir custo mais elevado, a redução da massa específica gera a diminuição da sobrecarga da estrutura, economizando em formas, transporte, montagem de construções pré-fabricadas, dimensionamento de fundações e em armaduras, sendo uma técnica completamente viável para determinadas situações.

Concretos com características estruturais leves são propriamente aplicados em construções de grande porte, onde seus esforços são geralmente consequência do peso próprio da estrutura, como pontes, edificações de muitos andares, entre outros. (SANTIS *et al.*, 2013). Na construção civil atual, a diversidade e inovação trazem responsabilidades, como solucionar e encontrar formas para atender à demanda de mercado, visando economia e otimização de custos (CATOIA, 2012).

Historicamente, Rossignolo (2009) citou algumas construções utilizando o Concreto Leve Estrutural aqui no Brasil, dentre elas a *Rocheverá Corporate Towers*, localizada na Marginal do Rio Pinheiros em São Paulo – SP. Com a finalidade de aliviar as solicitações estruturais, Foram empregados painéis de fachada em CLE nas duas torres. Inaugurado em 2008, o CLE apresentou massa específica de 1900 kg/m^3 e resistência à compressão de 35 MPa após os 28 dias. Outro caso é representado pelas duas sedes administrativas da Petrobras em 2008 na região de Macaé – RJ, onde foram utilizados painéis de fachada em concreto leve (300m^2) que apresentou massa específica de 1970 kg/m^2 e resistência à compressão após os 28 dias de 35 MPa. Rossignolo (2009) destaca também o edifício corporativo W T Nações Unidas em São Paulo - SP, inaugurado em 2008, que fez a utilização do concreto leve nas lajes tipo



steel deck para alívio de solicitações na estrutura, foram 3600 m³ de concreto com argila expandida. Apresentou massa específica de 1800 kg/m³ e resistência à compressão superior a 20 MPa.

No Brasil, de acordo com a ABNT, a definição e determinação normativa oficial do concreto leve pode ser caracterizada em teste quando endurecido e seco em estufa, apresente massa específica entre 0,8 e 2,0 g/cm³ (NBR 12655) (ABNT, 2015). Em complemento, a ABNT NBR 35:1995 normatiza que a massa unitária, no estado seco e solto, dos agregados leves usados no concreto estrutural deve ser abaixo de 1120 kg/m³ para agregados miúdos e de 880 kg/m³ para agregados graúdos.

Análises e caracterizações preconizadas por agências normatizadoras e aceitas internacionalmente, como a *American Concrete Institute* (ACI) dos Estados Unidos da América, complementam as informações e o potencial de aceitação de produtos e processos em concreto no mercado internacional. Nesse sentido, em relação à resistência a compressão, a ACI 213R-03 (2003) caracteriza o CLE como aquele com resistência mínima de 17 MPa, além das especificações de massa relacionadas acima, e coerentes com a ABNT no Brasil. Por outro lado, nem todos os parâmetros são semelhantes, como por exemplo, a norma brasileira, ABNT NBR 6118:2014, prescreve que a resistência mínima de um concreto estrutural como 20 Mpa contrapondo os 17Mpa da ACI, ambas para o CLE.

Historicamente, para o desenvolvimento do CLE, um dos materiais utilizados na sua produção é a argila expandida. Este compósito é adicionado à mistura como agregado graúdo e sua utilização gera economia devido à redução da massa específica do concreto proporcionando a minimização dos carregamentos atuantes nas estruturas, reduzindo, assim, dimensões das fundações (MORAVIA *et al.*, 2006).

A argila expandida é o único agregado leve produzido no Brasil (ROSSIGNOLO, 2009). Atualmente, cerca de 60% da produção de argila expandida no Brasil destinou-se ao setor da construção civil e 40% aos setores de lavanderia (20%), paisagismo, refratários e demais aplicações, como substratos em geral (MENDES *et al.*, 2016). Quimicamente, sua composição tem predominância dos elementos de sílica, alumínio e ferro (ANGELIN, 2014).

Sua produção é obtida por aquecimento de variados tipos de argila e, chegando à temperatura de 1200 °C, a argila irá sofrer reações químicas, expandindo-se em até sete vezes seu volume inicial. Nesse processo de produção, gases são retidos em seu interior, não podendo deixar que escapem para o exterior, tendo em conta a fase líquida envolvendo as partículas (MORAVIA *et al.*, 2006). Segundo Sobral (1996), na produção da argila expandida, o argilomineral a ser utilizado deve apresentar característica especial quanto ao teor de fundentes para a formação da



fase vítrea, e que esta seja capaz de reter os gases em seu interior. Após a adequada expansão e resfriamento, a estrutura da argila torna-se e mantém-se porosa e estruturada pela fase vítrea, garantido as condições mecânicas e físicas adequadas na fabricação de concretos leves (MORAVIA *et al.*, 2006). Ainda segundo este autor, a argila expandida é um agregado produzido por queima em fornos rotativos ou por sinterização contínua e apresenta massa específica aparente de 650 kg/m³ a 900 kg/m³ por sinterização, ao passo que, se produzida em forno rotativo, atingirá 300 kg/m³ e 650 kg/m³ (MORAVIA *et al.*, 2006).

A norma regulamentadora ABNT NBR 248:2003 relaciona cada granulometria da argila expandida nacional com a abertura das peneiras em milímetros, analisando a porcentagem retida e acumulada de material. No mercado brasileiro de argila expandida, a empresa de construção civil, dentre outras, utiliza como referência o produto denominado Cinexpan® 0500 apresenta diâmetro máximo característico de 4,8 mm, a Cinexpan® 1506 possui diâmetro máximo característico de 12,5 mm e a Cinexpan® 2215 19,0 mm, tratando-se de dados médios e variáveis que podem variar a cada lote (ANGELIN, 2014).

Assim, há disponível no mercado os insumos necessários para a produção e uso do CLE na construção civil. Porém, a utilização do CLE ainda é pouco difundida no Brasil havendo até resistência na adesão dessa técnica atribuída pela pouca disponibilidade de informações durante a formação de novos profissionais, assim ficando a tecnologia restrita a empresas especializadas no seguimento. Diante disso, a importância de se determinar e disponibilizar informações técnicas acerca do CLE com argila expandida se dá pela característica de sigilo industrial no processo de produção, uma vez que cada traço é estudado e garante o processo e a cadeia de negócios das empresas especializadas. Tal fato consubstancia-se em um reserva a técnica do CLE com argila expandida caracterizada com um produto desenvolvido e comercializado e não como um traço básico e comum disponível ao público técnico geral da construção civil. Portanto, o objetivo deste trabalho foi determinar o comportamento de diferentes traços com substituição do agregado graúdo por argila expandida, definindo um traço aplicável que atenda as normativas Brasileiras e Norte Americanas de massa específica, resistência a compressão, a carga de ruptura, bem como sua capacidade de absorção de água.

MATERIAIS E MÉTODOS



O estudo foi realizado no período de fevereiro a março de 2017 no laboratório de resistência de materiais do Curso de Engenharia Civil das Faculdades Integradas do Norte de Minas (FUNORTE), em Montes Claros, Minas Gerais.

O experimento consistiu na análise do concreto produzido a partir da substituição parcial e crescente do agregado graúdo (brita 01 de rocha calcária) por argila expandida de granulometria 2215. Foram avaliados 5 tratamentos (0, 25, 50, 75 e 100 % de substituição da brita por argila expandida) totalizando 20 corpos de prova para o estudo de resistência à compressão e mais um corpo de prova para o ensaio de determinação da massa específica e de absorção de água. O delineamento experimental foi do tipo inteiramente ao acaso com quatro repetições, sendo estes um corpo de prova por repetição. O traço de referência foi de 1:1:2 (cimento:areia:brita), em volume, com fator A/C de 0,44, adquirido através da Tabela prática de traços de concreto para uso em obras, baseado no método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) (GEOCITIES, 2011). A mistura e preparo do concreto, corpo de prova e a cura foram realizados conforme NBR 5738 (ABNT, 2008) utilizando uma betoneira de 120 L.

Os tratamentos foram avaliados com 22 dias de cura atendendo a orientações da NBR 5738 (ABNT, 2008) tendo em vista que o tempo de cura (abaixo dos 28 dias) justifica a utilização do cimento de tipo CP V-ARI que possui alta resistência inicial. Um molde de cada tratamento foi extraído para análise de massa específica e índice de absorção de água e serviu de comparativo com os resultados de resistência à compressão, que serão descritos posteriormente, para a caracterização de CLE. Logo após a retirada do tanque de cura, as 5 amostras foram pesadas em Balança Pesadora e Contadora Toledo e definidas suas massas saturadas. Após, foram colocadas em estufa FANEM modelo 515 por durante 24 horas em temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Terminado o período, foram pesadas novamente e definidas suas massas secas em estufa. A massa específica foi obtida pela relação entre a massa do corpo de concreto fabricado pelo volume do corpo de prova (equação 1). Foram definidos também o índice de absorção de água de cada tratamento (equação 2). Os procedimentos foram definidos através da NBR 9778 (ABNT, 1987).

$$\mu = \frac{m}{V} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Eq. 2}$$

μ == massa específica



μ = massa

V = Volume

M_{sat} = massa do corpo- de-prova saturado

M_s == Massa do corpo-de-prova seco

Rompimento dos Corpos de Prova (Ensaio de Compressão)

O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 5739: 2007, que define o método de ensaio à compressão em corpos-de-prova cilíndricos de concreto. Foram submetidos a uma força axial distribuída de modo uniforme em toda seção transversal da amostra usando uma prensa elétrica digital da marca Contenco, com capacidade de 100 toneladas. O corpo de prova foi posicionado no equipamento, ficando corretamente centrado para que não ocorressem erros. Após, foi ligada a bomba hidráulica do equipamento, fechada a válvula de descarga e aberta a válvula de incremento de carga, assim acionou-se o pistão da prensa que sobe a uma velocidade pré-estabelecida. Após o rompimento do corpo de prova, o ensaio foi encerrado, fechando-se a válvula de incremento de carga e aberta a válvula de descarga. Foram usadas 4 amostras para cada tratamento, totalizando 20 unidades amostrais.

Os dados foram submetidos à análise descritiva e probabilística. Foram realizadas análises de variância e de regressão ($p < 0.01$). O software utilizado foi o SAEG V. 5.1.- FURB/UFV.

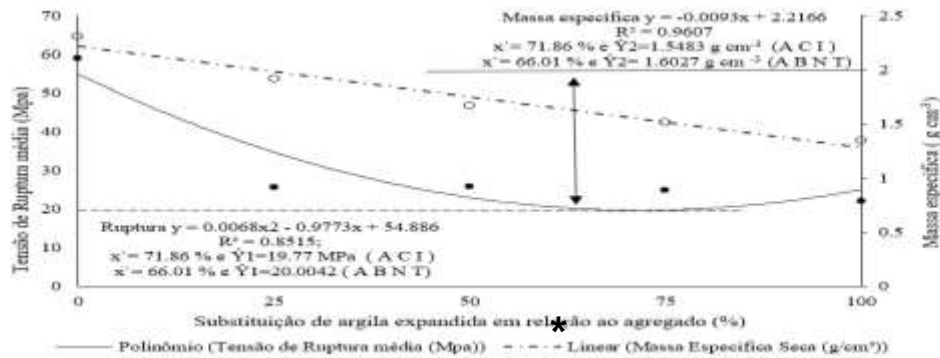
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos contendo argila expandida tiveram expressiva diminuição da resistência à compressão comparando com o tratamento do concreto convencional, entretanto, a variação das médias entre traços com argila foi baixa. Já a massa específica reduziu de acordo com o aumento do volume de argila no tratamento. Conforme a equação definida e considerando o ponto crítico da curva, definimos a porcentagem de 71,86% de substituição por argila que atingiria valores de 19,77 MPa. Considerando a equação linear da massa específica, essa concentração teria uma massa específica de 1,5483 g/cm³, enquadrando-se como Concreto Leve Estrutural, pois a ACI 213R-03 (2003) caracteriza o CLE como aquele com resistência mínima de 17 Mpa e a ABNT NBR 12655:2015 o define como tendo massa específica entre 0,8 e 2,0g/cm³. Para atender à ABNT NBR 6118:2014, que prescreve a resistência mínima de



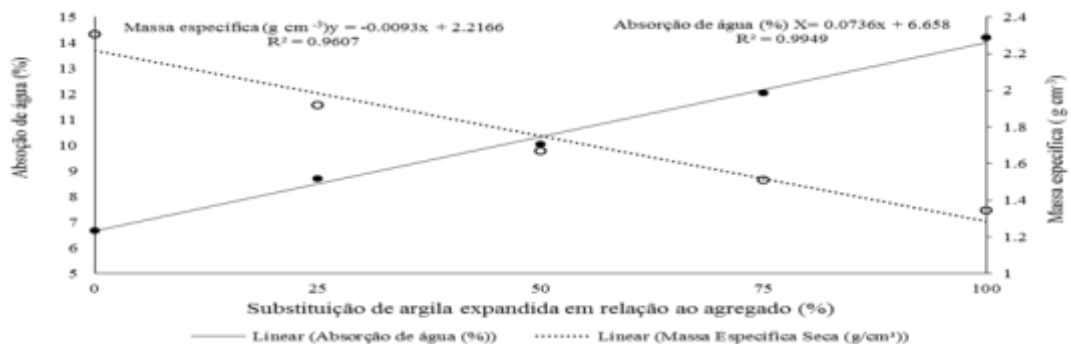
um concreto estrutural como 20 MPa, obtêm-se a porcentagem de substituição de 66,01%, que apresentaria 20,0042 Mpa e massa específica de 1,6027 g/cm³ (Figura 1).

Figura 1. Efeito da substituição de argila expandida ao agregado graúdo em concreto sobre Tensão de ruptura e Massa específica. Montes



A massa específica dos concretos testados e sua absorção de água. Apresentaram relação inversamente proporcional, justificada pela alta porosidade do agregado argila expandida (ROSSIGNOLO, 2009). Considerando o nível de substituição que atendeu a ABNT NBR 6118:2014 de 66,01%, resistência à compressão de 20,0042 Mpa e massa específica de 1,6027 g/cm³, o índice de absorção de água será de 11,52% (Figura 2).

Figura 2. Efeito da substituição de argila expandida ao agregado graúdo em concreto sobre Absorção de água e Massa específica. Montes Claros, Minas Gerais, 2017. * Limites indicados pelo asterisco estabelecem faixa de adequação como concreto leve estrutural ABNT NBR 6118:2014. $p < 0.01$



CONSIDERAÇÕES/CONCLUSÕES

O traço obtido que atende à ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 12655:2015 foi de 1: 1: 0,68: 1,32 (cimento: areia: brita: argila expandida) com fator Água/Cimento de 0,44. Em adição, é importante considerar que o traço definido, acima, tem potencial para gerar economia em obras, pois a massa específica se reduziu em 27,62%, tendo a possibilidade de ser utilizado em lajes para aumentar os vãos, reduzindo a exigência estrutural aos esforços. Potencialmente, poderá ser utilizado para fechamentos sem função estrutural também com potencial arquitetônico por suas características estéticas.

Contudo, deve-se salientar que não é o traço definitivo e ideal, ainda, cabendo maiores estudos sobre resistência à abrasão química e física, resistência à flexão e potencial uso de aditivos impermeabilizantes. Outrossim, seu potencial de uso poderá ser expandido por meio de estudos térmicos e acústicos a fim de possibilitar conforto bioclimático.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 2003, **ACI Committe 213R-03**. “Guide for Structural Lightweight – Aggregate Concrete”. American Concrete Institute. Disponível em: <<http://www.uomisan.edu.iq/library/admin/book/68340626265.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2016.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR NM 248 - **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12655: **Concreto de cimento Portland – Preparo controle e recebimento - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto. NBR 5738: **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2008.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto: Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9833: **Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico**. Rio de Janeiro, 2009.

CATOIA, T. **Concreto Ultraleve estrutural com pérolas de EPS: Caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes**. Tese de doutorado em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2012.

GEOCITIES. Tabela Prática de traços de concreto para uso em obras baseado no método ABCP. São Paulo: Disponível em: <<http://www.geocities.ws/andrepcgeo/tabelatracos8B.htm>>, 2011. Acesso em: 02 de Maio de 2017.

H. S. Sobral, *Concretos leves estruturais: Tipos e comportamento estrutural*, Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP. S. Paulo, Publ. ET-86 (1996).

MENDES, André Soares et al. Obtenção De Concreto Leve Estrutural Pela Substituição Do Seixo Rolado Por Argila Expandida. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS., 2016, Rio de Janeiro. **Obtenção De Concreto Leve Estrutural Pela Substituição Do Seixo Rolado Por Argila Expandida**. Rio de Janeiro: Ixcbpe, 2015. v. 9, p. 1 - 10. Disponível em: <<http://www.cbpe2016.com.br/trabalhos.php>>. Acesso em: 15 out. 2016.

MORAVIA, W. G. *et al.* Caracterização Microestrutural da Argila Expandida Para Aplicação Como Agregado em Concreto Estrutural Leve. **Cerâmica**, v. 52, p. 193-199, 2006.

ROSSIGNOLO, J. A. Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações. Editora Pini, 1ª Edição. São Paulo, 2009.

SANTIS, B. C. et al. Caracterização de massas cerâmicas do estado de S. Paulo para produção de agregados leves para concreto. **Cerâmica**, São Carlos, v. 59, p.185-205, 2013.

SILVA, Bruno Miguel Martins. **Betão Leve Estrutural Com Agregados de Argila Expandida**. 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Estruturas de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2007. Disponível em: <[https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12131/2/Texto integral.pdf](https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12131/2/Texto%20integral.pdf)>. Acesso em: 26 set. 2016.

