

DESEMPENHOS FÍSICO, MECÂNICO E ACÚSTICO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM AGREGADOS LEVES

PACS: 43.50.-x. Ruído: seus efeitos e controle.

Alves, Samira Moreira(1); Miranda Jr., Edson Jansen Pedrosa de(2); Da Silva, Fabiana Maria(1); Xavier, Beatriz Correa (1); Angelin, Andressa Fernanda(1); Gachet-Barbosa, Luisa Andreia(1)

(1) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia

(2) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus São Luís – Centro Histórico, Extensão Itaqui-Bacanga

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia – Rua Paschoal Marmo, 1888 – CEP 13484-332 – Jardim Nova Itália – Limeira/SP

País: Brasil

Tel: +55 (63) 992374092

E-Mail: samiraeng@outlook.com

Palavras chave: Compósitos cimentícios; argila expandida; propriedades acústicas; materiais.

ABSTRACT

Improving the acoustic performance of buildings is a challenge for constructive technologies. In this context, this research seeks the physical, mechanical and acoustic characterization of cementitious composites with replacement of the fine aggregate by expanded clay and use air-entraining additive. For the characterization, water absorption, voids index, specific mass, compressive and tensile strength in flexion, and ultrasonic testing were performed. The use of expanded clay as aggregate in cementitious composites allowed gains in acoustic performance and reduction of the specific mass, besides being an alternative to the use of conventional aggregates

RESUMO

Melhorar o desempenho acústico das edificações é um desafio das tecnologias construtivas. Dentro desse contexto, essa pesquisa busca a caracterização física, mecânica e acústica de compósitos cimentícios com substituição do agregado miúdo por argila expandida e uso de aditivo incorporador de ar. Para a caracterização foram realizados ensaios de absorção de água, índice de vazios, massa específica, resistência à compressão e à tração na flexão, e ensaio ultrassônico. O uso de argila expandida como agregado nos compósitos cimentícios possibilitou ganhos no desempenho acústico, e redução da massa específica, além de ser uma alternativa ao uso de agregados convencionais

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem se preocupado tanto com quantidade de resíduos gerados, como o alto consumo de recursos naturais. Em função disso, passa por um momento voltado ao uso de novas tecnologias e materiais alternativos, visando reduzir desperdícios e a preservação

de recursos naturais, buscando minimizar os impactos socioambientais. Conseqüentemente, isso leva ao desenvolvimento e aplicação de concretos especiais, com características específicas, capazes de suprir deficiências ou incorporar propriedades, conferindo desempenho adequado a situações particulares de aplicação [1].

Dentre as características especiais, a busca por diminuição do peso das edificações e facilidade de manuseio e aplicação levaram ao surgimento do Concreto leve (CL) e a sua difusão em setores de construção, especialmente na fabricação de pré-moldados. Esse tipo de concreto é obtido pela incorporação de vazios que causam redução da massa específica, tanto pelo uso dos agregados sem finos, pela incorporação de ar mediante uso de aditivos, ou pela substituição dos agregados convencionais por agregados leves, como por exemplo argila expandida. Destacando que o tipo do agregado leve altera as propriedades físicas e mecânicas do concreto. [2]. Há diferentes limites de massa específica para classificar os concretos como leves, a norma brasileira ABNT NBR 8953:2015 especifica valores abaixo de 2000 kg/m^3 , além de obtenção de resistência à compressão acima de 20 MPa, aos 28 dias, para aplicação estrutural. De acordo com o ACI 213R:2014, essa resistência deve ser superior a 17 MPa.

No que se refere as bolhas de ar produzidas pelo aditivo incorporador de ar (IAR), elas aumentam a porosidade do concreto, e influenciam a trabalhabilidade e durabilidade [3]. Não obstante, o teor de ar incorporado reflete na qualidade final do concreto, sendo necessário obter uma dosagem que não comprometa a resistência mecânica e durabilidade [4].

Ao classificar o concreto como de alto desempenho (CAD), características de resistência e durabilidade superior ao concreto estrutural convencional são imediatamente correlacionadas, no entanto, não se trata apenas do desempenho mecânico, mas das diversas propriedades que interferem no desempenho global da obra [1]. As principais vantagens do CL são: diminuição da massa específica, redução de seus esforços estruturais, economia de formas e cimbramento, e diminuição dos custos de transporte e montagem [2]. Apresenta também bom isolamento térmico, e durabilidade [5]. Além disso, possui boa absorção sonora, propriedade importante em sistemas de controle de ruídos, para reduzir a energia sonora irradiada [6].

O controle de ruído do ambiente e o tema acústica das edificações tem se mostrado relevante para a indústria da construção civil, não apenas por causa do reconhecimento recente do ruído como um sério risco à saúde, mas também porque o padrão de vida e a qualidade de vida estão ficando mais importantes [7]. Além das preocupações quanto ao consumo de energia e o conforto do ambiente, pesquisas voltadas ao melhor desempenho quanto ao isolamento termo-acústico são preocupações atuais, levando ao estudo de materiais abordando fatores que correlacionem massa específica, desempenho térmico e acústico. Isso ocorre não apenas por uma necessidade mercadológica, mas também para adequação as prescrições da norma brasileira de desempenho das edificações, ABNT NBR 15575:2013, responsável por especificar as exigências, com atenção especial para a “resistência ao fogo, desempenho térmico e acústico”. As propriedades acústicas do concreto são definidas como sua habilidade de absorver e atenuar as ondas sonoras que incidem sobre a sua superfície [8]. Os principais fenômenos da propagação de ondas sonoras são a absorção e a reflexão, a absorção do som que ocorre nas superfícies incidentes é uma forma de atenuação sonora [9]. O coeficiente de atenuação acústica é determinado pela redução da amplitude de uma onda que se propaga através do material, pelo efeito combinado de espalhamento e absorção. Os valores do coeficiente de atenuação das amostras de concreto podem ser obtidos através do ensaio de ultrassom [10]; [11]. Já a velocidade com que a onda sonora se propaga é chamada velocidade do som. Nos sólidos, a velocidade de propagação sonora é ainda maior do que no ar e nos líquidos, e pode ser subdividida em velocidade de propagação sonora longitudinal (associada com as ondas de pressão ou compressão – ondas-P) e transversal (associada com as ondas de cisalhamento – ondas-S).

Estudos sobre o uso de argila expandida na produção de concreto leve, voltados ao melhor desempenho térmico e acústico, apontam como uma boa escolha de material alternativo. Carbajo *et al.* [12] citam que o comportamento acústico de materiais porosos, como a argila expandida, é gerido pela porosidade, forma e dimensão dos poros, além de sua distribuição na matriz da pasta de cimento. De acordo com [13] os materiais com maior índice de vazios

apresentam melhor desempenho acústico, ressaltando a importância da medida do índice de vazios nos concretos, visto a sua contribuição para a avaliação do comportamento acústico.

O estudo realizado por [10] com substituição do agregado graúdo por argila expandida, observando em termos da absorção acústica, que a mistura com argila (RL) apresentou o dobro da absorção da mistura com agregados convencional (RC). Por meio de ensaio de ultrassom, observou-se acréscimo na atenuação de ~25% da mistura RL comparada a RC, e redução na velocidade de propagação, mostrando que o uso de argila favorece a atenuação acústica em concretos, comportamento esperado frente a teoria dos materiais porosos.

Diante do exposto, o presente estudo avaliou as propriedades físicas, mecânicas e acústicas de compósitos cimentícios com substituição parcial do agregado miúdo por argila expandida, associado ao uso de aditivo incorporador de ar. O desempenho acústico foi avaliado por meio do ensaio ultrassônico, para a obtenção do coeficiente de atenuação sonora e da velocidade de propagação das ondas-P. Buscou-se correlacionar o percentual de vazios, redução da massa específica e o melhor comportamento acústico do material.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Os materiais utilizados para a produção dos compósitos cimentícios foram: cimento CPV ARI; sílica ativa, areia natural de origem quartzosa; argila expandida; água proveniente do sistema de abastecimento de água do município de Limeira/SP, aditivo superplastificante e aditivo incorporador de ar.

Para a caracterização dos materiais foram realizados os ensaios de: massa unitária conforme a NBR NM 45:2006 para agregados miúdos; massas específicas segundo NM 52:2009; além de massa específica do cimento conforme a NBR 16605:2017. O ensaio para determinação granulométrica dos agregados foi realizado conforme a NBR 248:2003, e foram classificados de acordo com a NBR 7211:2009. Os resultados da caracterização dos materiais utilizados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização dos materiais

Material	Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária (g/cm ³)	Dimensão máx. característica (mm)	Módulo de finura
Cimento	3,08	1,03	-	-
Sílica ativa	2,21	-	-	-
Areia natural	2,65	1,6	1,2	0,76
Argila	1,52	0,85	4,8	3,10

2.2. Métodos

2.2.2.- Dosagem

Foram produzidos quatro diferentes traços de compósitos cimentícios, sendo o de referência (Ref) sem argila e sem incorporador de ar (IAR), (Ref I) sem argila e com IAR, e os outros dois

com substituição de 50% (A50 I) e 100% (A100I) da areia por argila, associada ao uso de IAR. As composições cimentícias desenvolvidas nesta pesquisa apresentaram consumo de cimento de 450 kg/m³; 10% de sílica ativa em relação à quantidade de cimento, relação água/aglomerante de 0,35, teor de aditivo superplastificante em relação a quantidade de cimento de 0,75% para os traços referências e de 1,5% para os traços com argila, e 0,1% de IAR para Ref I, e os traços com argila. A Tabela 2 apresenta as dosagens de materiais utilizados.

Tabela 2 - Quantidade de materiais utilizados em (kg/m³)

Traço	Cimento	Sílica	Areia	Argila	SPA	IAR	a/c
Ref	450,00	50,00	1090,00	0,00	3,38	0,00	175,00
Ref I	450,00	50,00	1090,00	0,00	3,38	0,45	175,00
A50 I	450,00	50,00	546,67	310,00	6,75	0,45	175,00
A100 I	450,00	50,00	0,00	626,67	6,75	0,45	175,00

2.2.2.- Moldagem e cura dos corpos de prova

Para a produção dos compósitos seguiu-se as especificações da ABNT NBR 16541:2016, utilizando uma argamassadeira para mistura. Em seguida foi realizado o ensaio de índice de consistência de acordo com a ABNT NBR 13276:2016.

Para cada traço foram moldados 9 corpos de prova prismáticos de 4cm de largura, 4cm de espessura e 16cm de comprimento (ABNT NBR 13279:2005); 6 corpos de prova cilíndricos 5cm de diâmetro por 10 cm de altura (ABNT NBR 7215:1997). Os mesmos foram desmoldados após 24 horas e submetidos ao processo de cura úmida.

2.2.3.- Caracterização dos compósitos

Para a caracterização dos compósitos cimentícios foram realizados os seguintes testes:

- Índice de consistência conforme prescreve a ABNT NBR 13276:2016, no estado fresco;
- Massa específica no estado fresco e teor de ar incorporado, segundo ABNT NBR 9833:2009;
- Resistência à tração e à compressão de acordo com a ABNT NBR 13279:2005, aos 7 e aos 28 dias de cura, no estado endurecido;
- Absorção de água, índice de vazios e massa específica no estado endurecido, segundo a ABNT NBR 9778:2009;
- Ensaio ultrassônico de acordo com as especificações da norma EN ISO 9712 "Non-destructive testing - Qualification and certification of NDT personnel – General principles" para a obtenção do coeficiente de atenuação e velocidade de propagação das ondas-P, no estado endurecido.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Índice de Consistência

Os valores de espalhamento em (mm) dos compósitos cimentícios estão dispostos na Tabela 3. Esse ensaio verifica a consistência das misturas no estado fresco.

Nota-se que na comparação entre os traços com agregados convencionais (Ref e Ref I), o uso de aditivo incorporador de ar causou redução do espalhamento, em desconformidade com o

descrito na literatura por [14]. Segundo Barbar [13], o ar incorporado no concreto melhora sua trabalhabilidade, influenciando a consistência da mistura, por as bolhas de ar esféricas assumirem comportamento de agregado miúdo, com atrito superficial muito baixo. Já a argila expandida melhorou o espalhamento. Isso pode ser explicado pelo formato arredondado da argila expandida promover maior rolamento entre as partículas do concreto no estado fresco, em função da sua textura superficial lisa, conforme relatado por [10].

Tabela 3. Resultados de espalhamento

Traço	Espalhamento (mm)
Ref	188
Ref I	88
A50 I	194
A100 I	183

3.2 Massa específica no estado fresco e teor de ar incorporado

Na Tabela 4, estão apresentados os resultados de massa específica e teor de ar incorporado dos compósitos, no estado fresco. Observa-se que o IAR causou uma diminuição na massa específica na ordem de 13%, comparando Ref e Ref I. Porém essa redução é acentuada quando há o uso de argila expandida, sendo de 19% e 46% respectivamente para os compósitos com substituição de 50% e 100% de areia por argila, comparados com o Ref I. Houve um aumento significativo na quantidade de ar incorporado, na ordem de 227% pelo uso de aditivo, e 31% e 40%, respectivamente para os compósitos com 50% e 100% de substituição da areia por argila, comparados ao Ref I.

Tabela 4. Resultados da massa específica no estado fresco e teor de ar incorporado

Traço	Massa específica (kg/m ³)	Teor de ar (%)
Ref	2207	5,6
Ref I	1909	18,3
A50 I	1544	24,0
A100 I	1037	39,8

3.3 Absorção de água, índice de vazios e massa específica no estado endurecido

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos pela determinação da massa específica seca, absorção de água e índice de vazios para cada dosagem, aos 28 dias. Os valores representam a média de três amostras.

Tabela 5. Resultados de absorção de água, índice de vazios e massa específica

Traço	Massa específica (kg/m ³)	Absorção de água (%)	Índice de vazios (%)
Ref	2164	5,1	10,9
Ref I	2096	4,9	10,2
A50 I	1461	12,6	18,4

A100 I	1231	16,1	19,8
--------	------	------	------

Observa-se que com o aumento da substituição da areia por argila houve um acréscimo no índice de vazios e na absorção de água. Nota-se que os valores de massa específica no estado endurecido apresentaram comportamento semelhante aos do estado fresco, com decréscimo progressivo tanto pela adição de IAR, quanto pelo aumento da substituição por argila, sendo que os traços com argila, estão abaixo de 2000kg/m³, caracterizando compósitos leves.

3.4 Resistência à tração e à compressão

O uso de IAR e argila expandida reduziram significativamente a resistência mecânica dos compósitos cimentícios. Isso ocorre devido ao menor valor de módulo de elasticidade da argila em relação ao da areia natural, e aumento da porosidade resultante das bolhas de ar geradas pelo incorporador, causando redução na resistência à tração e a compressão, conforme mostram as Figuras 1 e 2.

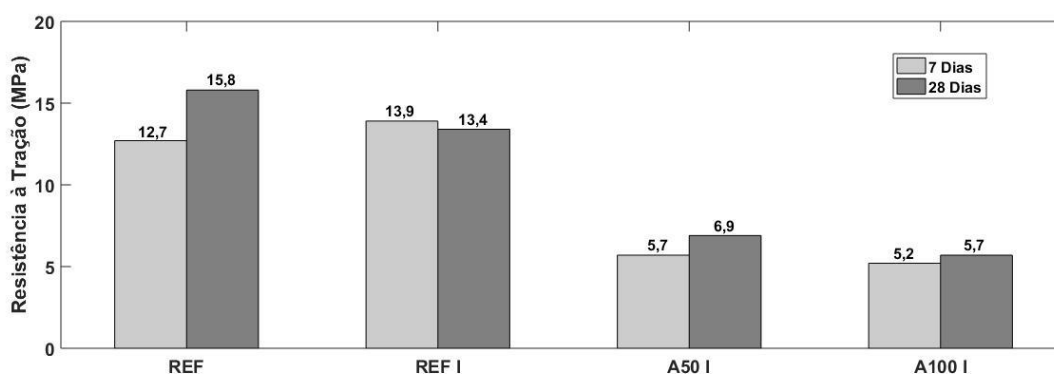


Figura 1 - Resistência à tração aos 7 e 28 dias

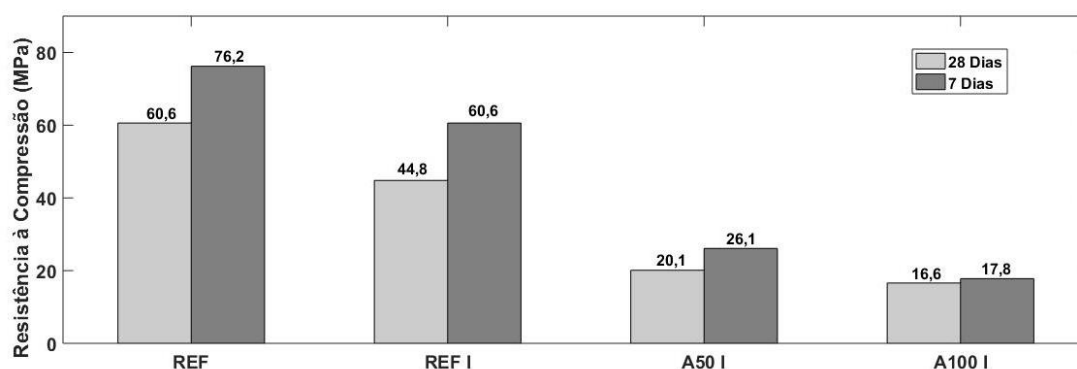


Figura 2 - Resistência à compressão aos 7 e 28 dias

A queda de resistência à tração, aos 28 dias, foi de 14,9%, entre os traços Ref e Ref I, demonstrando a interferência do IAR. Nos compósitos com substituição de 50% e 100% de areia por argila, associado ao IAR, observa-se ainda, redução de 48,3%, 57,6%, em comparação com o traço contendo apenas o IAR (Figura 1).

Na resistência à compressão o compósito Ref I apresentou quedas na ordem de 20,4% em comparação com o traço referência sem aditivo. Enquanto entre os compósitos Ref I, A50 I e A100 I, nota-se uma redução de 56,9% e 70,6%, respectivamente (Figura 2).

3.5 Propriedades acústicas

As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados das propriedades acústicas dos compósitos cimentícios obtidos pelo ensaio de ultrassom. Na Figura 3 estão relacionadas a massa específica seca e a velocidade de propagação das ondas-P. Enquanto que na Figura 4 a massa específica é relacionada ao coeficiente de atenuação.

Nota-se que com a diminuição da densidade do material, há uma redução na velocidade de propagação das ondas-P. Observa-se também o aumento da atenuação acústica em 27,2% entre Ref e Ref I. Enquanto nos traços com 50% e 100 % de argila substituindo areia, o acréscimo na atenuação é de 6,7% e 10,7%, respectivamente, comparado a Ref I.

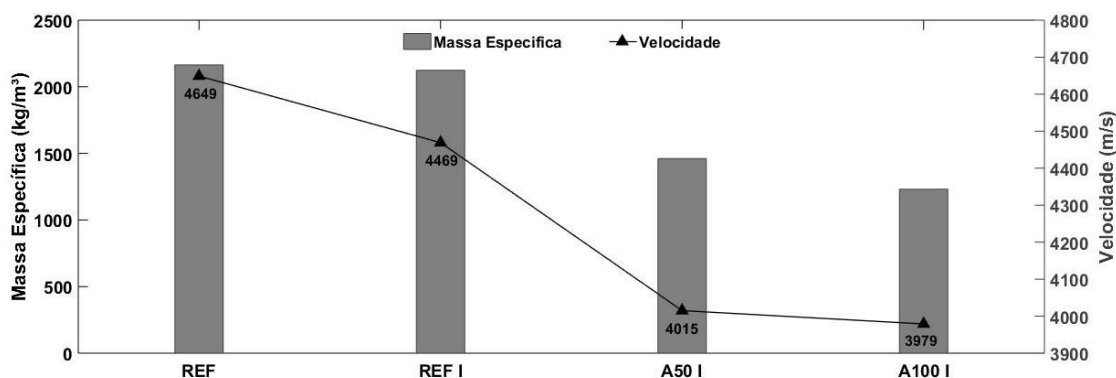


Figura 3 - Relação da massa específica e velocidade de propagação do som

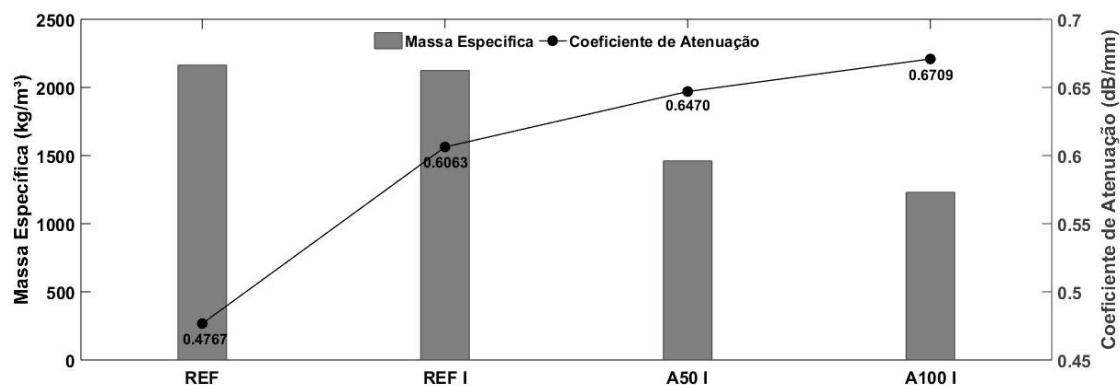


Figura 4 - Relação da massa específica e coeficiente de atenuação

4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados observa-se que o uso da argila expandida melhora o espalhamento, verificado no ensaio de índice de consistência. Além disso, ocorreu o aumento do teor de ar incorporado, diminuição da massa específica nos estados fresco e endurecido, aumento do índice de vazios e na absorção de água, resultado tanto do efeito do aditivo incorporador de ar, quanto do uso da argila expandida. Houve diminuição significativa da resistência à tração e compressão, porém com obtenção de massas específicas abaixo de 2000 kg/m³. Os traços A50I e A100 I podem ser classificados como leves, destacando que A100 I classifica-se, segundo

ABNT NBR 8953:2015, como leve estrutural, pois apresenta resistência à compressão acima de 20 MPa, aos 28 dias.

Com o uso de IAR, e aumento da substituição da areia por argila, quanto às propriedades acústicas, verificou-se ganho de desempenho, apresentando uma redução na velocidade de propagação das ondas-P e aumento na atenuação sonora. Não se descarta a possibilidade de utilizar a argila para a produção de compósitos cimentícios com características especiais, mesmo registrando queda na resistência mecânica, uma vez que há a possibilidade de aplicação em painéis de vedação, onde características de baixa densidade e bom desempenho acústico são muito relevantes.

5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] B.F. Tutikian, G.C. Isaia, P. Helene, Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho, in: Concreto Ciência e Tecnol., IBRACON, 2011: pp. 1283–1326.
- [2] J.A. Rossignolo, Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações, 1ª ed., Pini, São Paulo, 2009.
- [3] H. Wu, Z. Liu, B. Sun, J. Yin, Experimental investigation on freeze-thaw durability of Portland cement pervious concrete (PCPC), Constr. Build. Mater. 117 (2016) 63–71. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.04.130.
- [4] J.W. Assunção, Concreto Leve Autoadensável - Avaliação da influência da argila expandida no processo de dosagem e nas propriedades do concreto, Universidade de São Paulo, 2016.
- [5] J. Li, J. Niu, C. Wan, X. Liu, Z. Jin, Comparison of flexural property between high performance polypropylene fiber reinforced lightweight aggregate concrete and steel fiber reinforced lightweight aggregate concrete, Constr. Build. Mater. 157 (2017) 729–736. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.09.149.
- [6] A. Putra, K.H. Or, M.Z. Selamat, M.J.M. Nor, M.H. Hassan, I. Prasetyo, Sound absorption of extracted pineapple-leaf fibres, Appl. Acoust. 136 (2018) 9–15. doi:10.1016/j.apacoust.2018.01.029.
- [7] H. Kim, J. Hong, S. Pyo, Acoustic characteristics of sound absorbable high performance concrete, Appl. Acoust. 138 (2018) 171–178. doi:10.1016/j.apacoust.2018.04.002.
- [8] N. Holmes, A. Browne, C. Montague, Acoustic properties of concrete panels with crumb rubber as a fine aggregate replacement, Constr. Build. Mater. 73 (2014) 195–204. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.09.107.
- [9] A.L.S. Barbosa, Estudo de Barreiras Acústicas para a Atenuação do Ruído Aeronáutico no Aeroporto de Congonhas em São Paulo Tese, Universidade de São Paulo, 2015. doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- [10] A.F. Angelin, Análise dos desempenhos físicos, mecânicos, termo acústicos e microestruturais do concreto leve autoadensável emborrachado (CLAE), Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 2018.
- [11] S.R. Bistafa, Acústica aplicada ao controle do ruído, 2ª, São Paulo, 2011.
- [12] J. Carbajo, T.V. Esquerdo-Lloret, J. Ramis, A.V. Nadal-Gisbert, F.D. Denia, Acoustic properties of porous concrete made from arlite and vermiculite lightweight aggregates, Mater. Construcción. 65 (2015) 1–11. doi:10.3989/mc.2015.01115.
- [13] P. Sukontasukkul, Use of crumb rubber to improve thermal and sound properties of pre-cast concrete panel, Constr. Build. Mater. 23 (2009) 1084–1092. doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.05.021.
- [14] J.S. Barbar, Influência do teor de ar incorporado no desempenho de concretos com diferentes teores de agregados Influência do teor de ar incorporado no desempenho de concretos com diferentes teores de agregados, Tese apresentada ao Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – Campus de São Carlos, 2016.