

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS RESÍDUOS DE BORRACHA DE ISOLAMENTO ELÉTRICO E COM VERMICULITA EXPANDIDA

Jéssyka C. da Silva Dantas¹
Leonardo Martins Caetano²
Matheus Henrique Batista³
Zodínio Laurisa Monteiro⁴

RESUMO: Com o aumento das exigências mínimas de conforto e vida útil da norma de desempenho NBR 15575, juntamente com o aumento das atividades industriais, a busca por materiais alternativos que apresentem propriedades satisfatórias em diversos fins na construção civil vem se intensificando. Visando também os parâmetros de sustentabilidade, a utilização desses materiais, destinados ao descarte, se aplicam adequadamente ao desenvolvimento de novas tecnologias de conforto térmico e acústico. A incorporação desses materiais alternativos em argamassas e em concretos apresenta-se em constante crescimento, no qual diversos pesquisadores comprovam sua viabilidade econômica e ambiental. O objetivo desse trabalho é avaliar as propriedades das argamassas para revestimento com a incorporação de 5%, 10% e 15% de resíduo de borracha de isolamento elétrico (RBF) e vermiculita expandida (VE) através de ensaios de consistência, resistência mecânica (compressão e tração) e absorção. Foram produzidos 6 traços de argamassas na proporção 1:3:0,6 (cimento: areia: água) com resíduo e um traço de referência totalizando 126 corpos de prova. Os resultados mostraram que o uso de RBF e VE diminui a consistência e a resistência à compressão, à tração e à absorção. No entanto, esses materiais ainda podem ser uma boa alternativa para melhorar o desempenho térmico e acústico e contribuir para a sustentabilidade.

Palavras-chave: Argamassa leve. Resíduo de Borracha de Isolamento Elétrico (RBF). Vermiculita Expandida (VE).

ABSTRACT: The increase of the minimum requirements of comfort and useful life of the of performance norm NBR 15575, together with the increase of the industrial activities, the search for alternative materials that present satisfactory properties in several use in the civil construction has been intensifying. Aiming at the sustainability parameters, the use of these materials for disposal are appropriately applied to the development of new thermal and acoustic comfort technologies. The incorporation of these alternative materials into mortars and concretes is in constant growth in which several researchers prove their economic and environmental viability. The goal of this work is to evaluate the properties of mortars for coating with the incorporation of 5%, 10% and 15% of electrical insulating rubber residue (REI) and expanded vermiculite (EV) through tests of consistency, compressive and tensile strength and absorption. Six mix proportion 1: 3: 0,6 (cement: sand: water) of mortars were produced with residue and one for reference totaling 126 test pieces. The results showed that the use of WRR and EV decreases consistency, resistance to compression and traction and

¹ E-mail: jessyka.christianne@yahoo.com.br

² E-mail: leoteleco@yahoo.com.br

³ E-mail: matheu.004@hotmail.com

⁴ E-mail: zodinio@hotmail.com

absorption. However, these materials can still be a good alternative to improve thermal and acoustic performance and contribute to sustainability.

Keywords: Lightweight mortar. Rubber Electrical Isolation (REI). Expanded Vermiculite (EV).

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, com o aumento de destinação indevida de resíduos dos diversos tipos de atividades industriais, acentua-se a necessidade de implementação de métodos de utilização desses materiais visando uma destinação sustentável. O incentivo na utilização dos mesmos no setor da construção civil vem ganhando destaque principalmente na incorporação em materiais como concreto e argamassa que, por sua vez, ganham propriedades e destinações específicas que são definidas de acordo com o material empregado. O aproveitamento de materiais empregados neste estudo apresenta grande viabilidade econômica e sustentável como já fora comprovado em demais estudos acadêmicos como os de Sampaio et al. (2014) e Chen et al. (2013).

Segundo Reis et al.(2001), o Brasil produz 15% da geração mundial de vermiculita, ocupando a quarta colocação no ranking, detendo ainda 10% de todos os recursos. Já a maior concentração de reserva conhecida de vermiculita do mundo, com cerca de 42%, está localizada na África do Sul, seguido dos Estados Unidos e Brasil. Atualmente, o material apresenta inúmeras aplicações na construção civil, tais como: isolamento térmico e acústico, propriedades de leveza aos concretos e argamassas, painéis e divisórias internas.

Camargo (2015) e Gencil, et al. (2012) afirmam que quanto maior for a incorporação de vermiculita, menor será o ganho de resistência, porém tal perda é compensada com o ganho de características de isolamento térmico e acústico. Na Okpin e Xi Yunping (2017) analisaram os efeitos da incorporação de resíduo de borracha em argamassa e observaram uma queda significativa nas propriedades mecânicas do material, afirmando que tal fenômeno é ocasionado pela falta de aderência da borracha com o restante da mistura.

O objetivo desse trabalho foi analisar as propriedades do estado fresco e endurecido de argamassas produzidas com vermiculita expandida (VE) e resíduo de borracha de isolamento elétrico (RBF), mediante ensaios de consistência, resistência mecânica (compressão e tração) e absorção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A inovação tecnológica passou a assumir lugar de extrema importância na construção civil. A busca de recursos que possam gerar ganhos passa a assumir local de destaque nesse contexto (SOUSA, 2010). Com o prescrito na norma de desempenho, as exigências por tais materiais vêm aumentando de forma gradativa, afim de suprir as demandas.

Partindo do pressuposto, as argamassas leves (AL) têm se tornado objetivo de estudos e a escolha dos componentes da mistura, o traço, a cura, e os procedimentos de aplicação são fatores determinantes para seu desempenho (RATO, 2006). Dentre as características morfológica dessas AL o teor de vazios e a granulometria assumem um papel de extrema importância (CAMARGO, 2015).

O método de aquisição da vermiculita expandida resume-se no aquecimento da vermiculita por meio de fornos especiais, em temperaturas entre 800 e 1100 °C. Dessa forma a água presente no mineral é removida bruscamente, expandindo a vermiculita normal. Após passar pelo processo de altas temperaturas a vermiculita pode chegar a alcançar até 30 vezes o seu tamanho inicial (CAMARGO, 2015).

Camargo (2015) realizou experimentos com agregados de vermiculita expandida e argila expandida na confecção de concretos leves, nos quais foram analisadas as propriedades mecânicas e térmicas. Nos experimentos, obtiveram-se baixos resultados na resistência à compressão e com pouca influência entre o tamanho das partículas por parte da vermiculita e resultados satisfatórios nas propriedades térmicas, tendo em vista que os resultados foram melhorando com o aumento do teor incrementado a mistura.

Sampaio et al. (2016), pesquisaram a influência da vermiculita expandida e resíduos de borracha de pneus nas propriedades mecânicas, acústicas e sonoras. Os resultados mostraram uma perda de resistência e consistência à medida que adicionava os materiais a mistura, bem como, ganhos significativos nas propriedades térmicas.

O fato da perda de resistência com o incremento da VE, também foi objetivo de estudos de Gencel et al. (2013), no qual ele falava em sua pesquisa, que compósitos de base cimentícia provoca redução na massa específica, gerando o aumento de porosidade e absorção de água.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PROPORÇÃO DE MISTURA

No presente estudo foram produzidas argamassas, com proporção de mistura padrão (traço) de 1:3:0,6 (cimento: areia: água), para atender os ensaios. Ao todo, foram produzidos 7 traços, dos quais 6 receberam incorporações de RBF e VE em porcentagens de 5%, 10% e 15% e um traço foi produzido sem qualquer adição (ARG) para servir de comparação. Os detalhes dos traços encontram se expostos na tabela 1.

Tabela 1: Traços dos corpos analisados.

Traço 1:3	Cimento (Kg/m³)	Areia (Kg/m³)	RBF (Kg/m³)	VE (Kg/m³)
ARG	56,50	169,50	-	-
RBF 5%	56,50	166,67	2,82	-
RBF 10%	56,50	163,84	5,65	-
RBF 15%	56,50	161,02	8,47	-
VE 5%	56,50	166,67	-	2,82
VE 10%	56,50	163,84	-	5,65
VE 15%	56,50	161,02	-	8,47

Fonte: Autoria própria, 2018.

3.2 AREIA

Para caracterização da areia foram realizados os ensaios de Granulometria, Massa Específica Real e a Massa Específica Unitária.

O ensaio de granulometria do agregado miúdo foi regido pela norma NBR NM 248/2003. O ensaio consistiu no peneiramento de uma determinada quantidade de material em uma determinada série de peneiras, no estudo presente a serie normal de peneiras foi utilizada. A realização do ensaio de massa específica real foi feito segundo os parâmetros da NBR NM 52 /2009, que descobre sobre a utilização do frasco de Chapman para a determinação deste parâmetro. A determinação da massa específica unitária foi realizada através de uma caixa de volume conhecido, tendo o ensaio inteiramente regido de acordo com a norma NBR NM 45/2006.

3.3 CIMENTO

O cimento disponibilizado para a pesquisa foi o CP-II F 40. Os ensaios realizados para sua caracterização foram Módulo de Finura, Expansibilidade, Massa Específica e Tempo de Pega.

O ensaio de módulo de finura seguiu os parâmetros da norma NBR 11579/2012 que determina o módulo de finura do cimento pela quantidade de material retida na peneira 75 μ m, peneira considerada nº 200 pela ABNT, expresso em porcentagem de massa. Regido pela norma NBR 11582/2012, o ensaio de expansibilidade foi realizado através do equipamento de leitura de expansão denominado agulhas de Le Chatelier, que inicialmente é calibrado e executado leituras iniciais para posteriormente preenche-las com uma pasta de cimento, dos quais foram submetidos a um processo de cura durante um período de 7 dias em água possuindo temperatura $23 \pm 2^\circ\text{C}$. O ensaio de massa específica real foi executado através da norma NBR NM 23/2001, utilizando o frasco de Le Chatelier, inicialmente preenchendo-o com 250ml de querosene, efetuando uma leitura inicial e colocando-o em uma vasilha com água para a estabilização da temperatura, em seguida é colocado com o auxílio de um funil de vidro 60g de cimento sendo assim executada a leitura final. O ensaio de tempo de pega foi executado de acordo com a norma NBR NM 65/2003, que é definido pelo tempo necessário desde a implementação de água na mistura até que a agulha consiga alcançar uma penetração de 4 ± 1 mm da placa de base.

3.4 VERMICULITA EXPANDIDA

A vermiculita expandida é proveniente do estado da Paraíba e devidamente processada no município de Atibaia SP, fornecida pelo fabricante MPL (Mineração Pedra Lavrada LTDA).

3.5 RESÍDUO DE BORRACHA DE ISOLAMENTO ELÉTRICO

A caracterização da composição granulométrica do resíduo de borracha de isolamento elétrico (RBF), foi da mesma maneira do agregado miúdo, através das diretrizes da NBR NM 248/2003.

3.6 CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA

Para a avaliação das propriedades das argamassas foi realizado no estado fresco, o ensaio de consistência (Flow Table) para cada traço de acordo com a norma NBR 13276/2002, o ensaio foi executado com auxílio de um cone cilíndrico, que foi preenchido com argamassa em três camadas iguais, compactadas com auxílio de um soquete, com 15, 10 e 5 golpes cada camada respectivamente. Em seguida foi submetida a trinta golpes consecutivos, cada golpe efetuado a cada segundo, totalizando 30s. Após submetida aos golpes foram tiradas três medidas com auxílio de uma régua metálica, cuja a média está disposta nos resultados.

No estado endurecido das argamassas foram realizados ensaios de resistência à compressão, tração e absorção de acordo com as normas NBR 5739/1994, NBR 7222/2010, e NBR 9778/1987 respectivamente.

Para a obtenção das características mecânicas de compressão e tração, foram moldados 3 amostras para cada traço com idades de 3, 7 e 28 dias respectivamente. As amostras foram rompidas com auxílio de uma prensa manual hidráulica com capacidade de 100 Toneladas, do modelo I-3001-C. Para a o ensaio de compressão, os corpos foram colocados na prensa e submetidos a uma solicitação axial. No ensaio de tração das amostras os corpos foram dispostos na prensa horizontalmente e submetidos a uma compressão diametral.

O ensaio de absorção foi executado quando os corpos completaram 28 dias em cura, foram selecionadas três amostras das quais foram secas previamente e pesadas anotando-se a massa da amostra a uma temperatura ambiente, posteriormente as amostras foram colocadas em estufa durante um período de 24h a uma temperatura de 110°C, após o processo retirou-se as amostras da estufa deixando-as esfriarem e as pesando novamente para a obtenção dos dados necessários para a determinação da absorção dos corpos.

4 RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS USADOS NA PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS

Os resultados da tabela 2 apresentam as principais características de RBF, areia e cimento e a tabela 3 mostra a caracterização da VE.

Carpe Diem: Revista Cultural e Científica do UNIFACEX. v. 16, n. 2, 2018. ISSN: 2237 – 8685. Paper avaliado pelo sistema *blind review*, recebido em 02 de Maio de 2018; aprovado em 10 de Julho de 2018.

A areia utilizada para a realização dos ensaios apresenta-se dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma NM 248/2003. O resíduo de borracha (RBF) utilizado no estudo apresenta uma curva mais acentuada devido a uniformidade dos grãos, que se apresentam em maior porcentagem em diâmetros abaixo de 2,4mm. A vermiculita utilizada no estudo é caracterizada como média, apresentando uma curva granulométrica próxima do limite superior estabelecido pela norma, possuindo características de um material graduado.

Tabela 2: Caracterização do aglomerante, agregado miúdo e resíduo de borracha de isolamento elétrico (RBF).

	RBF	Areia	Cimento
Diâmetro máximo (mm)	4,75	4,75	-
Módulo de finura (%)	-	3,11	9,17
Massa unitária (g/cm³)	-	1,44	-
Massa específica real (g/cm³)	-	2,62	3,066
Consistência normal (água/cimento)	-	-	0,29
Expansibilidade (mm)	-	-	0,58
Tempo de pega (HH:mm)	-	-	01:43

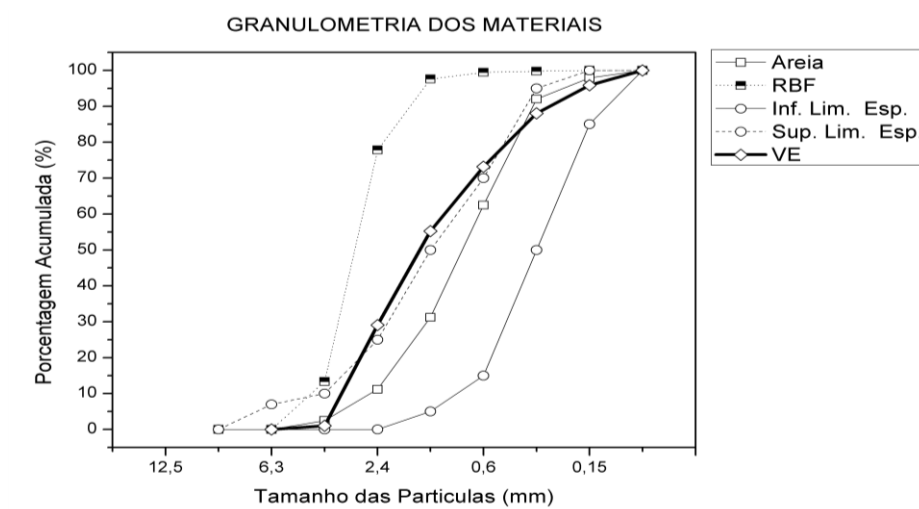
Fonte: Autoria própria, 2018.

Tabela 3: Características físicas da vermiculita expandida (VE).

Características Físicas	VE
Densidade (Kg/m³)	90 – 150
Peso específico (g/cm³)	2,6
Temperatura máxima recomendada (°C)	1.20
Temperatura de amolecimento (°C)	1.26
Temperatura de fusão (°C)	1.32
Calor específico (Kcal/Kg°K)	0.84
Condutividade Térmica (W/m°K)	0.062 – 0.065
PH	7
Umidade máxima (%)	7,0
Tipo	Média
Massa Específica (Kg/m³)	90 – 140
Peso por saco (Kg)	9 – 14

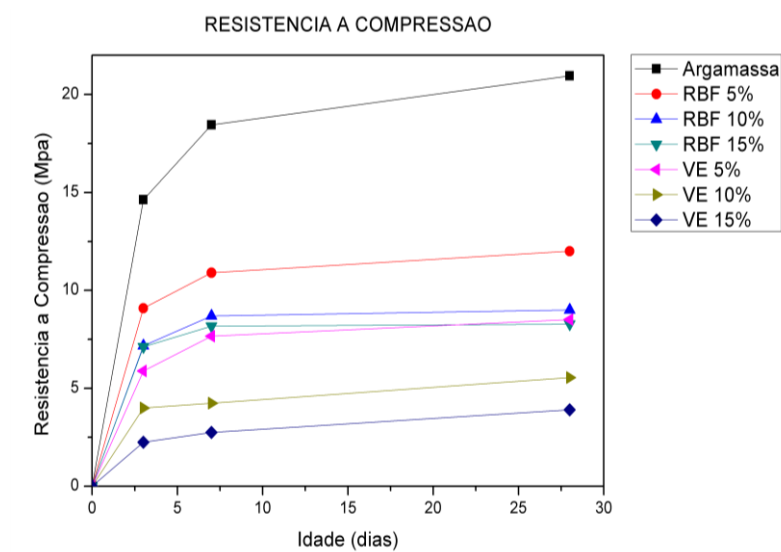
Fonte: Autoria própria, 2018.

Figura 1: Distribuição granulométrica do resíduo de borracha de isolamento elétrico (RBF) e vermiculita expandida (VE).



Fonte: Autoria própria, 2018.

Figura 2: Resistência a compressão dos traços com incorporação de vermiculita expandida (VE) e resíduo de borracha de isolamento elétrico (RBF).

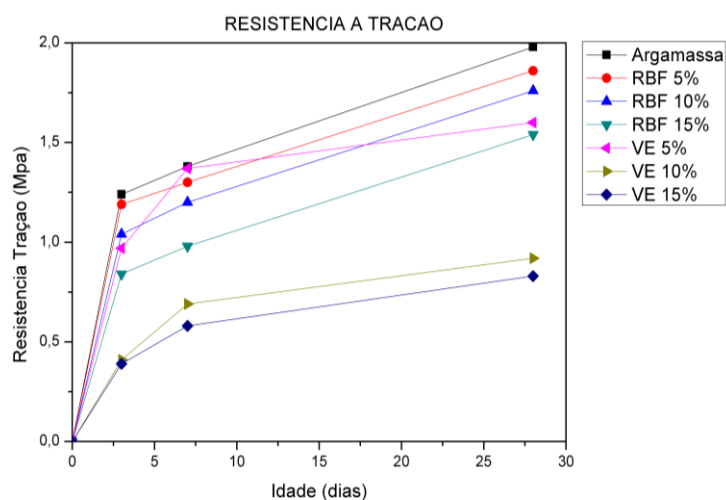


Fonte: Autoria própria, 2018.

De acordo com os dados levantados no ensaio de compressão axial dos corpos de estudo, observa-se uma perda significativa de resistência de acordo com o aumento do teor de incorporação de resíduo de borracha de isolamento e elétrico (RBF) e vermiculita expandida (VE), apresentando uma perda máxima de 60,48% nos corpos de RBF 15% e uma perda máxima de 81,38% nos corpos de VE 15%, aos 28 dias respectivamente, em relação a resistência do traço de argamassa referência. Tal queda na resistência com o aumento dos

teores de incorporação tanto do VE como do RBF é devido à baixa resistência mecânica dos agregados artificiais em comparação aos agregados naturais. Outro motivo para a queda de resistência é relacionado com a fraca adesão entre os agregados (RBF e VE) e a pasta de cimento. Na Okpin e Xi Yunping (2017), em seu estudo, observou um decréscimo de 70% nas propriedades mecânicas dos traços.

Figura 3: Resistência a tração dos traços com incorporação de vermiculita expandida (VE) e resíduo de borracha de isolamento elétrico (RBF).



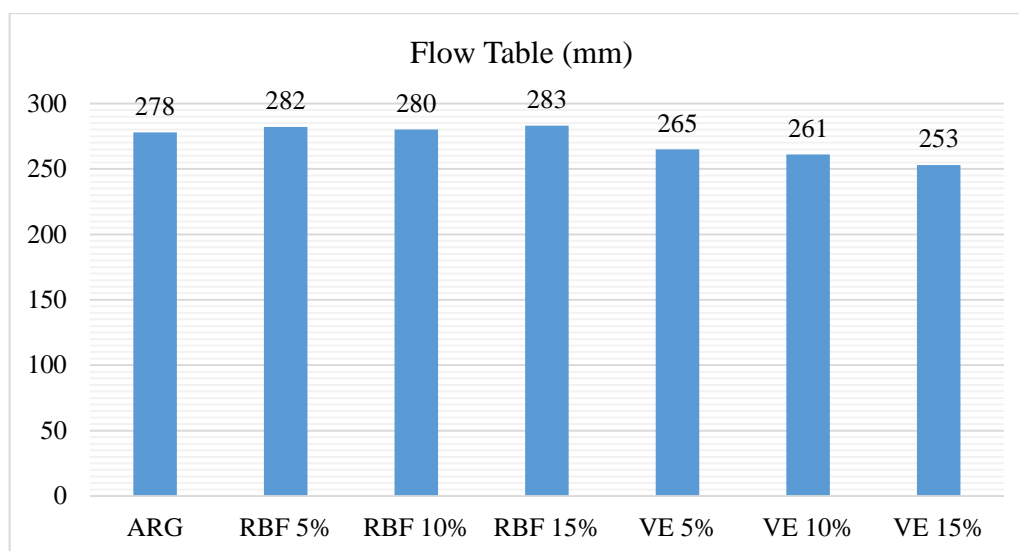
Fonte: Autoria própria, 2018.

Os resultados do ensaio de tração por compressão diametral mostraram um comportamento semelhante ao demonstrado pelo ensaio de compressão axial. Os traços com maiores teores de incorporação de RBF e VE apresentaram uma perda significativa de resistência quando comparado com o traço de argamassa referência, apresentando uma perda máxima de 22,22% no traço RBF 15% e 58,1% no traço VE 15% aos 28 dias respectivamente. A mesma justificativa apresentada para a resistência à compressão é válida para a resistência à tração, uma vez que são intimamente relacionadas (normalmente 10 a 15% da resistência à compressão).

Os resultados da figura 4 mostraram um índice de consistência semelhante entre os traços com teores de RBF e a argamassa de referência, e uma queda notória entre os traços com incorporação de VE e a argamassa de referência. Tal comportamento é justificado pelo fato da VE absorver bastante água, diminuindo assim a quantidade necessária para manter consistência provocando a queda desta propriedade. A RBF não absorve água, o que naturalmente resulta em uma consistência maior. A influência da incorporação de vermiculita

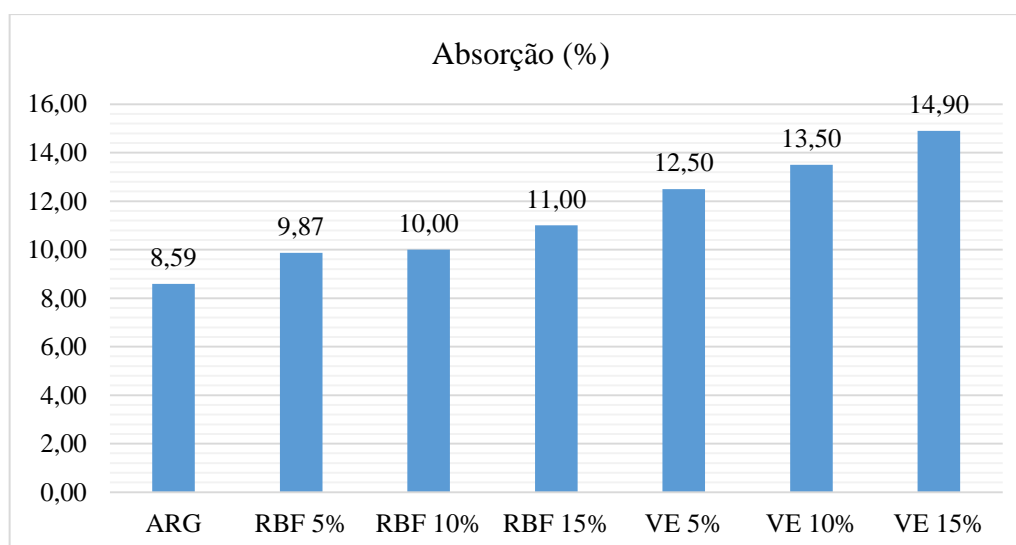
expandida refletiu diretamente na trabalhabilidade da mistura deixando o material sem coesão quando incorporado em teores elevados. Os pesquisadores Silva et al. (2009) e Camargo (2015), obtiveram resultado semelhante em seus estudos, nos quais afirmam uma redução significativa na coesão, resultantes da incorporação de vermiculita expandida.

Figura 4: Valores de índice de consistência.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Os resultados da absorção apresentados na Figura 5 mostraram que quanto menor a incorporação de VE e RBF menor é a absorção de água. Também foi observado que a absorção foi maior para argamassas com VE. A distribuição de partículas observado na curva granulométrica da VE (grãos finos) aliada a morfologia das suas partículas (forma e porosidade) contribuíram para um aumento da porosidade nas argamassas o que teve como consequência um aumento também na absorção de água. Resultados semelhantes também já haviam sido relatados por diversos autores, dentre eles Silva et al. (2009) e Camargo (2015).

Figura 5: Valores de absorção.

Fonte: Autoria própria, 2018.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de VE e RBF diminuiu a consistência, absorção e resistência mecânica das argamassas. Essa diminuição é mais significativa com o aumento dos teores de VE devido a sua forma estrutura e granulometria. Argamassas com baixos teores de RBF e VE (5%) apresentaram melhor consistência, absorção e resistência mecânica das argamassas.

De uma forma geral pode se afirmar que a granulometria e morfologia da VE diminuiu a consistência e resultou em uma argamassa mais porosa e conseqüentemente menos densa. Esse fato aliado a baixa aderência da RBF e VE resultou na redução da resistência mecânica das argamassas.

O uso desses materiais pode apresentar uma solução para fabricação de argamassas com bom isolamento térmico e acústico, visto que não necessita de valores altos de resistência mecânica, e ainda pode contribuir para a sustentabilidade, visto que reutiliza materiais que poderiam ser descartados no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

_____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006. 8 p.

_____. **NBR 11579**: Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012. 4 p.

_____. **NBR 11582**: Cimento Portland – Determinação da expansibilidade Le Chatelier. Rio de Janeiro, 2016. 4 p.

_____. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001. 5 p.

_____. **NBR NM 65**: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003. 4 p.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002. 3 p.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. 4 p.

_____. **NBR 7222**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2010. 7 p.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987. 3 p.

A. B. FRANÇA, S. C. A. e LUZ, **Utilização da vermiculita como adsorvente de compostos orgânicos poluentes da indústria do petróleo**, XIX Encontro Nac. Trat. Minérios e Metal. Extrativa., p. 547–553, 2002.

F. R. F. de SILVA JR. U. G., MELO, M. A. de F., SILVA A. F. da, Adsorption of crude oil on anhydrous and hydrophobized vermiculite, *Journal of Colloid and Interface, Science* (80-), v. 260, p. 302–304, 2003.

KORKUT, Turgay, KOKSAL, Fuat., GENCEL, Osman., **Neutron Shielding Properties of Some Vermiculite-Loaded New Samples**, INTECH Open Access Publ., 2012.

NA, O. & Xi, Y. *J Mater Cycles Waste Manag* (2017) 19: 763. Disponível em: <<https://doi-org.ez139.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10163-016-0475-2>>.

REIS, Elpidio. **Levantamento da Situação e das Carências Tecnológicas dos Minerais**

Carpe Diem: Revista Cultural e Científica do UNIFACEX. v. 16, n. 2, 2018. ISSN: 2237 – 8685. Paper avaliado pelo sistema *blind review*, recebido em 02 de Maio de 2018; aprovado em 10 de Julho de 2018.

Industriais Brasileiros – Com enfoque na mineração de: Argila para cerâmica, barita, Bentonita, Caulim para carga, talco/Agalmatolito e Vermiculita, 2001.

S.- H. Chen, H.-Y. Wang, and J.-W. Jhou, **Investigating the properties of lightweight concrete containing high contents of recycled green building materials**. *Constr. Build. Mater*, v. 48, p. 98–103, 2013.

S. M. CAMARGO. **Avaliação da adição de vermiculita expandida em diferentes granulometrias em concretos leves produzido com argila expandida**, 2015.

SAMPAIO, Z. L. M. et al., **Análise do desempenho térmico , acústico e mecânico de concretos com adição de resíduos de borracha de pneu e vermiculita expandida**. (Analysis of performance thermal , acoustic and mechanical concretes with addition of rubber wastes of tire and expanded ver), 58° Congr. Bras. do Concreto, n. 1, p. 1–15, 2016.

SAMPAIO, Z. L. M.; Souza, P. A. B. F.; Gouveia, B. G. **Análise da influência das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar no comportamento mecânico de concretos**. **Rev. IBRACON Estrut. Mater.** São Paulo, v. 7, n. 4, p. 626-647, Aug., 2014.

SILVA, L. M. et al. Role of lightweight fillers on the properties of a mixed-binder mortar. **Elsevier**. Portugal, p. 1-6. 02 jan. 2008. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/cemconcomp>. Acesso em: 28 jun. 2009.

SOUSA, A. J. C. de, **Aplicação de Argamassas Leves de Reboco e Assentamento em Alvenarias**, p. 113, 2010.

V. M. GERARD, **Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks**, Kluwer Acad.

V. N. da P. M. Rato. **Influência da Microestrutura Morfológica no Comportamento de Argamassas**, 2006.

W. GENCEL, O., KOKSAL, F., SAHIN, M., DURGUN, M. Y., HAGG LOBLAND, H. E., BROSTOW, **Modeling of thermal conductivity of concrete with vermiculite using by artificial neural networks approaches.**, *An Int. J.*, 2013.