AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VERMICULITA NA RETRAÇÃO DE PLACAS DE REVESTIMENTO A BASE DE CIMENTO PORTLAND

I.SCHORR
Engenheira Civil
UNISINOS/Departamento de Engenharia Civil
São Leopoldo/RS; Brasil
ingrid_schorr@hotmail.com

J.DAUDT
Graduando em Engenharia Civil
UNISINOS/Departamento de Engenharia Civil
São Leopoldo/RS; Brasil
julio.daudt@gmail.com

T.KUNRATH
Graduando em Engenharia de Produção
UNISINOS/Grupo de Pesquisa em Modelagem para Aprendizagem
São Leopoldo/RS; Brasil
tobias.kunrath@gmail.com

M.KULAKOWSKI
Professora Doutora
UNISINOS/Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
São Leopoldo/RS; Brasil
marlovak@unisinos.br

RESUMO

Este estudo foi desenvolvido com argamassas leves para aplicação em placas de revestimento de paredes e fachadas, cujo acabamento reproduz a textura de uma rocha natural, sendo uma alternativa ao uso dessa matéria prima. Placas de revestimento já vêm sendo empregadas comercialmente em grande escala, inclusive as produzidas com argamassa leve. Entretanto, em muitos casos, manifestações patológicas associadas à fissuração por retração das placas são observadas, o que gera um cenário desfavorável para sua aplicação. Neste trabalho foi avaliada a substituição parcial de argila expandida (largamente empregada) por vermiculita, que foram utilizadas como agregado miúdo da argamassa leve constituinte das placas. A vermiculita é um material mineral, que após submetida a um processo de aquecimento, expande-se e torna-se uma alternativa ao uso de argila expandida. Foram realizados experimentos de retração e absorção nas argamassas com substituições de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, que indicam que a vermiculita não se apresenta como potencialmente efetiva na redução da retração.
Palavras-chave: Placas de revestimento. Argamassa leve. Vermiculita. Retração.

ABSTRACT

This study was developed with lightweight mortars for application to wall cladding panels and facades, whose finish reproduces the texture of a natural rock, being an alternative to the use of this raw material. Cladding panels have already been used commercially on a large scale, including those produced with lightweight mortar. However, in many cases, pathological manifestations associated with the cladding panels shrinkage cracking are observed, which creates an unfavorable scenario for its application. In this work the partial substitution of expanded clay (widely employed) for vermiculite was evaluated, which were used as small aggregate of the lightweight constituent mortar of the panels. The vermiculite is a mineral material, which after being subjected to a heating process, expands and becomes an alternative to the use of expanded clay. Shrinkage and absorption experiments were performed on the mortars with substitutions of 10%, 20%, 30%, 40% and 50%, which indicate that vermiculite does not present itself as potentially effective in the reduction of the retraction.
Keywords: Cladding plates. Lightweight mortar. Vermiculite. Shrinkage.

1. INTRODUÇÃO

Muitos materiais a base de cimento Portland vêm sendo desenvolvidos nas úlitmas décadas, para diferentes aplicações, desde instrumentos decorativos a elementos construtivos aparentes. (HELENE, 2005). As placas cimentícias formam uma categoria destes materiais, empregados, principalmente, como revestimento de piso ou de parede. A maior vantagem das sobreposições verticais é a versatilidade, além da flexibilidade

no tamanho das peças, indicando potencial aplicação em diferentes formas, cores, e sistemas construtivos. (CONCRETE NETWORK, 2016).

Para a fabricação destas placas destinadas ao revestimento de paredes, o material mais usado vem sendo a argamassa. (NEVILLE, 2013). A argamassa leve mostra-se bastante eficiente sob a perspectiva de aplicação estética, como acabamento final de paredes, por exemplo. Segundo Helene (2005) e Corinaldesi et al. (2016), as vantagens do uso de misturas cimentícias leves são muitas, destacando-se a redução do peso total de uma edificação, que influencia diretamente nas dimensões das fundações. Além disso, os benefícios relacionados à redução do impacto ambiental destes compósitos são os mais significativos, em particular quando se utiliza matéria-prima alternativa na sua produção. (FAVA et al., 2011).

Muitos são os tipos e origens dos agregados leves empregados na dosagem de compósitos cimentícios leves, tendo suas propriedades já discutidas na literatura técnica nos últimos anos, como exemplo citam-se o resíduo de vidro, (CORINALDESI et al., 2005), resíduo de PET, (CORINALDESI et al., 2015), a argila expandida, (CHANDRA; BERNTSSON, 2002), a vermiculita expandida, (SHANNAG, 2011), a cinza volante, (CHEN et al., 2010) e esferas de poliestireno, (LAUKAITIS et al., 2005); dentre outros. Estes agregados são classificados em três grupos de acordo com sua origem. Os agregados naturais são extraídos diretamente da natureza, (ASLAM et al., 2017), Rossignolo e Agnesini (2011) informam que os artificiais são obtidos pela siterização do material de origem ou por meio de um forno rotativo e os agregados provenientes de resíduos formam a terceira categoria. A massa específica de um agregado leve, segundo a *American Concrete Institute* (2003), deve ser entre 400 kg/m³ e 1800 kg/m³.

Ambientes suscetíveis a elevadas variações térmicas, ou submetidos a altos ruídos sonoros são locais em que os materiais a base de agregados leves podem mostrar-se significantemente eficientes, pois reduzem os efeitos dessa exposição direta, como mostram Neville (2013), Trtik et al. (2011) e Schackow et al. (2014).

Sabe-se que os concretos leves estruturais ainda têm seus benefícios contestados e discutidos, (MADANDOUST et al., 2011), mas argamassas de revestimento que têm em sua matriz os agregados leves já são mais aceitos, tendo em vista que não exige-se comportamento estrutural destas. Neste contexto que inserem-se as placas leves e decorativas de revestimento, objeto de estudo neste trabalho.

Segundo Shafigh et al. (2018) a argila expandida é um dos materiais leves citados que mais está sendo utilizada, inclusive para concretos leves estruturais. São agregados artificiais produzidos em fornos rotativos, que tem em sua composição química o óxido de alumínio (Al_2O_3), dióxido de silício (SiO_2) e água, tendo como mineral básico a caulinita. (ROSSI, 2000). Seus benefícios estão associados a crosta microporosa rígida que estrutura a superfície dos grãos, aumentando sua resistência mecânica, além de seu interior cerâmico poroso que reduz seu peso específico. (MORAVI, 2006).

Conforme Schackow et al. (2014) a vermiculita expandida mostra-se como uma alternativa potencial ao emprego da argila expandida. É um material que naturalmente tem pouca aplicação prática, mas que após um processo de esfoliação torna-se um material com baixa densidade e excelentes propriedades termo-isolantes. (LORENZON et al., 2004). Sua composição química, em geral, é dada por óxido de magnésio (MgO), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de ferro (FeO), dióxido de silício (SiO_2) e água. (FRANÇA et al., 2016).

As placas de revestimento produzidas no Brasil são, normalmente, de argamassa leve com argila expandida como agregado miúdo. Este material, ainda não é utilizado nas mesmas proporções de aplicação dos pisos cerâmicos tradicionais, mas mostram-se efetivamente potenciais para emprego em edificações residenciais e comerciais. (CONCRETE NETWORK, 2016).

Sabe-se que a retração dos materiais cimentícios é um dos parâmetros mais fundamentais para o dimensionamento e tomada de decisão quanto aos elementos construtivos, estruturais ou não. (OLIVEIRA et al., 2014). A retração é um fenômeno que ocorre em matrizes cimentícias em virtude dos mecanismos físico-químicos inerentes ao processo de hidratação do cimento e à perda de água para o meio. (MEHTA; MONTEIRO, 2014; SENISSE, 2015).

Nas placas de argamassa utilizadas como revestimento, a retração é um dos principais problemas associados à durabilidade destes elementos, visto que a falta ou perda de aderência da argamassa ao substrato normalmente está associada à retração. Essa aderência deficiente em termos operacionais reduz a vida útil dos revestimentos e vem aumentando o passivo ambiental da construção civil, criando um cenário preocupante para as construtoras e usuários. (CARASEK et al., 2001; EGUCHI; TERANISHI, 2005; KAZMIERCZAK et al., 2007).

Existem algumas medidas que podem mitigar a retração, dificilmente anulando-a, mas reduzindo o impacto negativo que o fenômeno causa, como afirmam Mehta e Monteiro (2014). Nunes e Figueiredo (2007) salientam a importância da escolha dos materiais, e Zhang et al. (2013) mostram que o teor de agregado da mistura e o tipo de agregado utilizado influenciam diretamente sobre os mecanismos físicos da retração.

Este artigo insere-se em um contexto de avaliação da retração de argamasas utilizadas na produção de placas de revestimento, verificando a influência da substituição parcial de argila expandida por vermiculita expandida como agregado miúdo, haja visto que o tipo de agregado interfere nos processos de retração de matrizes cimentícias. Pretende-se compreender qualitativamente a interferência da vermiculita na argamassa, analisando quantitativamente suas propriedades de absorção de água e variação volumétrica.

O artigo está dividido em três seções além desta introdução. Em seguida serão apresentados os materiais e métodos utilizados para realizar essa pesquisa. Na terceira seção são apresentados os principais resultados obtidos e por fim, na quarta secção, são explicitadas as conclusões do trabalho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Nesta seção serão apresentados os materias utilizados para desenvolver a pesquisa. Entre eles, destacam-se os seguintes materiais: cimento Portland branco (CPB), argila expandida e vermiculita expandida.

2.1.1 Cimento Portland Branco

Utilizou-se o CPB estrutural com classe de resistência de 40 MPa. A utilização deste cimento justifica-se por ser um cimento usualmente empregado para acabamentos, sendo artefatos decorativos ou na fabricação de peças pré moldadas. (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Para a caracterização do cimento foram realizados os ensaios de massa específica (picnômetro com gás hélio, MicroMeritics AccuPyc II 1340) e granulometria a lazer por via úmida (Microtac S3500). O cimento tem massa específica de 3,07 g/cm³, diâmetro médio de partículas de 18,82µm, distribuição granulométrica de 10% passante com diâmetro de 5,59µm, 50% com 17,04µm e 95% com 38,76µm.

2.1.2 Argila Expandida

A argila expandida que foi utilizada é do tipo 0500, fornecida pela empresa CINEXPAN, localizada na cidade de Várzea Paulista (SP). Para a caracterização da argila expandida realizou-se os ensaios de distribuição granulométrica, massa específica, massa unitária e absorção de água; de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), NBR NM 52 (ABNT, 2009), NBR NM 45 (ABNT, 2006) e NBR NM 30 (ABNT, 2001), respectivamente. O material apresentou dimensão máxima de 4,8 mm e módulo de finura 4,07, massa específica de 1,52 g/cm³, massa unitária de 0,66 g/cm³ e absorção de água de 29,6%.

2.1.3 Vermiculita Expandida

A vermiculita expandida utilizada é um mineral do tipo mica com uma estrutura lamelar composta de silicato hidratado de magnésio, alumínio, cálcio e ferro. (TERRA MATER, S/D). Para a caracterização da vermiculita expandida obteve-se a distribuição granulométrica, massa específica, massa unitária e absorção de água, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), NBR NM 52 (ABNT, 2009), NBR NM 45 (ABNT, 2006) e NBR NM 30 (ABNT, 2001), respectivamente. A vermiculita expandida apresentou dimensão máxima de 4,8 mm e módulo de finura 3,24, massa específica de 1,15 g/cm³, massa unitária de 0,14 g/cm³ e absorção de água de 275,6%.

2.1.4 Aditivo Superplastificante

O aditivo utilizado nesta pesquisa é um superplastificante ADVA CAST 518 fornecido pela GRACE. Segundo informações do fabricante é um aditivo superplastificante a base de policarboxilatos, recomendando-se utilizar entre 0,5 a 1,0% de aditivo em relação a massa de cimento. De acordo com o fabricante, o aditivo caracteriza-se como um líquido de cor alaranjada, apresentando um teor de sólidos de 35,27%, pH de 5,88 e peso específico de 1,069 g/cm³.

2.2 Métodos

Para atingir os objetivos propostos, realizou-se os ensaios de variação dimensional, absorção total de água por imersão, absorção de água por capilaridade, índice de vazios e massa específica no estado endurecido. Para caracterização das argamassas no estado fresco realizou-se a determinação do índice de consistência.

2.2.1 Definição dos Traços

O proporcionamento dos materiais estabelecido como referência é 1:1,72:0, em volume (CPB:argila expandida:vermiculita expandida). Fixou-se 2% de aditivo superplatificante e uma relação água/cimento de 0,44 para todos os traços reproduzidos em laboratório. A fim de avaliar o desempenho das argamassas das placas com a substituição da argila expandida por vermiculita expandida, foram definidos cinco teores de substituição parcial: 10%, 20%, 30%, 40% e 50%, que estão detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 – Proporcionamento dos materiais

Traço Unitário	Cimento Portland Branco (%)	Argila Expandida (%)	Vermiculita (%)
Traço ref. (1:1,72:0)	100	100	0
T1 (1:1,548:0,172)	100	90	10
T2 (1:1,376:0,344)	100	80	20
T3 (1:1,204:0,516)	100	70	30
T4 (1:1,032:0,688)	100	60	40
T5 (1:0,860:0,860)	100	50	50

Fonte: Elaborado pelos autores.

Vale salientar que os agregados passaram por um processo de pré-molhagem antes de serem inseridos na mistura, sendo expostos por 30 minutos à umidade de 14% em relação ao agregado seco. Esse procedimento foi realizado visando a mitigar o efeito da alta taxa de absorção inicial de agregados leves, como outros autores já procederam, a exemplo de Schackow et al. (2014).

É necessário fazer uma observação quanto ao traço 5, com 50% de vermiculita. Este traço apresentou, mesmo com o teor de aditivo inicialmente especificado, uma consistência inadequada para moldagem dos corpos de prova. Para fins de verificação de comportamento com base na trabalhabilidade, decidiu-se acrescentar mais 1% de aditivo superplastificante nesta mistura.

2.2.2 Variação Dimensional

O ensaio de variação dimensional foi realizado conforme NBR 15261 (ABNT, 2005). Para realização do ensaio, foram confeccionados três corpos-de-prova prismáticos de 2,5 cm x 2,5 cm x 28,5 cm para cada traço. As leituras foram realizadas com 1, 7, 28, 63 e 191 dias de idade, sendo realizadas três leituras por corpo-de-prova, sendo adotado como valor final a média das três medidas.

2.2.3 Absorção de Água por Imersão, Índice de Vazios, Massa Específica no Estado Endurecido e Índice de Consistência no Estado Fresco

Os parâmetros experimentais para a determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica no estado endurecido foram definidos a partir da NBR 9778 (ABNT, 2005). Foram moldados três corpos-de-prova 4 cm x 4 cm x 16 cm por traço avaliado e ensaiados aos 28 dias de idade.

Para os ensaios de índice de consistência no estado fresco foram seguidos os procedimentos da NBR 13276 (ABNT, 2016), sendo realizadas três medidas de espalhamento para cada amostra, sendo adotado o valor médio.

2.2.3 Absorção de Água por Capilaridade

Para o ensaio de absorção de água por capilaridade seguiu-se o procedimento indicado pela RILEM TC 116 (1999). Foram ensaiados três corpos-de-prova prismáticos por traço, com dimensões de 4 cm x 4 cm x 4 cm. Depois de se completar o regime de cura especificado, aos 28 dias as amostras foram colocadas e mantidas em estufa a 60°C até constância de massa. O acompanhamento da absorção capilar de água foi realizado em intervalos de tempo definidos em: 1, 2, 3, 4, 5, 10, 30 minutos e 1, 2, 3, 4, 5, 6 horas; abrangendo a taxa de sucção capilar.

3. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos no programa experimental proposto.

3.1 Massa Específica, Índice de Vazios e Absorção de Água

A Tabela 2 mostra os resultados das características da argamassa avaliadas no estado endurecido, além do índice de consistência. É possível perceber pelo índice de consistência médio, que existe uma tendência de comportamento de redução do espalhamento com o aumento do volume de vermiculita em relação à argila expandida. Isso pode ser explicado a partir da diferença de absorção de água dos agregados leves, haja visto que a vermiculita é, aproximadamente, 9 vezes mais absorvente que a argila expandida (ver item 2.1). Quanto mais absorção de água o agregado apresentar, maior a retenção de água em sua matriz porosa e menor a fluidez da mistura, o que indica concordância com o trabalho de Schackow et al. (2014), visto que os índices de consistência das suas misturas também diminuíram com o incremento da vermiculita. Consequência disso é a maior demanda de água e/ou aditivos superplastificantes em misturas de argamassas leves, quando comparadas com argamassas convencionais, para o mantimento da mesma trabalhabilidade. Daí a justificativa para a utilização de 1% de aditivo superplastificante acima da referência fixada para o traço 5, visto que a mistura prevista inicialmente não apresentou coesão suficiente para moldagem.

Quando analisados os resultados obtidos de massa específica no estado endurecido, verifica-se uma redução da massa específica das misturas ao ser empregado a vermiculita, em relação ao traço referência. Isso pode ser justificado pela estrutura mais porosa da vermicuita em relação à argila expandida, como afirmam Rossignolo e Agnesini (2011). Salienta-se, entretanto, que os valores das misturas estudadas apresentam pouca variação em relação ao traço referência, além disso, não mostraram-se com uma evolução gradual de comportamento. Acredita-se que isso está relacionado às variáveis exógenas que não foram precisamente controladas no programa experimental.

Tabela 2 – Propriedades no estado endurecido e índice de consistência

Traço	Consistência Média (mm)	Massa Esp. Estado Endurecido (kg/m³)	Índice de Vazios (%)	Absorção de Água Total por Imersão (%)
Traço Ref.	325	1367,8	21,2	15,4
T1 - 10%VER	292	1251,4	21,4	17,1
T2 - 20%VER	280	1231,2	23,1	18,8
T3 - 30%VER	280	1304,2	26,5	20,3
T4 - 40%VER	190	1228,0	27,2	22,1
T5 - 50%VER	230	1261,4	30,4	24,1

Fonte: Elaborado pelos autores.

O traço 5 mostrou-se com um índice de vazios aproximadamente 40% superior ao traço referência, além de seguir uma tendência progressiva de aumento do índice de vazios com a incorporação de vermiculita, o que está de acordo com o discutido na literatura. O trabalho de Medri et al. (2015) também mostra que a vermiulita incorpora vazios na matriz cimentícia, não só em número, mas em tamanho. Esse resultado de Medri et al. (2015) mostra uma possível explicação para os resultados encontrados aqui.

No que diz respeito à absorção de água por imersão, observa-se que o traço com 50% de vermiculita expandida absorve 56% a mais de água, em comparação com o traço referência. A vermiculita expandida tem capacidade de reteção de água nas fases iniciais de mistura, mas pode liberar essa água ao longo do tempo, conforme França et al. (2016). Este fenômeno pode resultar na liberação de água interna dos agregados para o ambiente, ocasiando a retração por secagem das argamassas.

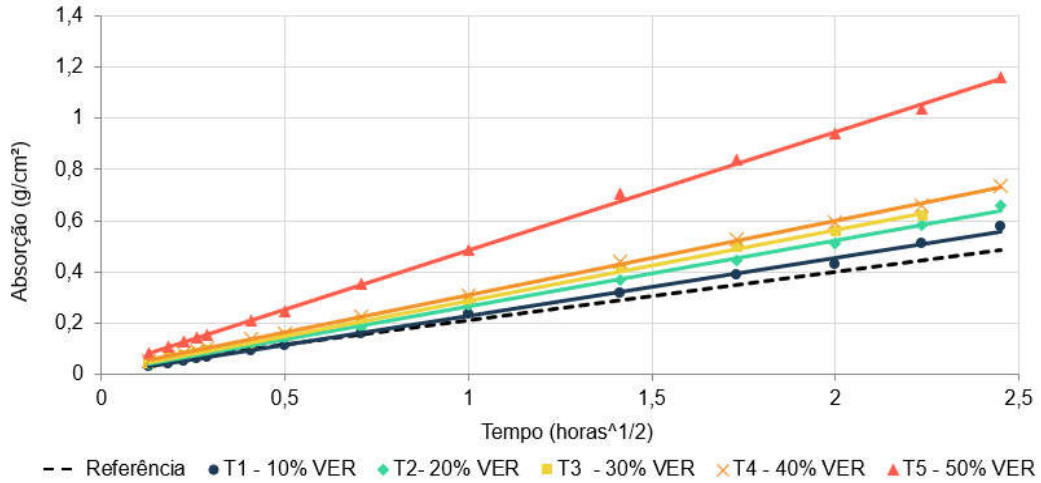
Os resultados discutidos até aqui mostram-se coerentes com o previsto pela bibliografia, sendo que os autores mostram que a vermiculita expandida é mais absorvente – no ensaio de caracterização dos agregados leves a vermiculita expandida apresentou absorção de 275,6%, e a argila expandida 29,6% - e tende a criar mais e maiores vazios nas misturas cimentícias, reduzindo sua massa específica e o índice de consistência da argamassa, e aumentando o índice de vazios e absorção de água.

3.1.1 Absorção de Água por Capilaridade

A taxa inicial de absorção de água por capilaridade (6 primeiras horas em contato com a água) é importante para indicar o comportamento das argamassas em um contato inicial com um substrato de aplicação. (HALL, 1989). No caso de placas de revestimento de paredes essa indicação pode dar indícios do desempenho quanto à aderência do revestimento. Uma taxa de absorção de água inicial muito elevada pode ser prejudicial, indicando probabilidade de retração por secagem acima dos limites aceitáveis; e não deve gerar um equilíbrio físico de interface com um potencial substrato para revestimento, como indica Mauroux (2011).

O método previsto pela RILEM TC 116 PCD (1999) propõe a apresentação dos resultados em um gráfico que relaciona a massa de água absorvida por unidade de área em função da raiz quadrada do tempo, dado em horas. O gráfico da Figura 1 mostra a absorção de água inicial por capilaridade das argamassas avaliadas, em que é possível analisar a possibilidade da existência de um limiar, sob a perspectiva da sucção de água, que separa as grandezas das taxas de absorção entre as argamassas de traço 1, 2, 3, e 4 e argamassa de traço 5, com substituição de 50%. A taxa de crescimento da absorção ao longo do tempo do traço 5 é, como vê-se, praticamente o dobro do traço referência, enquanto que até o traço de 40% de substituição de agregados leves a taxa segue uma linearidade de evolução.

Figura 1 – Evolução da absorção de água por capilaridade nas argamassas



Fonte: Elaborado pelos autores.

O comportamento segue uma tendência coerente com os resultados da Tabela 2, indicando que o aumento na absorção total por imersão em virtude do acréscimo de vermiculita expandida na mistura é, provavelmente, em função da incorporação de poros capilares; isso porque a taxa de sucção capilar aumenta gradualmente com maiores substituições de argila expandida por vermiculita expandida.

3.2 Variação Dimensional

A Tabela 3 apresenta a variação dimensional das argamassas endurecidas para as idades de 7, 28, 63 e 191 dias, cuja variação registrada mostra a existência do fenômeno de retração. Observa-se evidentemente aos 28 dias uma tendência de retração mais acentuada com o incremento progressivo de vermiculita expandida em relação à argila expandida. A retração do traço 5, para os 28 dias de idade, foi 130% superior à retração do traço referência; enquanto que a retração do traço 1 mostrou-se 23% superior. A partir do traço 2, a retração já se apresentou na ordem de 100% superior à retração do traço referência, indicando um possível limite de aplicação da vermiculita expandida, em termos de variação dimensional.

Tabela 3 – Variação dimensional ao longo do tempo

Variação Dimensional	Idade (dias)	Traço Ref.	T1 10% VER	T2 20% VER	T3 30% VER	T4 40% VER	T5 50% VER
ε_0 (mm/m)	0	0	0	0	0	0	0
ε_7 (mm/m)	7	-0,148	-0,211	-0,107	-0,173	-0,323	-0,209
ε_{28} (mm/m)	28	-0,518	-0,640	-1,068	-0,956	-1,052	-1,191
ε_{63} (mm/m)	63	-0,856	-0,759	-1,089	-1,184	-1,312	-1,563
ε_{191} (mm/m)	191	-0,89	-0,664	-0,997	-1,199	-1,352	-1,817

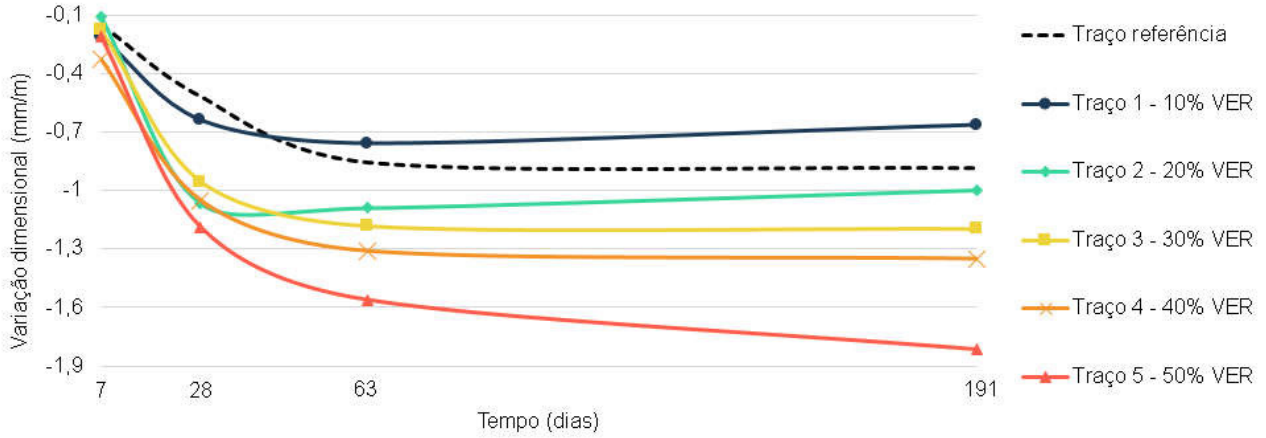
Fonte: Elaborado pelos autores.

O aumento de retração com a substituição dos agregados verificado na Tabela 3 pode ser compreendido pela interferência direta da vermiculita expandida, porque, como Zhang et al. (2013), esse tipo de material tem uma elevada capacidade de absorver deformações, o que infere à argamassa um módulo de deformação significativamente superior às argamassas convencionais, proporcionalmente. (NEVILLE, 2013). Com isso, entende-se que as argamassas com mais do que 20% de vermiculita expandida são mais suscetíveis à fissuração por retração, resultado corroborado pelo que diz Oliveira (2006).

Salienta-se ainda que, segundo Neville (2013), materiais a base de cimento Portland com adição de agregados leves apresentam maior movimentação de umidade que os materiais convencionais, podendo obter uma retração por secagem de até 40% mais. Estes resultados também foram observados neste trabalho, que aos 7 dias a retração do traço 5 em relação ao traço referência foi 41% superior. Isso pode atestar que a argila expandida, ainda que um agregado leve, manifesta propriedades mais nobres do que a vermiculita expandida, no que diz respeito à retração das argamassas.

O desempenho das argamassas frente a evolução da retração ao longo do tempo está sendo exibido graficamente na Figura 2, em que é concebível crer que todas as argamassas, exceto o traço 5, estabilizaram sua variação dimensional a partir dos 63 dias de idade. Na verificação da taxa de sucção de água por capilaridade, viu-se que o traço 5 exibiu uma taxa aproximadamente 2 vezes superior ao traço referência, fato que pode ser confrontado com o comportamento do traço 5 na variação dimensional, que não se estabilizou a longo prazo. Veja-se que a permutação de umidade da argamassa com o ambiente é facilitada pela sua estrutura porosa interconectada, o que expõe maior predisposição à retração em idades mais avançadas, e, por conseguinte, fissuração; que é irreversível em materiais cimentícios segundo Mehta e Monteiro (2014).

Figura 2 – Variação dimensional das argamassas ao longo do tempo

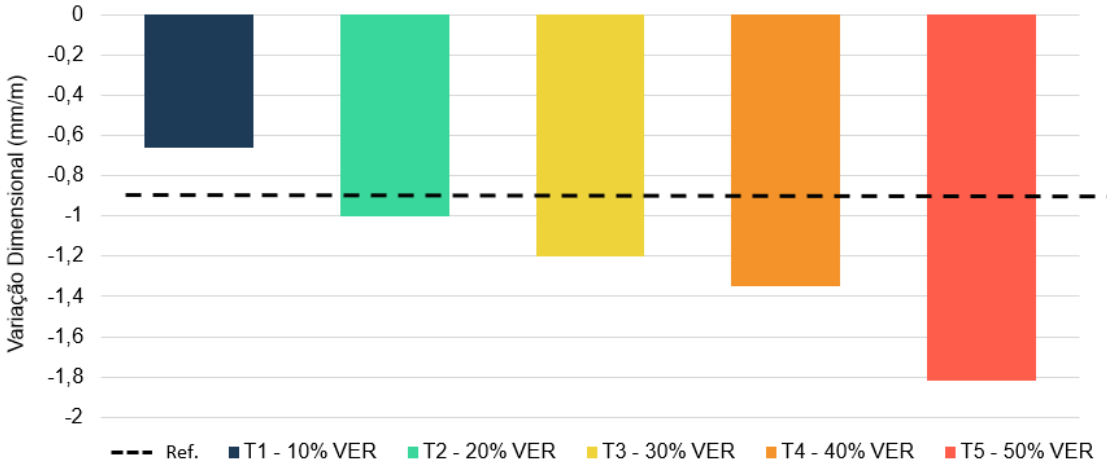


Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme a NBR 15261 (ABNT, 2005), deve-se realizar as leituras de retração até os 28 dias de idade, em que todos os traços apresentaram maior retração em comparação ao traço referência. Porém, verificou-se uma mudança inesperada de comportamento nos traços com 10% e 20% de vermiculita expandida ao longo do tempo. Diante destas circunstâncias, foram medidas as leituras de retração até 191 dias. A Figura 3 ilustra a retração das amostras aos 191 dias.

Nesta idade, a retração do traço 5 foi 105% maior que o traço referência, praticamente inviabilizando o uso de vermiculita expandida em argamassas leves para produção de placas de revestimento de paredes, nas condições observadas neste trabalho. O crescimento de retração até o traço 4, seguiu uma média de 16% a cada 10% de incremento de vermiculita expandida, entretanto, para o traço 5 em relação ao traço 4, o aumento foi de 35%. Isso expressa, novamente, a possível existência de um limite de aplicação da vermiculita, que deve ser de aproximadamente 40%, sob o ponto de vista da retração.

Figura 3 – Variação dimensional das argamassas aos 191 dias de idade



Fonte: Elaborado pelos autores.

A argamassa com 10% de vermiculita expandida, em substituição à argila expandida como agregado miúdo, teve uma variação dimensional menor do que o traço referência, não sendo esperado este comportamento. Existem algumas variáveis laboratoriais não controladas que podem ter tido interferência neste resultado. Além disso, os tamanhos dos poros inferidos pela vermiculita expandida não foram analisados experimentalmente, aspecto que pode ser agregado a um trabalho futuro.

No desenvolvimento deste trabalho, podem ser observados comportamentos concordantes entre si para diferentes experimentos realizados, desde a determinação do índice de vazios à análise de variação dimensional, explicitando pouca variabilidade no programa experimental e evidenciando resultados alinhados com os dados obtidos por outros pesquisadores.

Sabe-se que a vermiculita é um material altamente absorvente e deformável, quando comparada com a argila expandida, ou com agregados convencionais empregados na produção de misturas com cimento Portland. Essas características provavelmente induziram menor coesão às misturas no estado fresco, além de terem incorporado poros interconectados na matriz estrutural do material, o que elevou o índice de vazios e a absorção total de água, seja na sucção ou na imersão. Como efeito secundário, observa-se que a vermiculita expandida atua, em substituição parcial à argila expandida, de maneira negativa no comportamento das argamassas frente à retração, que, consequentemente, pode gerar fissuração em placas produzidas com essa argamassa e possíveis manifestações patológicas relacionadas à aderência da argamassa ao substrato de parede.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou verificar a influência da substituição parcial de argila expandida por vermiculita expandida, compreendendo a interferência da vermiculita na argamassa. Para isso, analisar as propriedades de absorção de água e variação dimensional tornam-se importantes para melhor entendimento do comportamento da mistura no que se refere ao desempenho deste material. A partir dos resultados obtidos nesse estudo é possível concluir:

I. Existe uma tendência de comportamento de redução do espalhamento com o aumento do volume de vermiculita em relação à argila expandida.
II. A adição de vermiculita expandida na mistura possui relação diretamente propocional com o a absorção de água total por imersão e do índice de vazios, e relação inversamente proporcional com a massa específica e índice de consistência, nas condições deste trabalho.
III. Existe uma tendência aos 28 dias de idade de retração das argamassas endurecidas mais acentuada com o incremento progressivo de vermiculita expandida em relação à argila expandida.
IV. A utilização de 50% de vermiculita expandida na mistura praticamente inviabiliza seu uso, devido a sua elevada retração.
V. Misturas com até 40% de vermiculita tendem a estabilizar sua variação dimensional aos 63 dias de idade.

Por meio deste estudo, é possível concluir que os materiais a base de cimento produzidos com a substituição parcial de argila expandida por vermiculita expandida, apresentam algumas propriedades satisfatórias. Estão associadas a avaliação do comportamento das placas de revestimento como produto final, prinipalmente sob aspectos ambientais, haja visto que a vermiculita expandida mostra-se com um potencial substituto para a argila expandida, em determinados casos. Desta forma, a vermiculita expandida, como agregado leve, é uma alternativa de matéria prima, desde que observadas algumas limitações de seu uso, a saber o teor de substituição dos agregados.

5. REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 213R-03:** Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete. Farmington Hills, 2003.

ASLAM, M. SHAFIGH, P. NOMELI, M. A. JUMAAT, M. Z. Manufacturing of high-strenght lightweight aggregate concrete using blended coarse lightweight aggregates. **Journal of Building Engineering.** v. 13, p. 53-62, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30:** Agregado miúdo: Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15261:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45:** Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

CARASEK, H. CASCUDO, O. SCARTEZINI, L. M. B. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. **IV Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas.** Brasília, ANTAC, p. 43-67, 2001.

CHANDRA, S. BERNTSSON, L. **Lightweight aggregate concrete.** London: Elsevier, 2002.

CHEN, H.J. WANG, S.Y. TANG, C.W. Reuse on incineration fly ashes and reaction ashes for manufacturing lightweight aggregate. **Construction and Building Materials.** v. 24, p. 46-55, 2010.

Concrete Network, 2016. **Colored Concrete**. Disponível em: <http://www.concretenetwork.com>. Acesso em: 03 out. 2016.

CORINALDESI, V. GNAPPI, G. MORICONI, G. MONTENERO, A. Reuse of ground waste glass as aggregate for mortars. **Waste Management.** v. 25, p. 197-201, 2005.

CORINALDESI, V. DONNINI, J. NARDINOCCHI, A. Lighweight plasters containing plastic waste for sustainable and energy-efficient building. **Construction and Building Materials.** v. 94, p. 337-345, 2015.

CORINALDESI, V. MAZZOLI, A. SIDDIQUE, R. Characterization of lightweight mortars containing wood processing by-products waste. **Construction and Building Materials.** v. 123, p. 281-289, 2016.

EGUCHI, K. TERANISHI, K. Prediction equation of drying shrinkage of concrete based on composite model. **Cement and Concrete Research.** v. 35, p. 483-493, 2005.

FAVA, G. RUELLO, M. L. CORINALDESI, V. Paper mill sludge ash as supplementary cementitious material. **Journal of Materials in Civil Engineering.** v. 23, p. 772-776, 2011.

FRANÇA, S. C. A. BRAGA, P. F. A. COUTO, H. J. B. GONÇALVES, C. C. Vermiculita, mais que um mineral termo-acústico. **IV Simpósio de minerais industriais do nordeste,** João Pessoa – Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCTI), 2016.

HALL, C. Water sorptivity of mortars and concretes: a review. **Magazine of Concrete Research.** v. 41, p. 51-61, 1989.

HELENE, P. **Dosagem dos concretos de cimento Portland.** Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, v. 2, p. 469, 2005.

KAZMIERCZAK, C. S. BREZEZINSKI, D. E. COLLATTO, D. Influência das características da base na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa. **Estudos Tecnológicos.** v. 3, p. 47-58, 2007.

LAUKAITIS, A. ZURAUSKAS, R. KERIENE, J. The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties. **Cement and Concrete Composites.** v. 27, p. 41-47, 2005.

LORENZON, M. C. A. CIDREIRA, R. G. RODRIGUES, E. H. V. DORNELLES, M. S. PEREIRA Jr., G. Langstroth hive construction with cement-vermiculite. **Scientia Agricola.** v. 61, p. 573-578, 2004.

MADANDOUST, R. RANJBAR, M. M. MOUSAVI, S. Y. An investigation on the fresh properties of self-compacted lightweight concrete containing expanded polystyrene. **Construction and Building Materials.** v. 25, p. 3721-3131, 2011.

MAUROUX, T. **Impact du séchage sur les propriétés d'adhérence entre un mortier et un support – Influence de l'adjuvantation par des éthers cellulose.** 2011. 224 f. Tese de doutorado – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – Université de la Rochelle, La Rochelle, França.

MEDRI, V. PAPA, E. MAZZOCCHI, M. LAGHI, L. MORGANTI, M. FRANCISCONI, J. LANDI, E. Production and characterization of lightweight vermiculite/geopolymer-based panels. **Materials and Design.** v. 85, p. 266-274, 2015.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 2014.

MORAVIA, W. G. OLIVEIRA, C. A. S. GUMIERI, A. G. VASCONCELOS, W. L. Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve. **Cerâmica.** v. 52, p. 193-199, 2006.

NEVILLE, A. M. **Tecnologia do Concreto.** Porto Alegre: Bookman, 2º ed., 2013.

NUNES, N. L. FIGUEIREDO, A. D. Retração do concreto de cimento Portland. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP.** v. 452, n. 1, 2007

OLIVEIRA, K. R. de S. **Aderência da armadura ao concreto leve com adição de resíduos**. 2006. 198 f. Dissertação de mestrado – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal Fluminense (UFF). Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

OLIVEIRA, M. J. RIBEIRO, A. B. BRANCO, F. G. Combined effect of expansive and shrinkage reducing admixtures to control autogenous shrinkage in self-compacting concrete. **Construction and Building Materials.** v. 52, p. 267-275, 2014.

REUNION INTERNATIONALE DE LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATERIAUX. TC116 PCD: Permeability of concrete as a criterion of its durability – Determination of the capillary absorption of water of hardened concrete. **Materials and Structures**, v. 32, p 178-179. RILEM TECHNICAL COMMITTEES, abr. 1999.

ROSSI, M. **As Argilas.** Folheto informative da Pascoal equipamentos e massas cerâmicas, 2000.

ROSSIGNOLO, J. AGNESINI, M. V. C. Concreto Estrutural Leve. ISAIA, G. C. **Concreto:** ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, v. 1, p. 1531, 2011.

SCHACKOW, A. EFFTING, C. FOLGUERAS, M. V. GÜTHS, S. MENDES, G. A. Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent. **Construction and Building Materials.** v. 57, p. 190-197, 2014.

SENISSE, J. A. D. L. **Estudo do efeito do agregado cerâmico com diferentes porosidades no comportamento mecânico e de retração livre e restringida de concretos, visando o uso de resíduos de construção e demolição como agente de cura interna.** 2015. 297 f. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil.

SHAFIGH, P. CHAI, L. J. MAHMUD, H. B. NOMELI, M. A. A comparison study of the fresh and hardned properties of normal weight and lightweight aggregate concretes. **Journal of Building Engineering.** v. 15, p. 252-260, 2018.

SHANNAG, M. J. Characteristics of lightweight concrete containing mineral admixtures. **Construction and Building Materials.** v. 25, p. 658-662, 2011.

TERRA MATER. **Catálogo Técnico:** vermiculita expandida. Terra Mater, S/D.

TRTIK, P. MÜNCH, B. WEISS, W. J. KAESTNER, A. JERJEN, I. JOSIC, L. LEHMANN, E. LURA, P. Release of internal curing water from lightweight aggregates in cement paste investigated by neutron and X-ray tomography. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A.** v. 651, p. 244-249, 2011.

ZHANG, W. ZAKARIA, M. HAMA, Y. Influence of aggregate materials characteristics on the drying shrinkage properties of mortar and concrete. **Construction and Building Materials.** v. 49, p. 500-510, 2013.