

Estudo comparativo da influência do uso de hidrorrepelentes nas propriedades no estado fresco e no estado endurecido do gesso beta

Comparative study of the influence of the use of water repellents on properties in the fresh and hardened state of beta plaster

Sheila Daiane de Souza Rodrigues ¹  orcid.org/0000-0002-0902-1794

José Getúlio Gomes de Sousa ²  orcid.org/0000-0002-8151-0971

Alan Christie da Silva Dantas ³  orcid.org/0000-0002-2357-5427

Luis Iván Negrín Hernández ⁴  orcid.org/0000-0002-8180-1285

Mateus Amorim Silva ⁵  orcid.org/0000-0002-7158-7529

Nelson Cárdenas Olivier ³  orcid.org/0000-0003-0501-4949

¹ Mestre em Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil,

² Professor Doutor da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Colegiado de Engenharia Civil, Juazeiro-BA, Brasil,

³ Professor Doutor da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Colegiado de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Juazeiro-BA, Brasil,

⁴ Professor Doutor da Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Colegiado de Engenharia Mecânica, Santa Clara, Cuba,

⁵ Graduando em Engenharia da Computação, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, Brasil.

E-mail do autor principal: Sheila Daiane de Souza Rodrigues sheila-dsr@hotmail.com

Resumo

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência de hidrorrepelentes nas propriedades do gesso beta de fundição. No estudo foram avaliados dois tipos de hidrorrepelentes: um hidrorrepelente de massa e outro de superfície. O hidrorrepelente de massa foi adicionado nos teores de 0,2% e 0,4%, em relação a massa de gesso. O hidrorrepelente de superfície foi aplicado nos corpos de prova de gesso em duas e quatro demãos. Em todos os tratamentos foi fixada a relação água/gesso em 0,7. Foram avaliadas as propriedades de calor de hidratação, tempo de pega, dureza, resistência à compressão, porosidade geométrica, absorção de água por imersão total e por capilaridade. A adição do hidrorrepelente de massa não afetou expressivamente a curva do calor de hidratação, os tempos de início e fim de pega e a porosidade geométrica. Em todos os tratamentos os valores de dureza e resistência à compressão mantiveram-se acima dos mínimos normativos, entretanto a adição de uma maior quantidade de hidrorrepelente de massa levou a menores valores nas propriedades mecânicas, em contrapartida, tornou o material mais resistente à ação da água. Além disso, a aplicação de 4 demãos de hidrorrepelente de superfície mostrou-se eficaz como barreira contra a ascensão da água por capilaridade.

Palavras-Chave: Hemidrato; Gesso beta; Hidrorrepelente; Silano; Siloxano; Poliuretano.

Abstract

This paper aims to evaluate the influence of water repellents on the foundry beta plaster properties. In this survey, two types of water repellents were evaluated: a mass water repellent and a surface water repellent. The water repellent mass was added in the contents of 0.2% and 0.4%, with relation to the plaster mass. The surface water repellent was applied to the plaster specimens in two and four layers. In all treatments, the water/plaster ratio was set at 0.7. The properties of heat of hydration, setting time, hardness, resistance to compression, geometric porosity, water absorption by total immersion and capillarity were evaluated. The addition of the water repellent mass did not significantly affect the hydration heat curve, the start and end times of setting and the geometric porosity. In all treatments, the values of hardness and compressive strength remained above the normative minimums, however the addition of a greater amount of water repellent led to lower values in the mechanical properties, on the other hand, made the material more resistant to the action of water. Furthermore, the application of 4 layers of water repellent surfaces has shown to be effective as a barrier against the rise of water by capillarity.

Key-words: Hemhydrate; Beta plaster; Water repellent; Silane; Siloxane; Polyurethane.

1 Introdução

O gesso é obtido a partir da moagem e calcinação da gipsita (sulfato de cálcio di-hidratado – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). A calcinação, quando realizada à pressão atmosférica em uma faixa de temperatura entre 125°C e 160°C [1], dá origem ao gesso beta (β - $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$), um pó de elevada área superficial específica e cristais porosos que, quando hidratado, leva à formação de cristais com o formato de agulhas finas entrelaçadas [2].

Por ser um material atóxico, possuir bom aspecto estético, apresentar facilidade de fabricação, dispor de propriedades de isolamento térmico e acústico, entre outras características, o gesso vem ganhando espaço na construção civil [3]. No entanto, o sulfato de cálcio hemidratado apresenta limitações quanto ao uso em áreas molhadas ou ambientes externos pois, por ser um aglomerante aéreo, possui baixa resistência à ação da água.

Assim, como uma forma de minimizar os efeitos da umidade no desempenho do gesso, tem-se investido no uso de hidrorrepelentes. Os hidrorrepelentes à base de poliuretanos agem como formadores de película e os hidrorrepelentes derivados de silicones (silanos e siloxanos) agem como modificadores da tensão superficial dos poros [4], ademais, são chamados de aditivos de massa, quando misturado na água de amassamento ou impermeabilizante de superfície, quando utilizados como pintura [5].

Diante do crescente uso do gesso na construção civil e com o intuito de prolongar a sua durabilidade, o presente artigo tem como objetivo contribuir para o estudo do gesso com a presença de hidrorrepelentes, avaliando a influência desses polímeros nas propriedades do hemidratado por meio de ensaios de tempo de pega, calor de hidratação, dureza superficial, resistência à compressão axial, porosidade geométrica, absorção de água por imersão total e por capilaridade.

2 Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados gesso de fundição obtido no Polo Gesseiro do Araripe, em Araripina – PE, um hidrorrepelente de massa, para gesso, à base de silano e siloxano e um hidrorrepelente de superfície, para gesso, à base de poliuretano.

O gesso utilizado neste estudo foi caracterizado quanto a granulometria, massa unitária, massa específica, teores de água livre e de cristalização, de acordo com os métodos presentes na Tabela 1. Os valores médios obtidos e os respectivos desvios-padrão estão descritos na Tabela 2.

Tabela 1: Ensaios realizados com o sulfato de cálcio hemidratado e di-hidratado no estado fresco e endurecido.

Propriedade	Método de ensaio
Granulometria (%)	NBR 12127 ABNT de 2019 [6]
Massa unitária (kg/m ³)	NBR 12127 ABNT de 2019 [6]
Massa específica (g/cm ³)	NBR 16605 ABNT de 2017 [7]
Água livre (%)	NBR 12130 ABNT de 1991 [8]
Água de cristalização (%)	NBR 12130 ABNT de 1991 [8]
Tempo de pega (min)	NBR 12128 ABNT de 2019 [9]
Calorimetria	Pinheiro [10]
Resistência à compressão axial (MPa)	NBR 12129 ABNT de 1991 [11]
Dureza superficial (N/mm ²)	NBR 12129 ABNT de 2019 [12]
Porosidade geométrica (%)	Silva [13]
Absorção por imersão total (%)	NBR 15259 ABNT de 2005 [14]
Absorção por capilaridade (kg/m ² .s)	C1794-15 ASTM de 2015 [15]

Tabela 2: Caracterização do gesso utilizado.

Granulometria (% passante) # 0,29mm	Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária (kg/m ³)	Água livre (%)	Água de cristalização (%)
97,53(±0,74)	2,64 (±0,00)	550 (±0,01)	1,00 (±0,03)	4,59 (±0,55)

Quanto aos valores da Tabela 2, a NBR 13207 ABNT de 2017 [16] especifica que 90% do gesso, no mínimo, deve passar na peneira de abertura de 0,29 mm. Assim, o material analisado atende a esse requisito.

Embora não seja tratada nas normas de gesso para a construção civil, a determinação da massa específica pode auxiliar na determinação da composição do gesso, além de ser uma grandeza que caracteriza a homogeneidade do material [17]. O valor encontrado condiz com o apresentado por Silva em sua pesquisa [18]. Em relação a massa unitária, por norma o valor deve ser $\geq 600 \text{ kg/m}^3$, sendo superior ao encontrado. Os valores de massa específica e massa unitária são influenciados pelo arranjo dos cristais e a estrutura cristalina na massa do gesso, que dependem das condições de calcinação da gipsita e produção do hemidratado, o que pode justificar a diferença em relação ao requisito normativo [17].

Já em se tratando dos teores de água livre e de cristalização os valores de referência são de $\leq 1,3\%$ e $4,2\%$ a $6,2\%$, respectivamente. Cabe ressaltar que o teor de água de cristalização evidencia a condição de calcinação da gipsita, apresentando relação com a composição do gesso, variando entre a gipsita, hemidrato e anidritas. Teores acima de $6,2\%$ podem indicar a presença de matéria não calcinada e abaixo de $4,2\%$ matéria super calcinada [17].

Os efeitos dos hidrorrepelentes sobre o comportamento do gesso foram avaliados tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. A avaliação das propriedades no estado fresco foram

feitas com a pasta de referência e com a adição do hidrorrepelente de massa, a partir da determinação do tempo de pega e do calor de hidratação utilizando um calorímetro pseudoadiabático, conforme procedimento presente na Tabela 1.

No estado endurecido foram avaliadas a resistência à compressão axial, dureza superficial, porosidade geométrica, absorção de água por imersão total e absorção de água por capilaridade, consoante os métodos indicados na Tabela 1.

A pasta de referência (GR) foi preparada conforme procedimento descrito na NBR 12128 ABNT de 2019 [9]. Já as pastas de gesso com hidrorrepelente de massa, (G2ml/kg e G4ml/kg) foram preparadas com a adição do hidrorrepelente à água de amassamento na proporção de 2 ml e 4 ml por kg de gesso, 0,2% e 0,4% respectivamente, seguindo o mesmo processo de produção da pasta de referência. O hidrorrepelente de superfície foi aplicado em todas as faces dos corpos de prova secos em 2 e 4 demãos (G2D e G4D, respectivamente).

A escolha da proporção de hidrorrepelente de massa e da quantidade de demãos do hidrorrepelente de superfície tiveram como base as recomendações do fabricante. Em todos os tratamentos (cuja identificação encontra-se disposta na Tabela 3) foram utilizados a relação água/gesso de 0,7, relação comumente utilizada na fabricação comercial dos blocos de gesso do Polo Gesseiro do Araripe [18].

Tabela 3: Matriz experimental.

Identificação	Tipo	Hidrorrepelente de massa (ml/kg de gesso)	Hidrorrepelente de superfície (quantidade de demãos)
GR	Referência	-	-
G2ml/kg	Hidrorrepelente de massa	2	-
G4ml/kg	Hidrorrepelente de massa	4	-
G2D	Hidrorrepelente de superfície	-	2
G4D	Hidrorrepelente de superfície	-	4

Foram definidos 5 tratamentos com 3 corpos de prova cúbicos de dimensões (5x5x5) cm, por ensaio, para avaliar as propriedades de dureza superficial, resistência à compressão e absorção por imersão total, e 3 corpos de prova prismáticos de dimensões (4x4x16) cm para avaliar a absorção por capilaridade. Para a determinação da porosidade geométrica foram utilizados os corpos de prova do ensaio de absorção por imersão total, com o intuito de verificar a existência de uma diminuição ou aumento da porosidade geométrica em função da quantidade de hidrorrepelente de massa utilizado. Ao todo foram moldados 60 corpos de prova.

A análise estatística foi realizada por meio do Software RStudio para avaliar a influência dos hidrorrepelentes utilizados nas propriedades no estado fresco e endurecido do gesso. O teste de Duncan, pelo qual se faz confronto de amostras em pares para verificação de diferenças significativas, foi aplicado ao nível de significância de 95%.

3 Resultados e Discussão

3.1 Avaliação das propriedades no estado fresco

Calor de hidratação

Na Figura 1, observa-se que as curvas obtidas apresentaram um comportamento típico (curva com uma distribuição sigmoideal). Nos tratamentos GR, G2ml/kg e G4ml/kg, os valores máximos de temperatura obtidos foram de 49,11°C, 45,09°C e 45,44°C, respectivamente. Desta forma, a utilização do hidrorrepelente de massa levou a menores temperaturas em relação à pasta de referência.

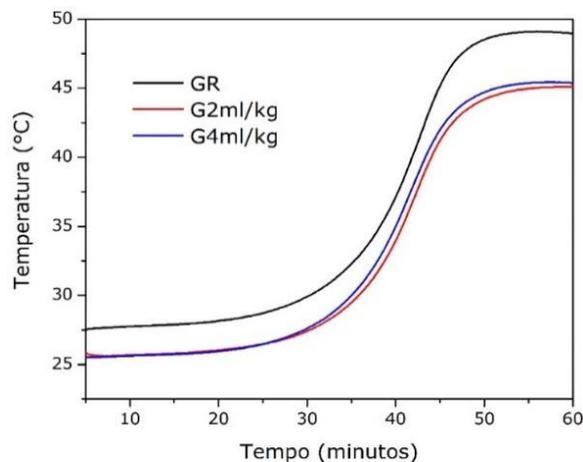


Figura 1: Curvas calorimétricas do ensaio de calor de hidratação pelo sistema pseudoadiabático. Fonte: Autores (2020).

A reação de hidratação pode ser utilizada para explicar a pega da pasta de gesso. Ao entrar em contato com a água de amassamento uma parte do sulfato de cálcio hemidratado se dissolve imediatamente, tornando a solução saturada em relação aos íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} . Esta solução saturada torna-se supersaturada em relação ao di-hidrato de sulfato de cálcio, levando à nucleação e crescimento de cristais. Durante o período de indução, ocorrem agrupamentos de íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} hidratados, levando à formação de núcleos de di-hidrato. Os núcleos que adquirem um determinado tamanho crítico iniciam a cristalização do sulfato de cálcio di-hidratado o que resulta no endurecimento da pasta [19].

Até o final do período de indução não há elevação de temperatura além da ocasionada pela molhagem dos grãos. No final do período de indução há presença de núcleos de cristalização o que altera a consistência da pasta, propriedade que aumenta cada vez mais devido a formação da microestrutura, até o seu completo endurecimento [20].

O hidrorrepelente pode influenciar no aumento ou diminuição do calor de hidratação por meio da modificação da solubilidade do hemidratado,

modificação da cinética de dissolução ou da taxa de crescimento de cristal [21]. O estudo em questão sugere que a presença do hidrorrepelente de massa leva a uma diminuição da velocidade da reação de hidratação do hemidrato o que leva a liberação de uma menor quantidade de calor.

O mesmo comportamento foi observado pelo grupo de pesquisa de Wu *et al.*, onde foi preparado um bloco impermeável de gesso obtido através da dessulfuração de gases de combustão e modificado por clínquer de silicato. A adição do clínquer levou a um comportamento similar ao hidrorrepelente quanto à curva de hidratação, ou seja, de acordo com os pesquisadores, houve uma diminuição na taxa de reação de hidratação do gesso e do calor total liberado na hidratação [22].

Tempo de pega

Analisando a Figura 2, observa-se que o início e o fim de pega ocorreram, respectivamente, nos tempos de 20,25 min e 35 min no tratamento GR, 21,92 min e 35,25 min no tratamento G2ml/kg e 22,5 min e 36,25 min no tratamento G4ml/kg. Percebe-se que, com a adição do hidrorrepelente de massa, não há diferença significativa nos tempos de início e fim de pega, em relação a pasta de referência (GR). Comparando-se aos valores estabelecidos na NBR 13207 ABNT de 2017 [16], em média, os valores encontrados estão acima do recomendado, porém cabe ressaltar que no estudo foi utilizado uma relação água/gesso de 0,7, bem acima da relação necessária para a consistência normal.

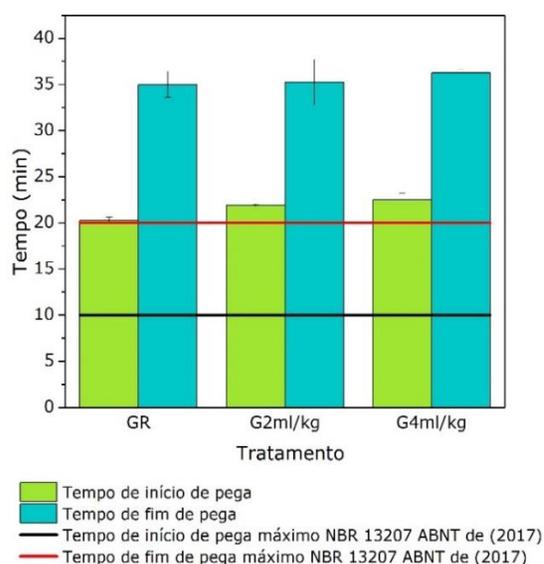


Figura 2: Resultados do ensaio de tempo de pega. Fonte: Autores (2020).

3.2 Avaliação das propriedades no estado endurecido

A Tabela 4 apresenta os valores médios, com o desvio-padrão, das propriedades obtidas nos ensaios de dureza superficial, resistência à compressão, absorção de água por imersão e por capilaridade. Além disso, foi realizado o teste de Duncan para comparação de médias, para cada propriedade. Na Tabela 4, os valores com letras iguais (que estão sobrescritas aos valores) representam médias estatisticamente iguais.

Porosidade geométrica

Na Figura 3 estão representados os valores percentuais da porosidade geométrica dos corpos de prova com os tratamentos GR, G2ml/kg e G4ml/kg.

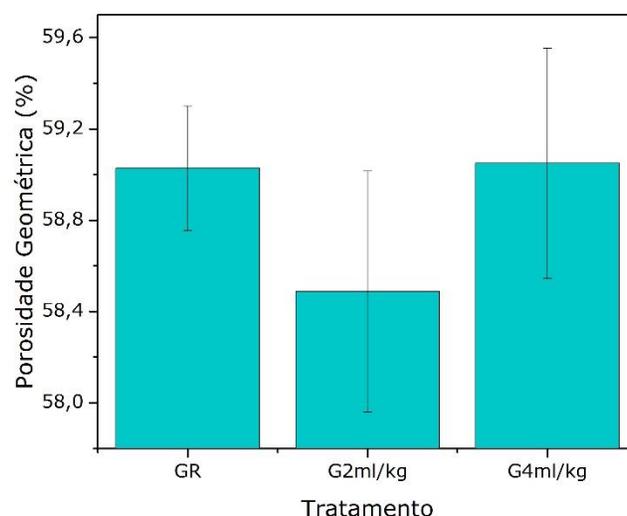


Figura 3: Resultados do ensaio de porosidade geométrica. Fonte: Autores (2020).

A variação percentual entre o tratamento que alcançou a maior porosidade e o que alcançou a menor porosidade é menor que 1%, assim, assume-se que o volume total de poros não varia com a adição do hidrorrepelente de massa, de modo que é possível inferir que a redução da porosidade não é o mecanismo de ação do hidrorrepelente utilizado. Dessa forma, uma explicação é que o produto não altera a quantidade de poros mas atua na diminuição do tamanho dos poros de acordo com o estudo de Jakobsmeier com os polímeros silano e siloxano [23].

O valor encontrado no tratamento de referência (GR) foi maior que o calculado em outras pesquisas que variaram entre 51% e 54% para uma relação água/gesso de 0,7 [13, 24]. No entanto, foi próximo

Tabela 4: Resultados dos ensaios no estado endurecido.

Tratamento	Porosidade geométrica (%)	Dureza superficial (N/mm ²)	Resistência à compressão axial (MPa)	Absorção de água por imersão total (%)	Coefficiente de absorção por capilaridade (kg/m ² .s) x 10 ⁻⁴
GR	59,03 ^a (± 0,27)	23,34 ^a (± 0,68)	9,91 ^a (± 1,08)	35,39 ^a (± 0,63)	7726,37 ^b (± 56,14)
G2ml/kg	58,49 ^a (± 0,53)	23,80 ^a (± 0,25)	9,76 ^a (± 0,37)	9,40 ^b (± 0,72)	195,55 ^c (± 33,12)
G4ml/kg	59,05 ^a (± 0,50)	20,30 ^b (± 1,16)	8,55 ^a (± 1,24)	7,27 ^c (± 0,46)	122,05 ^c (± 2,27)
G2D	-	23,63 ^a (± 1,65)	9,62 ^a (± 1,24)	34,75 ^a (± 1,52)	8293,53 ^a (± 68,58)
G4D	-	21,12 ^b (± 0,92)	10,46 ^a (± 0,46)	36,53 ^a (± 0,59)	3,39 ^d (± 0,63)

ao determinado na pesquisa desenvolvida por Barbosa, que foi de 56% [25]. Acredita-se que a diferença na porcentagem de porosidade se deve a etapa de moldagem e compactação manual dos corpos de prova que visa remover bolhas de ar que possam estar presentes na pasta.

Por meio da Tabela 4, nota-se que a porosidade dos corpos de prova de referência (GR) não tiveram diferença significativa em relação aos valores de porosidade encontrados nos corpos de prova em que houve a adição do hidrorrepelente de massa (G2ml/kg e G4ml/kg).

Dureza superficial

De acordo com a NBR 13207 ABNT de 2017 [16], o gesso para construção civil deve apresentar dureza maior ou igual a 20 N/mm². Dessa forma, todos os tratamentos atenderam ao valor normativo, como mostra a Figura 4.

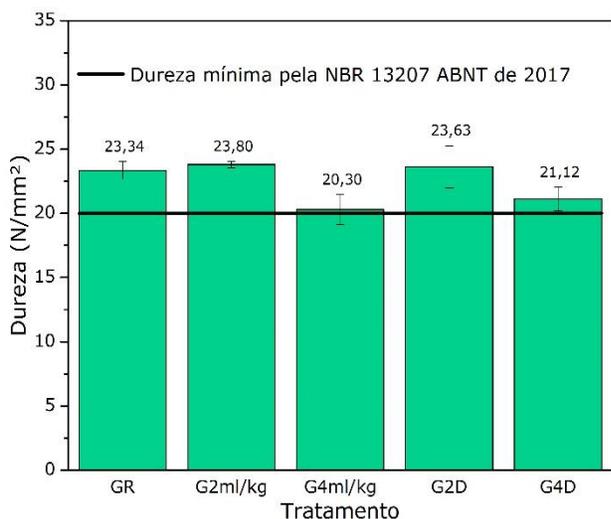


Figura 4: Resultados do ensaio de dureza do gesso submetido a diferentes tratamentos. Fonte: Autores (2020).

Os corpos de prova de referência (GR) apresentaram uma dureza de 23,34 N/mm². O maior

valor de dureza foi alcançado com o tratamento G2ml/kg (23,80 N/mm²), enquanto que o menor valor foi obtido com o tratamento G4ml/kg (20,30 N/mm²). O teste de Duncan indicou que os tratamentos G4ml/kg e G4D não apresentaram diferença significativa entre si, bem como os tratamentos G4ml/kg e G2D. Em relação à dureza obtida com o tratamento GR, considera-se estatisticamente igual aos valores obtidos com G2ml/kg e G2D.

Resistência à compressão axial

Os resultados de resistência à compressão estão expressos na Figura 5.

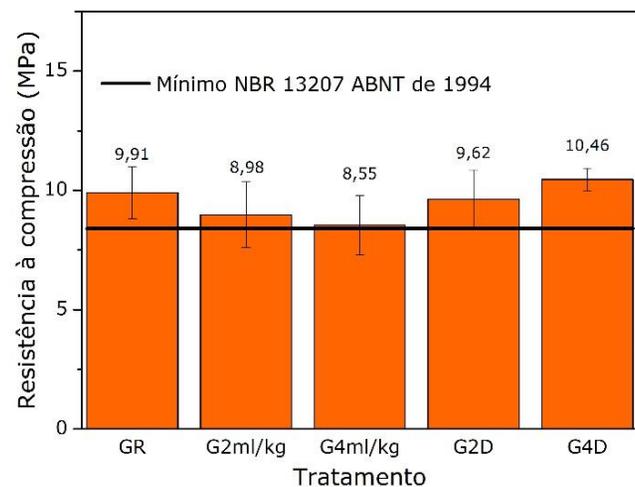


Figura 5: Valores obtidos de resistência à compressão. Fonte: Autores (2020).

A resistência à compressão alcançada pelas amostras variou entre 8,55 MPa e 10,46 MPa.

A presença de hidrorrepelente de massa levou a uma alteração no comportamento do material, seguindo uma tendência onde quanto maior a adição do hidrorrepelente de massa menor a resistência do gesso. Já o valor médio de resistência com o hidrorrepelente de superfície foi maior do que o obtido em GR devido ao fato de que o filme formado pelo hidrorrepelente (G4D), pode ter absorvido mais energia antes da ruptura.

A NBR 13207 ABNT de 2017 [16] não indica o valor de referência para a resistência à compressão do gesso para fundição. A edição anterior da NBR 13207 ABNT de 1994 [26], recomendava uma resistência à compressão mínima de 8,40MPa para um gesso de construção produzido com a relação água/gesso na consistência normal. A partir da análise da Figura 5, observa-se que todos os tratamentos atenderam ao valor estabelecido em norma e que os valores de resistência alcançados não apresentaram diferença estatística entre si.

Absorção de água por imersão total

A NBR 16494 ABNT de 2017 [27] estabelece que a capacidade de absorção para blocos hidrofugados deve ser menor ou igual a 5%. A Figura 6 apresenta a média dos valores obtidos em cada série.

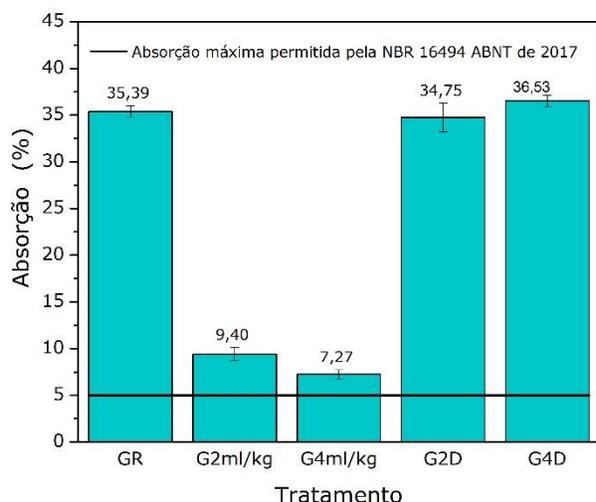


Figura 6: Valores obtidos na absorção por imersão total. Fonte: Autores (2020).

Os corpos de prova de referência (GR) apresentaram uma absorção de cerca de 35% enquanto que, nos corpos de prova com o hidrorrepelente de massa, a absorção ficou abaixo dos 10%. Assim, apesar de não atender ao requisito normativo, a adição do hidrorrepelente de massa reduziu consideravelmente a absorção de água por imersão.

No que diz respeito ao hidrorrepelente de superfície, a aplicação do produto não foi suficiente para minimizar a entrada da água. Quando se utilizam tratamentos superficiais, um dos fatores que influenciam nos resultados é a aplicação uniforme do produto na superfície. Quando ocorre qualquer falha na aplicação, a barreira contra a ação da água é reduzida. Outro fator que influencia nos resultados, quando se trata de hidrorrepelentes, é a pressão

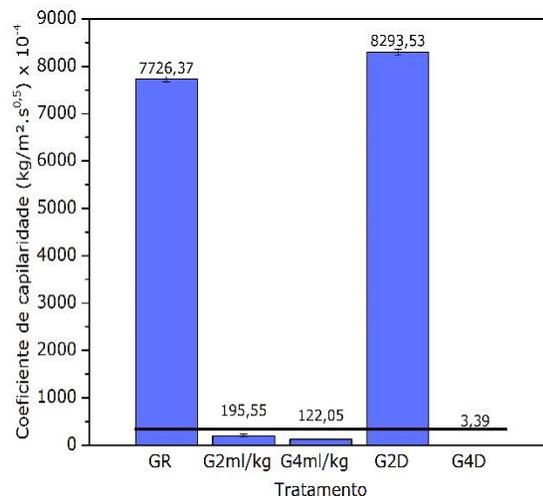
hidrostática, que, embora pequena, está presente no ensaio de absorção por imersão total. Na prática é pouco provável que o gesso com o hidrorrepelente esteja exposto a uma situação em que estará submerso, que é o que ocorre no ensaio em questão.

Vale destacar que, as falhas a que o artigo se refere, são falhas não visíveis, de modo que, não foram identificadas antes da realização dos ensaios.

Do ponto de vista estatístico, não há diferença significativa entre os tratamentos G2ml/kg e G4ml/kg.

Absorção de água por capilaridade

Na Figura 7 estão apresentados os resultados obtidos do coeficiente de capilaridade e na Figura 8 estão presentes os tratamentos que alcançaram os menores coeficientes de capilaridade.



— Coeficiente de capilaridade mínimo para sucção rápida pela DIN 52617 de 1987

Figura 7: Resultados do ensaio de absorção por capilaridade.

Fonte: Autores (2020).

Por meio da Figura 7 observa-se que os tratamentos que apresentaram melhores resultados, foram os tratamentos G2ml/kg, G4ml/kg e G4D, com destaque para os tratamentos G4ml/kg e G4D. Os resultados foram menores que o encontrado na literatura. No trabalho desenvolvido por Silva [18], foi avaliada a eficácia da adição de hidrorrepelente de massa nas propriedades do gesso, em dosagens que variavam de 0,2% a 1%. O menor valor do coeficiente de capilaridade foi de $1.093 \times 10^{-4}(\text{kg}/\text{m}^2.\text{s}^{0,5})$ e obtido com a adição de 1% de hidrorrepelente. Já no trabalho desenvolvido por Santos [28], as dosagens variaram de 0,08% a 0,5%, onde o menor coeficiente de capilaridade foi de $155 \times 10^{-4}(\text{kg}/\text{m}^2.\text{s}^{0,5})$, com a adição de 0,5% de hidrorrepelente.

Estudo comparativo da influência do uso de hidrorrepelentes nas propriedades no estado fresco e no estado endurecido do gesso beta

Observa-se que a aplicação de duas demãos (tratamento G2D) não foi suficiente para diminuir a taxa de absorção capilar. Em contrapartida, com a aplicação de quatro demãos obteve-se um resultado satisfatório e comparável ao alcançado com o hidrorrepelente de massa.

Na Figura 8 é possível notar que a absorção do tratamento G4D é bem próxima de zero. Isso ocorre devido a impermeabilização ocasionada pela presença da película, que barra a ascensão da água através dos poros do corpo de prova.

Por ser um ensaio em que há apenas uma lâmina de água, com a altura de 0,5cm, em contato direto com o material, a chance de haver uma falha naquela pequena região, é menor do que no ensaio de absorção por imersão total, onde todas as faces estão em contato direto com a água.

O ensaio de absorção por capilaridade permite uma avaliação mais semelhante a ação da água a que o gesso estará exposto quando utilizado em áreas molhadas ou em ambientes externos, como por exemplo, em alvenaria de vedação, onde é comum o uso de blocos de gesso sem revestimento.

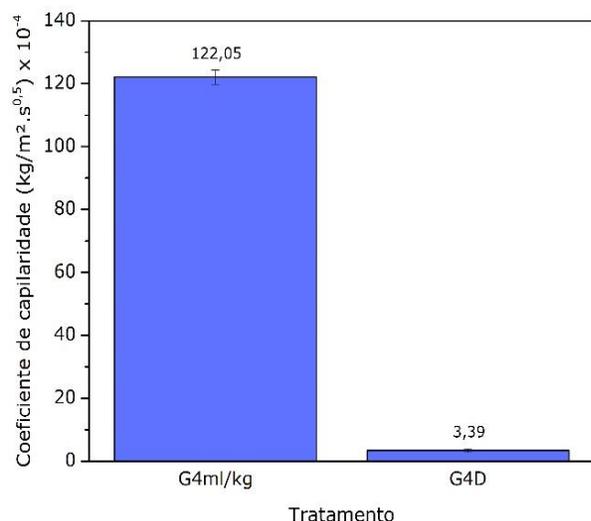


Figura 8: Resultados do ensaio de absorção por capilaridade. Ampliação.
Fonte: Autores (2020).

As Figuras 9 a 11 mostram o efeito da água no processo de degradação do gesso após o ensaio, onde é possível notar que a presença do hidrorrepelente, de massa ou de superfície, contribui para manter a integridade do material.



Figura 9: Aspecto dos corpos de prova após o ensaio de absorção por capilaridade. Corpos de prova de referência (GR). Após 24h em contato com a água a base sofreu um desgaste maior em relação aos demais tratamentos.
Fonte: Autores (2020).

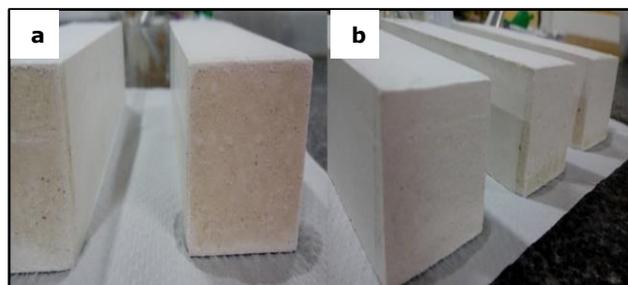


Figura 10: a. Tratamento G2ml/kg. b. Tratamento G4ml/kg. A adição do hidrorrepelente de massa leva a uma menor dissolução do gesso quando comparado aos corpos de prova de referência (GR).
Fonte: Autores (2020).

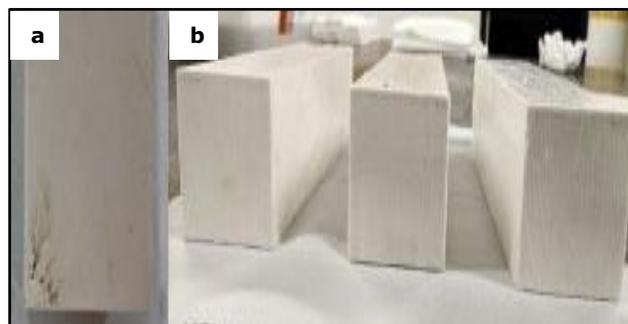


Figura 11: a. Tratamento G2D. b. Tratamento G4D. A presença de falhas leva possibilita uma maior absorção.
Fonte: Autores (2020).

De acordo com a norma DIN 52617 de 1987, citada por Santos [28], os materiais podem ser classificados segundo o valor do coeficiente de capilaridade. Com base nessa norma, o tratamento G4D é dito quase impermeável por apresentar um coeficiente de capilaridade de $3,39 \times 10^{-4} \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, ou seja, menor que $83,3 \times 10^{-4} \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$. Os tratamentos G2ml/kg e G4ml/kg são classificados como "preventivo contra a água" ($A_w < 333 \times 10^{-4} \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$) com o coeficiente de $195,55$ e $122,05 \times 10^{-4} \text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$, respectivamente. Enquanto que, os tratamentos GR e G2D são ditos materiais de "sucção rápida". De acordo com o teste

de Ducan, os tratamentos G2ml/kg e G4ml/kg não apresentaram diferença estatística significativa entre si, mas quando comparou-se o tratamento G4ml/kg com o tratamento G4D, houve diferença estatística significativa.

4 Conclusões

Com base nos resultados deste trabalho, pode-se concluir que:

- As curvas do calor de hidratação mostraram que a presença do hidrorrepelente de massa leva a uma diminuição da temperatura, que pode estar relacionada a uma diminuição da taxa de hidratação do sulfato de cálcio hemidratado;
- Nas séries com hidrorrepelente de massa, não foram observadas alterações nos tempos de início e fim de pega em relação a pasta de referência;
- Todos os tratamentos alcançaram o valor mínimo de dureza estabelecido na NBR 13207 ABNT de 2017 [16], no entanto, a medida que foi aumentada a quantidade de hidrorrepelente de massa ou de superfície, houve uma redução da dureza superficial;
- Todos os tratamentos alcançaram o valor mínimo de resistência à compressão estabelecido na NBR 13207 ABNT de 1994 [26], porém notou-se que a adição de uma maior quantidade de hidrorrepelente de massa levou a menores valores de resistência;
- A porosidade geométrica não foi influenciada pela adição de hidrorrepelente;
- O uso do hidrorrepelente de massa influenciou positivamente na redução da absorção de água por imersão total, em relação aos corpos de referência (GR);
- Os tratamentos G2ml/kg, G4ml/kg e G4D reduziram expressivamente a absorção por capilaridade, em relação aos corpos de referência (GR).

Assim, observou-se que o hidrorrepelente de massa tornou o material mais resistente à ação da água mantendo as demais propriedades avaliadas sem grandes alterações em relação ao gesso de referência (GR). Quanto ao hidrorrepelente de superfície, a aplicação de 4 demãos no ensaio de capilaridade mostrou-se eficaz como barreira contra a ascensão da água por capilaridade.

Referências

- [1] BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; BORGES, L. E. P. Variedades mineralógicas e processos utilizados na produção dos diferentes tipos de gesso. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Florianópolis, 2004, v. 01, p. 769-776.
- [2] KANNO, W. M. Propriedades mecânicas do gesso de alto desempenho. 2009. 130f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos - SP, 2009.
- [3] GARG, M.; PUNDIR, A.; SINGH, R. Modifications in water resistance and engineering properties of b-calcium sulphate hemihydrate plaster-superplasticizer blends. *Materials and Structures*, 2016, v. 49, p. 3253-3263.
- [4] MCGETTIGAN, E. Factors Affecting the Selection of Water-Repellent Treatments. *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*, 1995, vol. 26, n. 4, p. 22-26.
- [5] FARIAS FILHO, J. Estudo da durabilidade de argamassas alternativas produzidas de resíduos de construção e granito. 2010. 120f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade de Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2010.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12127: Gesso para construção: Determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro, 2019, 6p.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017, 7p.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12130: Gesso para construção - Determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrito. Rio de Janeiro, 1991, 3 p.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12128: Gesso para construção: Determinação das propriedades físicas da pasta. Rio de Janeiro, 2019, 5p.
- [10] PINHEIRO, S. M. M. Gesso reciclado: avaliação das propriedades para uso em componentes. 2011. 249f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2011.

- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12129: Gesso para a construção civil – Determinação das propriedades mecânicas, 1991, 5p.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12129: Gesso para a construção civil – Determinação das propriedades mecânicas, 2019, 6p.
- [13] SILVA, A. P. Determinação das propriedades mecânicas de compósitos de gesso reforçados com polímeros e fibras naturais. 2018. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro - BA, 2018.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade, 2005, 3p.
- [15] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. C1794: Standard Test Methods for Determination of the Water Absorption Coefficient by Partial Immersion. United States of America, 2015, 5p.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13207: Gesso para construção civil - Requisitos. Rio de Janeiro, 2017, 3p.
- [17] FERREIRA, F. C. Estudo de caracterização do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe. 2017. 204f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE, 2017.
- [18] SILVA, D. B. P. Efeito do aditivo hidrofugante nas propriedades e na durabilidade das pastas de gesso de fundição. 2018. 110f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), Universidade Federal Vale do São Francisco, Juazeiro, BA, 2018.
- [19] SINGH, N.B.; MIDDENDORF, B. Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, 2007, v. 53, p.57-77.
- [20] ANTUNES, R. P. N. Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso. 1999, 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- [21] BOUSTINGORRY, P. Elaboration d'un matériau composite à matrice gypse et renfort bois fragmenté. Amélioration de la résistance au vissage de produits préfabriqués en gypse. 186f. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Escola Nacional de Mineração Superior de Saint Etienne e do Instituto Nacional Politécnico de Grenoble, França, 2007.
- [22] WU, Q. *et al.* Preparation of waterproof block by silicate clinker modified FGD gypsum. *Construction and Building Materials* v.214, p. 318–325, 2019.
- [23] JAKOBSMEIER, L. Reaktivität und Wechselwirkungen siliciumorganischer Verbindungen in einer CaSO₄·2H₂O – Matrix. 2000. 140f. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) - Faculdade de Química da Universidade Técnica de Munique, Munique – GER, 2000.
- [24] SILVA, T. K. S. Síntese do compósito gesso-silicone com incorporação de nanopartículas de prata. 2019. 104f. Dissertação (Mestre em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro - BA, 2019.
- [25] BARBOSA, A. A. Estudo da conversão química de compósitos a base de gesso em hidroxiapatita. 2012, 132p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Universidade Federal do Vale do São Francisco. Juazeiro - BA, 2012.
- [26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13207: Gesso para construção civil - Requisitos. Rio de Janeiro, 1994, 2p.
- [27] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16494: Bloco de gesso para vedação vertical - Requisitos. Rio de Janeiro, 2017, 8p.
- [28] SANTOS, A. N. Comportamento higrotérmico de paredes em gesso – Avaliação da adequabilidade a zonas climáticas do Brasil. 2017. 210f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2017.