

CARACTERIZAÇÃO DA CALCINAÇÃO DE RESÍDUO DE GESSO RECICLADO PARA REUTILIZAÇÃO EM OBRAS CIVIS

Igor M. Carrillo^{1*}, Lucas G. S. Silva¹, Carina Ulsen², Cristiane R. Martins¹

¹Instituto de Ciências Ambientais, Químicas e Farmacêuticas - ICAQF, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP, Diadema, SP, Brasil

² Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo - Escola Politécnica da USP, Cidade Universitária, São Paulo, SP, Brasil

*e-mail: igor.mastropirro@unifesp.br

RESUMO

O gesso é um dos materiais de construção mais antigos da história e sua aplicabilidade vem crescendo nos últimos anos. Na construção civil, sua utilização é vista em revestimento de paredes, matéria-prima para painéis termoacústicos e em paredes internas. No entanto, cerca de 70% dos resíduos gerados no ambiente da construção são provenientes de reformas, pequenas obras civis e demolições e em muitos casos coletados por serviços de limpeza urbana. O gesso pós-uso descartado de maneira inadequada é um grande problema ambiental. Segundo a reclassificação do CONAMA (2011) o resíduo de gesso é considerado reciclável, assim fomentando pesquisas para desenvolvimento de reaproveitamento do material. O objetivo deste estudo é avaliar a recalcinação do gesso pós-uso analisando sua estrutura. Este estudo consistiu no processo de moagem, calcinação e ensaios mecânicos observando suas características químicas, térmicas e estruturais para diferentes tipos de calcinação. As principais análises realizadas foram granulometria, análise termogravimetria, análise por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier, difração por raio x e ensaios mecânicos por compressão. Resultados preliminares revelaram que a temperatura de perda de água do gesso pós-uso é de aproximadamente 134°C, sendo a temperatura inicial para a desidratação do gesso e de sua mudança de dihidratado para hemihidratado, evidenciando a mesma estrutura do gesso comercial e possibilitando a reciclagem. Ademais, as melhores temperaturas de calcinação de gesso foram de 134°C (4 h), 150 (3 h), 180°C (2 h) e 200°C (2 h), demonstrando a presença de bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4) afirmando que houve a calcinação quando comparada à amostra de 40°C (2 h), que apresentou gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) na análise estrutural. Segundo a norma NBR 12129 a tensão de ruptura mínima é de 8,4 MPa, o gesso calcinado a 180°C (2 h) e a 134°C (4 h) apresentaram compressão dos melhores resultados ficando entre 5,2% e 8,4% abaixo da norma.

Palavras-chave: gesso; reciclagem; resíduos de borracha; compósitos; sustentabilidade

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a busca por novos caminhos sustentáveis tornou-se imprescindível em diversos setores, inclusive na construção civil. O crescimento dos resíduos das obras aumenta a cada ano, e a viabilização da reciclagem dos resíduos torna-se cada vez mais necessária, promovendo a proteção do meio ambiente. O uso do gesso na natureza remonta a civilizações antigas, como a egípcia.

Com o grande crescimento das indústrias, o gesso se tornou um grande aliado para a fabricação do cimento Portland, na adição do minério ao *clínquer*, prolongando sua secagem e atrasando o tempo de pega. O gesso tem sua maior porcentagem na produção com destinação à indústria da construção civil; revestimento de paredes e tetos, painéis de teto, matéria-prima para painéis termoacústicos, fechamentos com blocos de folhas e paredes internas. Entretanto, está presente também em diversas indústrias, entre elas: cerâmicas, metalúrgicas e de produção de plásticos; moldes ortopédicos e dentários. Conforme o *United States Geological Survey, USGS*, (2020), o Brasil tem a terceira maior reserva do mundo e se apresenta em 12º lugar na produção anual de gesso ⁽¹⁾.

De acordo com o CONAMA (2002), este resíduo foi considerado pela Resolução 307/2002 como resíduo Classe “C”, posteriormente reclassificado pelo CONAMA (2011) 431/2011, como Classe “B”; resíduos recicláveis para outros destinos, assim, nos últimos anos, as pesquisas foram motivadas na reciclagem e reaproveitamento ⁽²⁾. Em levantamento pela Prefeitura de São Paulo, cerca de 70% dos resíduos gerados são provenientes de reformas, pequenas obras e demolições, em muitos casos recolhidos por serviços de limpeza urbana.

Segundo algumas pesquisas, diversos tipos de parâmetros foram testados nos últimos anos. Erbs *et al.* (2015) realizaram ensaios com temperaturas de 160°C (4h), 180°C (2h) e 200°C (4h) ⁽³⁾. Para Li *et al.* (2016) os testes realizados com 180°C (2h) apresentaram bons resultados na sua estrutura ⁽⁴⁾. Para De Moraes Rossetto *et al.* (2016) os parâmetros estudados foram de 150°C (3h) e 150°C (6h) ⁽⁵⁾. Assim, os ensaios foram refeitos no intuito de analisar as temperaturas e também os menores tempos de desidratação do gesso segundo as publicações existentes. Nessa linha, Cipriano *et al.* (2021) realizaram testes em diferentes tipos de temperatura e tempo na calcinação do gesso pós-uso. As temperaturas e tempo escolhidos para ensaios de compressão foram entre 8 h e 17 h sendo o melhor resultado na difração de raio x se apresentou a partir do parâmetro de 136°C (4h), entretanto estudos com o valor da termogravimetria de 136°C foram testados na calcinação de diversas horas ⁽⁶⁾.

Nesse contexto, a pesquisa tende a avaliar a recalcinação do gesso em prol da reciclagem e sustentabilidade em busca de uma economia circular desse material. O trabalho consiste no processo de moagem e calcinação do Gesso Pós-uso (GPu) transformando-o em Gesso Calcinado (GCa) sendo avaliado e verificado pelas características do Gesso Comercial (GCo).

MATERIAIS E MÉTODOS

O gesso foi obtido a partir dos resíduos gerados pelo processo de acabamento de paredes e tetos em uma obra localizada em Santo André, São Paulo.

Padronização do Gesso Pós-uso (GPu)

Os resíduos de gesso passaram um processo de britagem e uniformização da granulometria realizada por britador de mandíbulas, marca Furlan, modelo BM2010 e um moinho de rolo da marca Furlan, modelo MR 2515 em 6 ciclos, sendo quantificado por um peneirador vibratória composta das peneiras 0,840 mm, 0,420 mm, 0,297 mm, 0,210 mm e 0,105 mm conforme a ABNT NBR 12127.

Caracterização do Gesso Pós-uso (GPu)

A caracterização mineralógica do gesso pós-uso foi efetuada pela difração de raio x da marca Bruker modelo D8 Advance, operando a 40kV e 40 mA, radiação k-alfa de cobre ($\lambda=0,15406$ nm) e 2θ entre 5° a 60° em uma velocidade de varredura de $2^\circ.\text{min}^{-1}$ ($0,033^\circ.\text{seg}^{-1}$) em temperatura ambiente. A caracterização térmica foi obtida pela análise térmica diferencial/termogravimetria da marca Shimadzu modelo (DGT-60H) em um cadinho de alumina na faixa de temperatura de 25°C até 1000°C com taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C}.\text{min}^{-1}$ sobre atmosfera de nitrogênio controlada. A caracterização estrutural foi analisada pelo infravermelho com

transformada de Fourier da marca Shimadzu modelo IR Prestige-21 com varredura de 4000 a 400 cm^{-1} caracterizado em pó e prensado na pastilha de KBr determinando os grupos funcionais do gesso pós-uso. As moldagens dos corpos de prova cúbico com arestas de 50 mm foram produzidas obedecendo a ABNT NBR 12129 com secagem em estufa em 45°C até massa constante, indicado para ensaios de compressão. O ensaio de compressão foi realizado no equipamento da marca Instron EMIC linha DL com capacidade de 100 kN.

Calcinação do Gesso

Os resíduos de gesso foram aquecidos em diferentes temperaturas e períodos de tempo em uma estufa de laboratório com circulação de ar da marca Marconi modelo MA035/1. Os parâmetros utilizados se encontram na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros de temperatura e tempo de aquecimento e amostras calcinadas

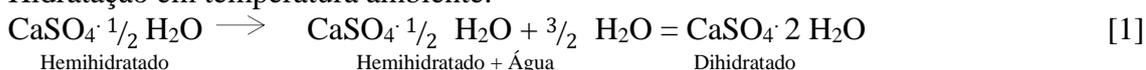
Amostras	Temperatura (°C)	Tempo (h)
GCa 40 °C (2 h)	40	2
GCa 134 °C (4 h)	134	4
GCa 150 °C (3 h)	150	3
GCa 180 °C (2 h)	180	2
GCa 200 °C (2 h)	200	2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

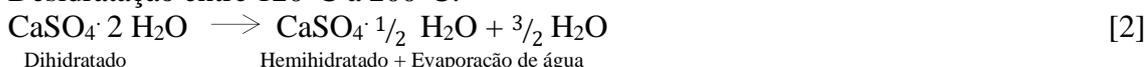
Padronização do gesso

A mudança granulométrica da partícula pelo britador e moinho de rolos se demonstrou satisfatória pelo resultado passante na peneira 0,297 mm. Segundo a Norma ABNT 12127, a granulometria via seca do gesso de fundição é de 90% ou mais passante na peneira 0,29 mm sendo responsável pela produção placas de gesso acartonado. Entretanto, apenas 80,73% passou pela peneira 0,297 mm, apresentando um montante de 19,26% sobre a granulometria desejada. A presença da água no gesso dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) na peneira vibratória formou aglomerados de grânulos de gesso passantes na peneira 0,297 mm. O tratamento térmico do gesso é subdividido em duas etapas classificadas como hidratação e desidratação de acordo com as Equações [1] e [2] onde a desidratação consiste em perda de 75% de água.

Hidratação em temperatura ambiente:

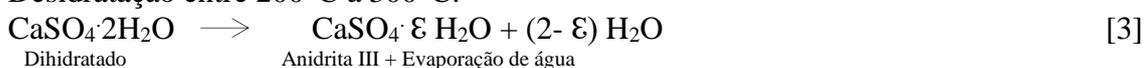


Desidratação entre 120°C a 200°C:



Conforme aumento de temperatura, a calcinação do gesso apresenta diferentes estruturas cristalinas. Os polimorfos cristalinos dispõem de características diversas entre si incluindo a reatividade com água e a resistência após a hidratação formando-os em dihidratado. À medida que houver o aquecimento em altas temperaturas na desidratação do gesso hemidratado verifica-se a presença de Anidrita III ($\text{CaSO}_4 \cdot \epsilon \text{H}_2\text{O}$) para aquecimentos entre 200°C a 300°C, conforme a Equação [3] em que: $0,06 < \epsilon < 0,11$ e a presença de Anidrita II (CaSO_4) em aquecimentos acima de 300°C sem presença de água em sua estrutura (Equação [4]), onde ϵ intervalo de dados esperados.

Desidratação entre 200°C á 300°C:



Desidratação acima de 300°C:



[4]

Termogravimetria e Termogravimetria diferencial

A caracterização via térmica indicou que o resíduo de gesso pós recolhimento em obra apresenta três decaimentos, entre eles dois acentuados e um levemente inclinado. O pico endotérmico na derivada da termogravimetria é de 134°C e a perda de massa na termogravimetria de 17% entre 25°C a 200°C retratando a queda característica da perda de água da estrutura atribuindo a mudança de diidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) para hemidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) demonstrada na Figura 1. Segundo Cipriano *et.al* e Kondratieva *et.al* os valores de perda de massa e pico permanecem próximos dos valores encontrados na literatura ^(6,7).

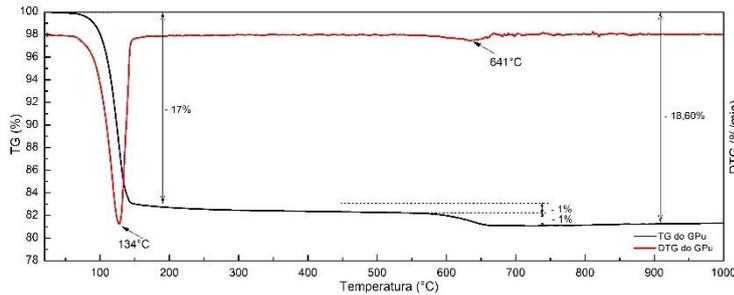


Figura 1:

Resultados da curva de TG/DTG do Gesso Pós-uso (GPU)

Com o aumento da temperatura do GPU nota-se um leve declive de 1% entre as temperaturas de 200°C a 600°C revelando a mudança de fase entre hemidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) para andrita III ($\text{CaSO}_4 \cdot \varepsilon\text{H}_2\text{O}$) e posteriormente anidrita II (CaSO_4) considerado um material inerte sendo incapaz de atingir a pega impossibilitando recuperar sua fase hidratada. O último decaimento acentuado de 1,43% é responsável pela perda de CO_2 ocasionado pelo desdobramento da dolomita ⁽⁸⁾.

Segundo a metodologia de Dweck e Lasota há possibilidade de estimar a pureza do gesso pela seguinte Equação [5], onde P é a pureza do gesso em porcentagem e M1 é a porcentagem perdida do gesso após 134°C ^(9,10).

$$P = (\Delta M1/0,2093) \longrightarrow D = (17,00/0,1860) \longrightarrow 91,39\% \quad [5]$$

Sabendo-se que o primeiro decaimento é de 17% e o decaimento total após 1000°C é de 18,60%, conclui-se que o GPU apresenta 91,39% de pureza. Com base na literatura o gesso empregado na construção civil apresenta grau de pureza acima de 75%, sendo assim aprovado para sua utilização ⁽¹⁰⁾.

Difração de raio x

O difratograma de raio x do resíduo de gesso pós obra é aquecido e calcinado em diferentes temperaturas, sendo comparado ao gesso controle. A temperatura de calcinação de 134°C é devido ao pico da derivada da termogravimetria indicando a temperatura de degradação máxima ($T_{d_{max}}$) e a mudança de dihidratado para hemidratado encontrado na análise de termogravimetria apresentado na Figura 1. De acordo com os ensaios de difração de raio x, o aquecimento a 40°C (2h) e 134°C (2h) identificou a presença da fase cristalina com picos apenas de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), enquanto as calcinações acima de 134°C (4 h) expuseram picos de bassanita referente a reação da desidratação da gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), entre elas, a bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) além das fases de calcita (CaCO_3) e anidrita (CaSO_3) presentes na Figura 2.

Para Cipriano *et al.* (2021) os melhores resultados na difração de raio x se apresentaram para as amostras calcinadas acima de 136°C (4 h) ⁽⁶⁾.

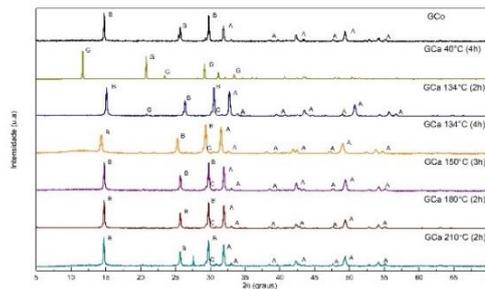


Figura 2: Difratoograma de raio x do gesso comercial (GCo) e dos gessos calcinados (GCas); 40°C (2h), 134°C (2h) e (4h), 150°C (3h), 180°C (2h) e 200°C (2h).

Espectroscopia no infravermelho com transformada por transformada de Fourier

Conforme ensaio a presença de grupos funcionais é classificada pelas bandas de estiramentos das ligações de O-H e SO_4^{2-} em diferentes números de ondas, demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3: Grupos funcionais presentes no ensaio do gesso pós-uso ($CaSO_4 \cdot 2,0 H_2O$).

Grupos funcionais	Número de onda (cm^{-1})
O-H	3545, 3408, 2226, 1686 e 1620
SO_4^{2-}	1141, 1110, 671 e 606

O grupo O-H é referente as moléculas de água existentes na estrutura do dihidratado. Na literatura os picos dos grupos de O-H na análise de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier é identificada tanto no hemidratado e do dihidratado, a mudança se encontra na transmitância presente no ensaio ⁽¹¹⁾. Para gessos calcinados (GCas) a transmitância é menor do que para gessos pós-uso (GPu), essa mudança é identificada pela maior presença de moléculas de H_2O responsáveis pelas ligações de O-H.

Resistência à compressão

Os ensaios foram realizados nos 3 corpos de prova de cada calcinação após um período de 28 dias. A Figura 3 demonstra os resultados e o desvio padrão dos corpos de prova ensaiados. Segundo a NBR 13207 a tensão de ruptura mínima para o gesso é de 8,4 MPa, apenas o gesso comercial (GCo) conseguiu superar a norma. O Gesso Calcinado á 180°C (2 h) (GCa) apresentou o melhor resultado de 7,96 MPa sendo 5,2% menor que o valor mínimo da norma.

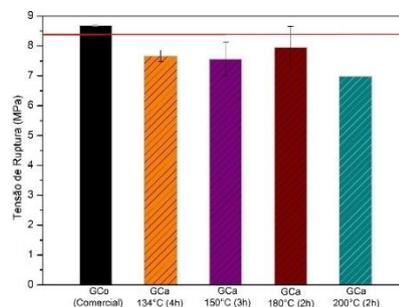


Figura 3: Resultados da tensão de ruptura (MPa) do GCo; GCa 134°C (4h); GCa 150°C (3h); GCa 180°C (2h) e GCa 200°C (2h).

CONCLUSÕES

Os principais parâmetros que afetam as características do gesso são a granulometria, temperatura, tempo de recalcinação e quantidade de impurezas. Os grupos funcionais do Gesso Pós-uso (GPu) são os mesmos do Gesso Comercial (GCo), apresentando os picos de O-H, apenas sendo diferenciados pela intensidade da transmitância, sendo possível a recalcinação.

Na caracterização dos compostos do gesso, todos os Gessos Calcinados (GCas) acima de 134°C (4h) apresentaram fase de bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4) comparados ao Gesso Comercial (GCo), confirmando que houve a calcinação quando comparada a amostra de Gpu a 40°C (2 h), onde a presença foi de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) na análise estrutural. Os GCas apresentam maior reatividade na relação água/gesso necessitando de mais água para melhorar a sua trabalhabilidade que está vinculada diretamente a granulometria e a recalcação do GPU. Os melhores resultados de GCas foram o de 134°C (2 h) e 180°C (2 h) com tensão de ruptura de 7,68 MPa e 7,96 MPa aproximadamente entre 8,6% e 5,2% abaixo do mínimo esperado pela norma. A recalcação dos resíduos de gesso pós-uso (GPU) se torna viável sendo necessários estudos aprofundados nas características mecânicas e ate mesmo na criação de um composto.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) e na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). O presente projeto foi desenvolvido com apoio da CIM Embrapii através da concessão de bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12127: gesso para construção – Determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12129: gesso para construção – Determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 13207: gesso para construção – Gesso para construção civil. Rio de Janeiro, 1994.
1. USGS. Gypsum: Mineral Commodity Summaries. *U.S. Geol. Surv.* 2 (2021).
 2. *Resolução CONAMA nº 431*. 2011 (2011).
 3. ERBS, A., NAGALLI, A., MYMRINE, V. & CARVALHO, K. Q. Determinação das propriedades físicas e mecânicas do gesso reciclado proveniente de chapas de gesso acartonado. *Cerâmica* 61, 482–487 (2015).
 4. LI, Z., PENG, J., ZHAO, H., QIU, X. & ZHAO, M. Grindability, grading and wettability of recycled plaster. *Trans. Tianjin Univ.* 22, 480–485 (2016).
 5. DE MORAES ROSSETTO, J. R., CORREIA, L. S., GERALDO, R. H. & CAMARINI, G. Gypsum plaster waste recycling: Analysis of calcination time. *Key Eng. Mater.* 668, 312–321 (2016).
 6. CIPRIANO, P. B., GALDINO, T. S. G., SÁ, C. S. & FERRAZ, A. DE V. Avaliação dos parâmetros de calcinação do resíduo de gesso nas propriedades do gesso reciclado. *Matéria (Rio Janeiro)* 26, (2021).
 7. KONDRATIEVA, N., BARRE, M., GOUTENOIRE, F. & SANYTSKY, M. Study of modified gypsum binder. *Constr. Build. Mater.* 149, 535–542 (2017).
 8. FERREIRA, M. S. & CORDON, H. C. F. *Análise da microestrutura do gesso reciclado*. vol. 5 (2012).
 9. CORDON, H. C. F., FERREIRA, M. S. & FERREIRA, F. F. Comparative Analysis of Recycled Plaster Composition Determined by X-ray Powder Diffraction and Thermogravimetric Analyses. *Constr. Mater.* 1, 105–121 (2021).
 10. JO, D., LEONARDO, R. S., CARTLEDGE, F. K., REALES, O. A. M. & TOLEDO FILHO, R. D. Gypsum content determination in Portland cements by thermogravimetry. *J. Therm. Anal. Calorim.* 123, 1053–1062 (2016).
 11. A. A. BARBOSA, A. V. FERRAZ & G. A. SANTOS. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso β obtido do pó do Araripe. *Cerâmica* 501–508 (2014).

CHARACTERIZATION OF RECYCLED GYPSUM WASTE CALCINATION FOR REUSE IN CIVIL WORKS

ABSTRACT

Gypsum is one of the oldest building materials in history and its applicability has been growing in recent years. In civil construction, its use is seen in wall cladding, raw material for thermoacoustic panels and in internal walls. However, 70% of the small waste generated was not created for the construction environment of urban cleaning services. Discarded post-use gypsum is a major environmental problem. According to the reclassification of CONAMA (2011), the gypsum waste is considered recyclable, assimilating research for developments of reuse of the material. The aim of this study is to evaluate post-use gypsum recalcination by analyzing its structure. This study and calcination in the process of evaluating its different characteristics of types, patterns and structural consistency. The main analyzes performed by analysis of granulometry, thermogravimetry, analysis by Fourier transform infrared spectroscopy, X-ray diffraction and X-ray diffusion. Results revealed gypsum that is close to gypsum temperature, proving the same structure as gypsum, proving the same structure as gypsum, and waiting for recycling. In addition, the best gypsum calcination temperatures were 134°C (4 h), 150 (3 h), 180°C (2 h) and 200°C (2 h), demonstrating the presence of bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) and anhydrite (CaSO_4) to calcination when verified in the sample at 40°C (2 h), which showed gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) structurally in the analysis.

Keywords: gypsum; recycling; rubber residue; composites; sustainability