

# AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE CICLOS DE RECICLAGEM NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO GESSO

Marina Carolina Menardo Claro<sup>1</sup>; Heloísa Cristina Fernandes Cordon<sup>2</sup>

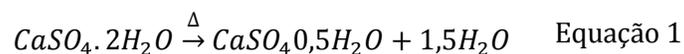
<sup>1</sup> Aluna de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

<sup>2</sup> Professora da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

**Resumo.** *Com a publicação da Resolução 431/2011 do CONAMA, o resíduo de gesso passou a ser considerado reciclável, porém estudos mostram que o tempo útil de manuseio do material torna-se menor após a reciclagem. O objetivo deste trabalho é estudar o impacto de ciclos consecutivos de reciclagem nas propriedades físicas de um gesso comercial. O material foi reciclado em laboratório, hidratado com a quantidade de água necessária para a obtenção de uma pasta de consistência normal, moído e calcinado a 140 °C. O gesso reciclado apresentou redução de 12,5% em sua compactidade e aumento de 42% do teor de água para pasta de consistência normal após a primeira reciclagem e redução de 25% na compactidade e aumento de 57% do teor de água após a quinta reciclagem, quando comparado ao gesso comercial. O intervalo útil de utilização do material reduziu após a primeira reciclagem, mas se manteve constante nos ciclos posteriores.*

## 1. Introdução

De acordo com Harada e Pimentel (2009) e Bernhoeft et al. (2011) o gesso é um dos materiais mais antigos da construção civil. Obtido através da calcinação da gipsita, que é basicamente sulfato de cálcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), que quando calcinada torna-se um hemidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ), conforme mostra a Equação 1.



Quando as partículas de hemidrato entram em contato com a água, ocorre uma reação exotérmica, como mostra a Equação 2. (M. M. PINHEIRO e CAMARINI, 2015).



Atualmente o gesso é um dos materiais mais utilizados na construção civil. O conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2011) publicou a resolução 431 no ano de 2011 onde estabelece que o gesso, antes enquadrado na categoria de “resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que

permitam sua reciclagem ou recuperação” (Classe C), agora inclui o gesso na categoria de “resíduos recicláveis” (Classe B).

Alguns estudos mostraram que houve um aumento significativo na quantidade de água necessária para manter o gesso com uma boa trabalhabilidade, uma diminuição da massa unitária, bem como do tempo de pega (CAGNONI, F.C.; CORDON, 2016).

A avaliação das propriedades físicas e mecânicas do gesso de construção segue os requisitos preconizados nas normas brasileiras, como descrito a seguir.

A norma NBR 13207 (ABNT, 2017) determina alguns valores limites para algumas características físicas e mecânicas do gesso, resumidas na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 – Exigências físicas e mecânicas do gesso para construção civil.

Determinações Físicas e Mecânicas	Unidade	Limites
Resistência à compressão (NBR 12129*)	MPa	> 8,40
Massa unitária (NBR 12127)	kg.m <sup>-3</sup>	> 600,00

\*Foi utilizada a NBR 12129 de 1991.

Tabela 2 – Exigências físicas do gesso para construção civil.

Classificação do Gesso	Tempo de Pega (min) (NBR 12128)	
	Início	Fim
Gesso para fundição	≤ 10	≤ 20
Gesso para revestimento (sem aditivo)	≥ 10	≥ 35
Gesso para revestimento (com aditivo)	≥ 4	≥ 50

A norma NBR 13207 (ABNT, 1991), sofreu alterações em 2017, no entanto ao que se trata do módulo de finura, a norma não se faz clara, por este motivo e pelo presente trabalho ter sido iniciado antes do seu lançamento optou-se por utilizar a NBR 13207 de 1991.

Tabela 3 – Exigências físicas do gesso para construção civil.

Classificação do gesso	Módulo de finura
Gesso fino para revestimento	<1,10
Gesso grosso para revestimento	>1,10
Gesso fino para fundação	<1,10
Gesso grosso para fundação	>1.10

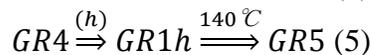
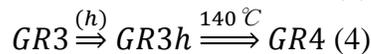
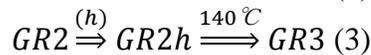
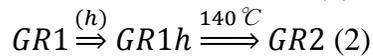
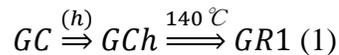
## 2. Objetivo

O objetivo do presente trabalho é estudar qual o impacto de ciclos consecutivos de reciclagem nas propriedades físicas e mecânicas do gesso comercial.

## 3. Material e Métodos

O gesso comercial obtido foi caracterizado quanto as suas características físicas. Posteriormente, através de ensaios de pasta de consistência normal, determinou-se a relação água/gesso, que foi utilizada para hidratar o gesso e transforma-lo no primeiro “resíduo” a ser reciclado. Esse foi então moído e calcinado e o processo foi repetido consecutivamente por cinco vezes.

Neste trabalho, utilizou-se gesso comercial – designado como GC. O gesso comercial foi então hidratado (h) – (GCh) – em seguida calcinado utilizando a estufa a 140 °C durante duas horas e meia, finalizando o primeiro ciclo de reciclagem (GR1) esquema (1), o GR1 foi então hidratado (GR1h) e calcinado nas mesmas condições, assim sucessivamente até o 5º ciclo (esquema 5)



Para todos os GR<sub>*i*</sub>, sendo *i* o ciclo em questão, realizaram-se os ensaios de massa unitária, massa específica, distribuição granulométrica e módulo de finura, pasta de consistência normal, tempo de pega, cinética de temperatura e mini slump, além da moldagem dos corpos de prova para ensaio de resistência à compressão. Todos os ensaios foram realizados de acordo com as normas brasileiras. A água utilizada para hidratação foi a água de abastecimento público de São Caetano do Sul. Para o ensaio de pasta de consistência normal a água utilizada foi a destilada e o aditivo retardador de pega citrato de sódio.

Primeiramente foram realizados os ensaios de massa específica, massa unitária e granulometria com o pó de gesso comercial, seguindo NBR12127 (ABNT,1991), obtendo valores em (g/cm<sup>3</sup>). Para a massa específica foi consultada a norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000). Seguindo a norma NBR 12128 (ABNT,2017) realizou-se então o ensaio de pasta de consistência normal, que utiliza o aparelho de Vicat modificado. Com a relação água/gesso conhecida, realizou-se o ensaio de cinética de temperatura, para isso utilizou-se uma caixa de isopor com pequenas esferas também de isopor, em seu interior para criar um ambiente controlado que não interferisse na temperatura do gesso. Com a agulha de um termômetro em contato com uma pequena quantidade de 100 g de pasta (gesso+água), e o auxílio de um cronômetro, criou-se um gráfico do calor pelo tempo.

Fez-se a primeira hidratação seguindo as normas e a pasta foi espalhada formando camadas finas em bandejas forradas com sacos plásticos. Depois de alguns dias com o gesso completamente seco ele foi moído com o moinho de martelos e em seguida colocado na estufa em uma temperatura de 140°C com amostras que foram retiradas de 30 em 30 minutos até obter-se uma perda de massa constante, o que aconteceu após 2:30. Com esse processo concluído obtêm-se o gesso reciclado 1 (GR1).

Além disso ainda seguindo a norma NBR 12128 (ABNT,2017) realizou-se o ensaio de tempo de pega, onde utiliza-se o aparelho de Vicat.

Para os GR $i$ h foram realizados apenas ensaios de módulo de finura, massa unitária, massa específica e seguindo a norma NBR 12129 (ABNT, 2017) realizou-se o ensaio de resistência à compressão.

#### 4. Resultados e Discussões

A Tabela 4 abaixo indica os resultados obtidos de massa unitária e massa específica para o gesso comercial e cada um dos gessos reciclados.

Tabela 4 – Propriedades físicas do pó.

	Massa unitária (kg.m <sup>-3</sup> )	Massa específica (kg.m <sup>-3</sup> )	Compacidade (%)	Módulo de finura (%)
<b>GC</b>	608,2	2564,10	24%	1,83
<b>GR1</b>	505,4	2364,40	21%	2,00
<b>GR2</b>	468,2	2507,54	19%	1,94
<b>GR3</b>	460,0	2500,00	18%	1,90
<b>GR4</b>	511,4	2466,61	21%	1,92
<b>GR5</b>	441,6	2481,53	18%	1,96

Observa-se que com o passar das reciclagens a massa unitária sofre uma diminuição, com uma exceção na reciclagem 4, onde a massa unitária aumenta. A massa específica apresenta uma queda brusca apenas na primeira reciclagem, em seguida permanece quase inalterada. Quanto ao módulo de finura, ele aumenta do GC para o GR1, ao longo das reciclagens tem algumas oscilações o que leva a crer que o ciclo não interferiu no modulo de finura, possivelmente o tempo de moagem justificaria melhor a oscilação.

Quanto as exigências da norma, apenas a massa unitária do gesso comercial (GC) atende o requisito mínimo de 600,00 kg.m<sup>-3</sup>, o restante dos gessos ensaiados não estão dentro do especificado pela norma. Quanto ao módulo de finura ele atende às exigências da norma apenas se for usado como gesso grosso (>1,10).

A quantidade de agua necessária para garantir uma boa trabalhabilidade chama atenção uma vez que ela aumenta 42% do gesso comercial (GC) para o gesso reciclado (GR1), e 10% da primeira para a 5ª reciclagem (GR5). A compacidade diminui 3 pontos percentuais entre a primeira reciclagem e a amostra comercial e entre a 5ª e a 1ª reciclagem, totalizando uma perda total de 6% após todos os ciclos, o que explica o aumento do teor de água necessário para a produção de uma pasta de consistência normal. Isso se deve ao aumento da porosidade gerada a cada ciclo.

Tabela 5 – Propriedades físicas do pó hidratado.

	Massa unitária (kg.m <sup>-3</sup> )	Massa específica (kg.m <sup>-3</sup> )	Compacidade (%)	Modulo de finura (%)
<b>GCh - 0,47</b>	607,2	2242,18	27%	1,94
<b>GR1h - 0,67</b>	536,2	2257,44	24%	1,94
<b>GR2h - 0,70</b>	554,7	2222,22	25%	1,87
<b>GR3h - 0,72</b>	486,1	2222,22	22%	1,82
<b>GR4h - 0,74</b>	543,6	2202,64	25%	1,78

Ao analisar o modulo de finura do pó hidratado ele também atende as exigências da norma apenas se for usado como gesso grosso (>1,10).

Assim como para o gesso na forma de hemidrato, observa-se da Tabela 5 que a tendência é ocorrer uma diminuição da compacidade também para as amostras hidratadas. É importante notar que os valores da compacidade são maiores para os dihidratos que para os hemidratos, o que pode ser justificado uma vez que durante a calcinação a água evaporada deixa “vazios”, o que diminui a compacidade.

A seguir, a Tabela 6, apresenta os tempos de pega medidos para a pasta em cada uma das reciclagens

Tabela 6 –Propriedades Físicas da Pasta

	Tempo de Início de Pega (min's'')	Tempo de Fim de Pega (min's'')	Tempo Útil de Pega (min's'')
<b>GC - 0,47</b>	19' 00''	39' 30''	20' 30''
<b>GR1 - 0,67</b>	19' 30''	27' 30''	08' 00''
<b>GR2 - 0,70</b>	16' 00''	24' 30''	08' 30''
<b>GR3 - 0,72</b>	26' 00''	34' 00''	08' 00''
<b>GR4 - 0,73</b>	18' 30''	22' 00''	03' 30''
<b>GR5 - 0,74</b>	08' 00''	13' 50''	05' 50''

Pode-se observar que existe uma diminuição considerável do tempo útil de pega do GC para o GR1, ou seja, do gesso comercial para o gesso reciclado apenas uma vez, no entanto o seu início de pega e fim de pega não seguem uma lógica o que pode ser justificado pela temperatura diferente em que cada ensaio ocorreu, os ensaios do GC e do GR4 ocorreram a uma temperatura de 21°C, do GR1 a 23°C, dos GR2 e GR3 a 23,5°C e do GR5 a 19,8°. Em relação à norma, nem mesmo o gesso comercial atende a exigência para o fim do tempo de pega, que deveria ser maior que 45 minutos.

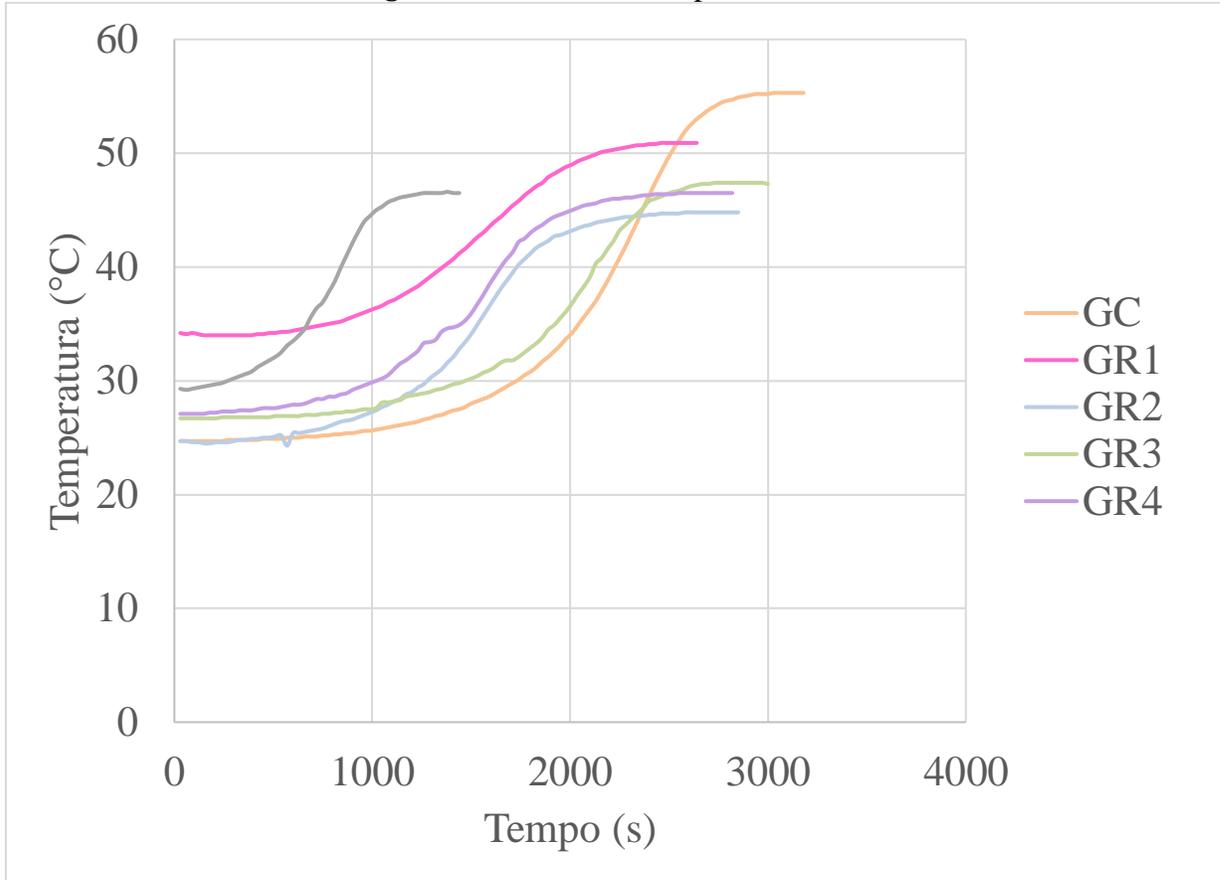
A Tabela 7 apresenta o tempo para atingir a temperatura máxima e a temperatura máxima registrada nos ensaios de cinética de temperatura.

Tabela 7 –Dados da cinética de hidratação

	GC	GR1	GR2	GR3	GR4	GR5
<b>Tempo (min's'')</b>	50'30''	37'00''	39'00''	41'30''	36'30''	21'00''
<b>Temperatura máxima (°C)</b>	55,3	50,9	44,8	47,4	46,5	46,5

O gráfico abaixo (Figura 1) mostra as curvas de cinética de temperatura do gesso comercial e dos reciclados.

Figura 1 - Cinética de temperatura



Dos dados da Tabela 7 e da Figura 1, pode-se observar que a máxima temperatura ocorreu na hidratação da amostra GC e a tendência que diminua em função dos ciclos de reciclagem. Observa-se que os dados de tempo de pega apresentados na Tabela 6 são compatíveis com o comportamento dos gessos em relação à cinética de hidratação, onde o GC levou mais tempo para atingir a temperatura máxima e teve o maior tempo útil de pega e o GR5 apresentou o comportamento inverso.

A Tabela 8 mostra os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão.

Tabela 8 – Propriedades mecânicas da pasta

<b>Resistência à compressão (MPa)</b>	
<b>GCh – 0,47</b>	9,0
<b>GR1h – 0,67</b>	3,8
<b>GR2h – 0,70</b>	3,6
<b>GR3h – 0,72</b>	3,0
<b>GR4h – 0,73</b>	3,4
<b>GR5h – 0,74</b>	3,1

A norma exige que a resistência à compressão seja superior a 8,4 MPa, sendo assim apenas o gesso comercial está dentro do especificado. Como a maioria dos outros resultados, pode-se observar que a mudança significativa ocorreu do gesso comercial para o gesso reciclado onde houve uma diminuição de 58%, já do GR1 para o GR5 a diminuição foi de apenas 7%. A tendência foi diminuir a cada ciclo.

## 5. Conclusão

Os resultados mostraram que a quantidade de água necessária para que se obtenha a pasta de consistência normal aumenta muito ao reciclar o gesso a primeira vez, mas após ciclos consecutivos de reciclagem, os valores se mantêm constantes.

Pode-se observar também que a maior perda da massa unitária, massa específica, compacidade, tempo de pega e da resistência a compressão ocorreu na primeira reciclagem, as demais apresentam uma queda mas em menor porcentagem.

O gesso comercial utilizado atendeu a norma para a massa unitária e para a resistência à compressão, ao reciclar o gesso nenhuma das exigências da norma são atendidas e ao passar dos ciclos ficam cada vez mais longe do ideal.

## 6. Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12127 (MB-3468) - Gesso para Construção: Determinação das Propriedades Físicas do Pó**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12128 (MB-3469) - Gesso para Construção: Determinação das Propriedades Físicas da Pasta**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12129 (MB-3470) - Gesso para Construção: Determinação das Propriedades Mecânicas**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13207 - Gesso para Construção Civil**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 23:2001**

**Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.** .  
[S.l: s.n.]. , 2000

BERNHOEFT, Luiz Fernando e GUSMÃO, Alexandre Duarte e TAVARES, Yêda Vieira Póvoas. **Influência da adição de resíduo de gesso no calor de hidratação da argamassa de revestimento interno.** Ambiente Construído, v. 11, n. 2, p. 189–199, 2011.

CAGNONI, F.C.; CORDON, H.C.F. **Estudo do processo de calcinação como alternativa para a reciclagem de gesso proveniente da construção civil.** 8º Seminário Mauá de Iniciação Científica, n. i, 2016.

HARADA, Éric e PIMENTEL, Lia Lorena. **Estudo Da Viabilidade Do Reaproveitamento De Gesso – Queima Lenta.** Anais do XIV Encontro de Iniciação Científica - PUC - Campinas, n. April, p. 2–5, 2009.

M. M. PINHEIRO, Sayonara e CAMARINI, Gladis. **Characteristics of Gypsum Recycling in Different Cycles.** International Journal of Engineering and Technology, v. 7, n. 3, p. 215–218, 2015. Disponível em:  
<<http://www.ijetch.org/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=62&id=914>>.