UNIJUÍ – UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

DCEEng – DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GIOVANI MATEUS APOLINARIO

REUTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE GESSO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Ijuí – RS

2015

GIOVANI MATEUS APOLINARIO

REUTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE GESSO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado como requisito para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Lucas Fernando Krug

Ijuí – RS

2015

GIOVANI MATEUS APOLINARIO

REUTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE GESSO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo membro da banca examinadora.

Ijuí, 09 de novembro de 2015

Prof. Lucas Fernando Krug
Mestre pela Universidade do Vale do Rio
dos Sinos (UNISINOS) – Orientador

Profª Lia Geovana Sala
Coordenadora do Curso de Engenharia Civil/UNIJUÍ

BANCA EXAMINADORA

Profª Fernanda da Cunha Pereira (UNIJUÍ)
Doutora em Engenharia Química pela
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Dedico este trabalho aos meus amados pais, Ivania e Sebastião, pelo incentivo e dedicação desde o início do curso.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pelas oportunidades, pelas bênçãos e pela família que me deu.
Aos meus pais, Ivania e Sebastião, pelo fato de nunca me abandonar e sempre aconselhar para o melhor caminho, trabalhando dobrado, sacrificando seus sonhos em favor dos meus, pai, mãe muito obrigado por tudo.
Ao meu irmão Juliano, pelo incentivo e por sempre me apoiar em todos os momentos.
Ao meu amor Daiane, por sempre me apoiar em todos os momentos felizes, mas também nos momentos de angústia e dificuldades me dando apoio, carinho e forças para prosseguir, e como forma de retribuição, deixo aqui meu muito obrigado.
Agradeço este trabalho em especial ao Professor Me. Lucas Fernando Krug, pela orientação, pela paciência e pela amizade que foram de extrema importância para a conclusão deste trabalho.
Agradeço a toda equipe do Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ, em especial ao meu amigo Luiz Donato, que sempre me ajudou durante esta caminhada, sempre esteve disposto a me ajudar, dando conselhos ou fazendo críticas vistas por mim como críticas construtivas e me auxiliando em toda a caminhada.
Aos professores do Curso de Engenharia Civil, por todos os ensinamentos, que contribuíram para a minha formação profissional e pessoal e, principalmente, por ensinarem quanto à responsabilidade e a importância do Engenheiro Civil perante a sociedade em que vivemos e prestamos serviços.
Agradeço a todos os meus colegas da faculdade, por todos os trabalhos realizados juntos. Sem dúvida foram momentos de grande aprendizado, dificuldades e superações, que estarão guardados para sempre comigo com muito carinho.
A todos os meus familiares e amigos que de alguma forma contribuíram para a minha vitória.
Enfim, agradeço de coração a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha vida nesta longa caminhada.

“Que os vossos esforços desfiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”.

Charles Chaplin

APOLINARIO, G. M. **Reutilização do resíduo de gesso da construção civil**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil), UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

RESUMO

O gesso é um dos materiais mais antigos de construção utilizados pelo homem. Os resíduos oriundos pela construção civil e demolição representam uma grande parcela dos resíduos sólidos urbanos, estima-se que 4 % de entulhos na construção civil são de produtos de gesso. O gesso é obtido pelo aquecimento da matéria-prima, a gipsita, a cerca de 140 ºC a 160 ºC, seguido de moagem. A hidratação do gesso se dá no momento da sua utilização de água. A rapidez com que a reação ocorre proporciona um grande desperdício de material. A NBR 15113 (ABNT, 2004) destaca que o gesso é considerado como material classe C, ou seja, aquele que gera resíduos para os quais não foram desenvolvidas técnicas ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua recuperação. No entanto surge reverter esta situação e encontrar meios de se diminuir a dissipação dos resíduos de gesso no meio ambiente. Uma delas é proporcionar o reaproveitamento desses resíduos. Neste trabalho foram atestadas possibilidades para reutilização do resíduo de gesso para a produção de argamassas. Estes resíduos foram obtidos da fundição de peças para decorações e da produção de placas de forro. Primeiramente estes materiais foram coletados e triturados, seguindo de recalcinação. A calcinação do resíduo de gesso deu-se em temperatura de 150 ºC, em seguida foram elaborados os ensaios de caracterização das propriedades físicas, químicas e mecânicas. Os resultados apresentam diferenças entre as propriedades como, tempo de início e fim de pega, e diferenças entre as propriedades mecânicas. Entretanto, os resultados apontam grande potencial para a reutilização do resíduo de gesso da construção civil.

Palavras-chave: Gesso. Reciclagem. Resíduo de Construção.

APOLINARIO, G. M. **Reuse of construction gypsum waste**. 2015. Work Completion of Course (Course of Civil Engineering), UNIJUÍ, Ijuí, 2015.

ABSTRACT

Gypsum is one of the oldest construction materials used by man. The waste from the construction and demolition account for a large portion of municipal solid waste, it is estimated that 4 % of debris in construction are gypsum products. The plaster is obtained by heating the feedstock, gypsum, at about 140 ºC to 160 ºC followed by milling. The hydration of the gypsum takes place at the time of use of water. The speed at which the reaction takes place provides a great waste of material. The NBR 15113 (ABNT, 2004) points out that the plaster is considered as material class C, ie the one that generates waste for which were not developed technical or economically viable applications that allow their recovery. However arises reverse this situation and find ways to reduce the dissipation of gypsum waste into the environment. One is to provide the recycling of such waste. In this work we were attested possibilities for reusing the waste gypsum for the production of mortars. These residues were obtained in castings for the production of decorations and ceiling tiles. First these materials were collected and crushed by following the recalcinação. The calcination of the gypsum residue afforded 150 ºC in temperature, then were prepared characterization tests of the physical, chemical and mechanical. The results show differences between the properties as start and end time grip, and differences between the mechanical properties. However, the results indicate great potential for reuse of construction gypsum waste.

Keywords: Plaster. Recycling. Construction Residue.

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
KPa	Quilo Pascal
LEC	Laboratório de Engenharia Civil
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
SINDUSGESSO	Sindicato da Indústria do Gesso
UNIJUÍ	Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Descarte inadequado do resíduo de gesso 13
Figura 2: Local adequado para armazenagem do resíduo de gesso 13
Figura 3: Localização do polo gesseiro 16
Figura 4: Extração da gipsita 18
Figura 5: Moagem da gipsita 18
Figura 6: Calcinação da gipsita 20
Figura 7: Cristais do hemidrato α: cristais grandes (em torno de 20 um) 21
Figura 8: Cristais do hemidrato β: cristais pequenos (em torno de 10 um) 22
Figura 9: Embalagem do pó de gesso 23
Figura 10: Placas para rebaixamento 25
Figura 11: Blocos para parede de divisórias 26
Figura 12: Gesso aplicado direto na laje 26
Figura 13: Fluxograma do trabalho experimental 31
Figura 14: Local de aplicação na construção civil 32
Figura 15: Local de fundição (fabricação de sancas e molduras) 32
Figura 16: Coleta do resíduo de gesso descartado 33
Figura 17: Segregação dos resíduos 34
Figura 18: Moedor de resíduo de gesso 34
Figura 19: Equipamento utilizado para moer o resíduo de gesso 35
Figura 20: Peneira utilizada no moedor 1 mm 35
Figura 21: Moagem do resíduo de gesso e obtenção de 60 kg de resíduo 36
Figura 22: Estufa para calcinação 37
Figura 23: Estufa utilizada em laboratório 37
Figura 24: Peneiras utilizadas 38
Figura 25: Detalhamento do material separado, identificado e pesado 39
Figura 25.1: Detalhamento do material separado e identificado 39
Figura 26: Imagem da estufa com temperatura a 40 ºC 40
Figura 27: Retirada do material da estufa 40

Figura 28: Adequada granulometria do gesso reciclado 41
Figura 29: Adequada granulometria do gesso comercial 41
Figura 30: Detalhe do material passante na peneira de 400 mm 43
Figura 31: Granulometria do gesso reciclado 44
Figura 32: Granulometria do gesso comercial 44
Figura 33: Imagem de ensaio de consistência normal 45
Figura 34: Imagem de ensaio de consistência normal 46
Figura 35: Aparelho de vicat modificado 47
Figura 36: Pesagem do gesso reciclado 48
Figura 37: Mistura da pasta 48
Figura 38: Molde com pasta de gesso (aparelho vicat modificado) 49
Figura 39: Ponta cônica com ângulo de ápice 53º08 e altura de 45 mm 49
Figura 40: Corpos de prova fabricados em alumínio 50
Figura 41: Corpos de prova fabricados em aço galvanizado 51
Figura 42: Preparação nos corpos de prova e verificação de igualdades das dimensões dos blocos confeccionados 51
Figura 43: Blocos confeccionados e separados 52
Figura 44: Blocos colocados em dessecador 52
Figura 45: Aparelho utilizado em laboratório 53
Figura 46: Detalhe da amostra sendo comprimida 54
Figura 47: Resultado da resistência à compressão 54
Figura 48: Suporte para distribuição da carga e suporte compensador de altura para a prensa 55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Compostos obtidos a partir da calcinação da gipsita 20
Tabela 2: Exigências físicas do gesso para construção civil 42
Tabela 3: Granulometria do gesso reciclado 42
Tabela 4: Granulometria do gesso comercial 43
Tabela 5: Exigências físicas e mecânicas do gesso para construção civil de acordo com a Norma NBR 13207 – gesso para construção civil 55
Tabela 6: Análise de resultado do tempo inicial de pega e tempo final de pega 56
Tabela 7: Ensaio de resistência à compressão do gesso reciclado 57
Tabela 8: Ensaio de resistência à compressão do gesso comercial 58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 CONTEXTO 14
1.2 PROBLEMA 14
1.3 QUESTÕES DE PESQUISA 14
1.4 OBJETIVOS 14
1.4.1 Objetivo Geral 14
1.4.2 Objetivos Específicos 14
1.5 DELIMITAÇÃO 15

2 REVISÃO DA LITERATURA 16
2.1 PRODUÇÃO DO GESSO 17
2.2 EXTRAÇÃO DA GIPSITA 17
2.3 MOAGEM 18
2.4 CALCINAÇÃO 19
2.5 PULVERIZAÇÃO E EMBALAGEM 23
2.6 MECANISMO DE HIDRATAÇÃO 24
2.7 EMPREGO DE GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL 25
2.8 RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DE GESSO DA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUA REUTILIZAÇÃO 27

3 METODOLOGIA 30
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS 30
3.2 SEGREGAÇÃO E COLETA 31
3.3 TRITURAÇÃO E MOAGEM 34
3.4 CALCINAÇÃO 36
3.5 GRANULOMETRIA 38
3.6 CONSISTÊNCIA NORMAL 44
3.7 TEMPO DE PEGA 46
3.8 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 50

4 RESULTADOS 56

5 CONCLUSÃO 59

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 60

7 REFERÊNCIAS 61

1 INTRODUÇÃO

Este estudo visa a viabilidade de reciclar o resíduo de gesso proveniente da construção civil. A pesquisa que será desenvolvida poderá ter possibilidade de recuperar o material, mantendo as mesmas propriedades físicas e mecânicas do gesso comercial.

Com o crescimento da construção civil no país na última década tem aumentado o descarte inadequado do resíduo no meio ambiente. O gesso pode emitir gás sulfídrico, que é inflamável e altamente tóxico, além de contaminar o solo e os lençóis freáticos (figura 1) (PINHEIRO, 2011).

Figura 1: Descarte inadequado do resíduo de gesso

Fonte: Ricardi (2010).

Figura 2: Local adequado para armazenagem do resíduo de gesso

Fonte: http://www.brechoarte.com.br/reciclar_gesso_27.html.

1.1 CONTEXTO

A utilização do gesso na área de construção civil vem aumentando. A isso se multiplicam todas as aplicações do gesso como material de revestimento, aplicando em tetos, paredes e como material de fundição, na fabricação de placas, sancas, molduras e outras peças de acabamento (PINHEIRO, 2011).

1.2 PROBLEMA

Todas as utilizações do gesso geram resíduo. E o gerenciamento ocorre da mesma forma com os outros materiais empregados nos canteiros de obras, para isso passou a demandar maiores exigências da legislação ambiental brasileira (PINHEIRO, 2011).

1.3 QUESTÕES DE PESQUISA

Existe a possibilidade de reutilização do resíduo de gesso para a produção de argamassas?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Verificar a possibilidade de reciclagem do resíduo de gesso da construção civil.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Verificar a diferença entre as consistências do gesso reciclado e do gesso comercial.
- Verificar a diferença dos tempos de pega do gesso reciclado e do gesso comercial.
- Comparar as resistências mecânicas entre o gesso reciclado e o gesso comercial.

1.5 DELIMITAÇÃO

O estudo proposto possui fundamentos básicos para o conhecimento das propriedades do material reciclado, contribuindo para o setor desenvolvimento de novos produtos, de técnicas de reciclagem e à análise de sustentabilidade do setor. Neste sentido, a pesquisa está organizada da seguinte maneira:

No capítulo 1 abordou-se as questões de estudo, bem como a importância de realização deste estudo. A revisão bibliográfica é apresentada no capítulo 2. No capítulo 3 apresenta-se a metodologia utilizada para a realização do trabalho. Os resultados da pesquisa e as conclusões são apresentados nos capítulos 4 e 5, respectivamente.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A utilização do gesso na construção civil remonta uma história de aproximadamente 8000 a.C., onde se usava em sua forma mais crua de pedra natural na Anatólia (Turquia moderna) e na Síria. O seu desenvolvimento começou em construções e decorações na Babilônia, Mesopotâmia e Assíria. As pesquisas mostram que os egípcios antigos utilizavam o gesso esmagado antes de misturá-lo com água para uso mineral e blocos de construção. Essas metodologias foram usadas para construir tumbas e grandes pirâmides (umas das sete maravilhas do mundo) (RIBEIRO, 2006).

De acordo com Ribeiro (2006), a partir do século XX, em função do progresso industrial, os equipamentos para a produção de gesso deixaram de ser principiantes e passaram a congregar maior tecnologia. Esta evolução tecnológica facilitou o trabalho e emprego pelo homem, principalmente após descobrir métodos para regular o tempo de pega, permitindo integração como material aglomerante na construção civil.

O gesso é um dos mais antigos materiais já fabricados pelo homem. É um mineral de aglomerante simples, constituído de sulfatos mais ou menos hidratados e anidros de cálcio. É encontrado praticamente no mundo todo e no Brasil a maior concentração é nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Piauí e Pernambuco. No Brasil, a maior extração é no município de Grajaú, no Maranhão, considerando um dos maiores produtores de gesso. O polo gesseiro do Araripe Pernambuco tem uma reserva estimada de 22 bilhões de toneladas de gipsita, uma das maiores reservas do mundo, a maior já medida no Brasil (RIBEIRO, 2006) (figura 3).

Figura 3: Localização do polo gesseiro

Fonte: Ribeiro (2006).

O polo gesseiro de Pernambuco, constituído por cinco municípios da microrregião de Araripina, apresenta instaladas 312 empresas, produzindo 2302 mil toneladas/ano, operando a 23,77 % da capacidade. Envolve cerca de 12000 empregos diretos e 60000 indiretos (MUNHOZ, 2008).

2.1 PRODUÇÃO DO GESSO

De acordo com Ribeiro (2006), o gesso é um dos três aglomerantes que a indústria brasileira possui. Os outros dois aglomerantes são: cimento Portland e cal. A matéria-prima mais natural empregada daquele é a gipsita, uma rocha encontrada em várias partes do mundo. Desde 1983, o Estado do Rio Grande do Norte foi o precursor no Brasil na produção do gesso. Teve como fixação em posição de maior produtor nacional durante 20 anos, sendo governado pelo grupo Rosado. O Estado de Pernambuco em 1960 recebeu destaque de maior produtor de gipsita do país (RIBEIRO, 2006).

O processo de produção do gesso no Brasil é executado envolvendo as atividades de extração do minério, que é realizada a céu aberto, seguida de britagem, moagem grossa e estocagem. Em seguida é procedida secagem, pois a umidade da matéria-prima pode chegar a 10 %, calcinação, moagem fina e ensilagem.

O gesso é formado principalmente do mineral gipsita que pode conter anidrita de fórmula $CaSO_4$ e minerais como calcita, dolomita e cloreto de sódio. A gipsita passa pelo processamento de moagem ou britagem. Em alguns casos também é feito um segundo estágio com peneiras vibratórias a seco. A calcinação é o processo que pode consistir de um único forno (JOHN; CINCOTTO, 2007).

2.2 EXTRAÇÃO DA GIPSITA

A extração da gipsita é realizada através de: perfuratrizes, pás mecânicas, bombas d’água, tratores, caminhões e outros. A exploração é feita através de explosivos que geram diferentes tamanhos e formas da pedra. É encontrada perto da superfície e em profundidades de até vinte metros (LIMA, 2011) (figura 4).

Figura 4: Extração da gipsita

Fonte: http://www.gessocatarina.com.br/.

2.3 MOAGEM

Após a extração da gipsita esses são britados com o objetivo de reduzir sua granulometria, em torno de 20 mm, de modo que se adeque ao forno de calcinação (LIMA, 2011). Para a britagem e a moagem são utilizados britadores de mandíbula e moinhos de martelo. Em alguns casos a britagem é realizada em dois estágios em circuito fechado com peneiras vibratórias a seco. Logo após diminuir a gipsita extraída da mina para um produto mais fino, essa pode ser transportada em esteira para a usina, tendo em vista o próximo tratamento (figura 5).

Figura 5: Moagem da gipsita

Fonte: http://www.britadornobrasil.com.br/products/moagem/linha-de-moagem.html.

2.4 CALCINAÇÃO

A calcinação é a etapa mais importante no processo de produção. Sua obtenção consiste num aquecimento não muito elevado, quando calcinada à temperatura de 160 ºC. A técnica de calcinação na indústria pode ocorrer em vários tipos de fornos. Os fornos utilizados para a calcinação caracterizam-se pela sua forma, pelo seu estilo e pelo tipo de forno (figura 6). Estes equipamentos são assentados sobre uma fornalha de alvenaria, onde se utiliza lenha para a combustão (MUNHOZ, 2008).

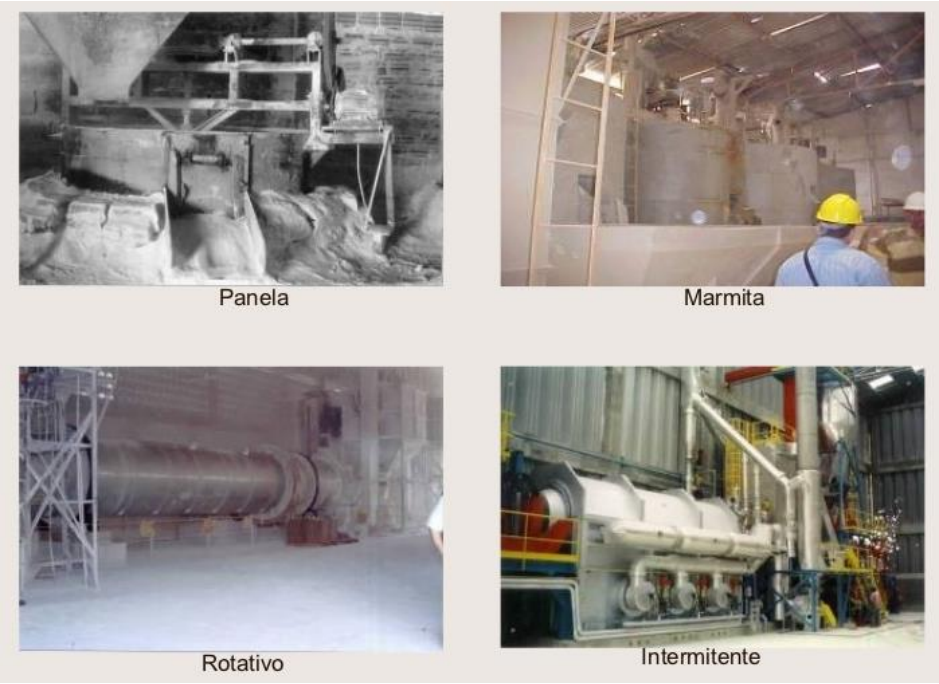
Fornos tipo panela: esses fornos, em processo de extinção, caracterizam-se pela forma de panelões de aço, são circulares, abertos, de grande diâmetro e de pequena altura. Estes equipamentos normalmente estão assentados sobre uma fornalha de alvenaria, onde se utiliza lenha para a combustão. Nos fornos tipo panela, as pás agitadoras homogeneízam a calcinação e os controles de temperatura e do tempo de residência do material são realizados através da observação visual.

Fornos tipo marmita: são de forma de panelões fechados (cubas), onde o calor gerado na parte inferior é conseguido com a queima de óleo ou de lenha. A temperatura pode ser controlada através de pirômetros, um sistema de palhetas internas na cuba, garante a homogeneidade do material.

Fornos tipo rotativo: são de forma de um tubo giratório, são de aço e material refratário de grande extensão e com uma pequena inclinação. Neste equipamento o minério moído entra em contato direto com a chama, que sai do maçarico, no lado da alimentação. O minério sendo calcinado percorre, por gravidade, toda a extensão do forno e o tempo de residência é controlado pela velocidade de rotação do tubo.

Fornos tipo marmita giratório (intermitente): são de aço e material refratário, com extensão dependendo do volume de acordo com a produção. O controle é automatizado em alguns casos que seguem rigorosamente as instruções preestabelecidas através de gerenciamento por computadores e outros são operados empiricamente. Nestes equipamentos, o minério moído não entra em contato direto com a chama, em alguns casos o forno tem controle de tempo, de temperatura e de perda de massa. Alguns destes fornos podem apresentar o controle de pressão interna. O material permanece na cuba e sua descarga é intermitente. A partir do ponto que o pó de gesso foi calcinado em fornos ele começa a adquirir as propriedades de aglomerante.

Figura 6: Calcinação da gipsita



Fonte: http://pt.slideshare.net/prismatica/introduo-ao-gesso.

De acordo com Munhoz (2008), a calcinação é o processo térmico pelo qual a gipsita ($CaSO_4 . 2H_2O$) é desidratada. O material é calcinado numa faixa de temperatura que varia de acordo com o composto que deseja se originar (tabela 1). A gipsita quando processada adequadamente se decompõe, segundo a reação (equação 1).

$$CaSO_4 . 2H_2O + \text{energia } (140\ ºC) \rightarrow CaSO_4 . ½\ H_2O + 1{,}5\ H_2O \qquad (1)$$

gipsita (diidrato) + calor → gesso (hemidrato) + água

Tabela 1: Compostos obtidos a partir da calcinação da gipsita

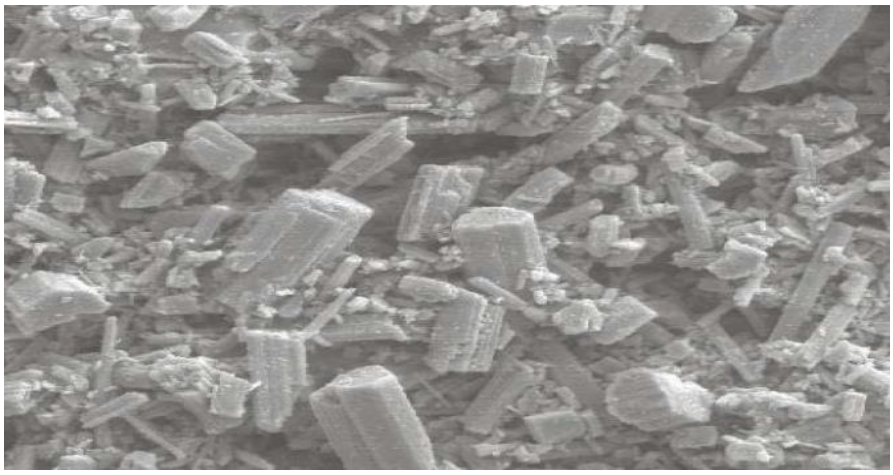
Temperatura de Calcinação	Composto Originado	Características
140°C a 160°C	Hemidrato ($CaSO_4$. $0{,}5H_2O$)	Solúvel. Pode resultar no hemidrato α ou β.
160°C a 200°C	Anidrita III ($CaSO_4$. εH_2O)	Tem presa rápida. Pode conter água de cristalização em baixo teor. Com a umidade do ar, se transforma no hemidrato.
250°C a 800°C	Anidrita II ($CaSO_4$)	Baixa velocidade de hidratação
Acima de 800°C	Anidrita I ($CaSO_4$)	

Fonte: Munhoz (2008).

“A temperatura teórica para que a reação de desidratação ocorra é de 106 ºC, porém a velocidade da reação será razoável, considerando a produção industrial, indica temperaturas superiores na faixa de 145 ºC a 170 ºC” (RIBEIRO, 2006).

Conforme o processo de produção pode-se obter dois tipos de hemidrato. Se a desidratação é obtida em autoclave a pressões superiores a 100 KPa, acontece a formação de um produto bem cristalizado denominado hemidrato α. Já se a desidratação ocorrer à pressão atmosférica, com pressão parcial de vapor de água baixa, obtém-se um sólido microporoso, mal cristalizado, denominado hemidrato β. O gesso α tem cristais maiores, bem definidos (figura 7), homogêneos e estrutura cristalina levemente diferente dos cristais do gesso β, devido à calcinação ocorrer sob pressão dentro de autoclaves.

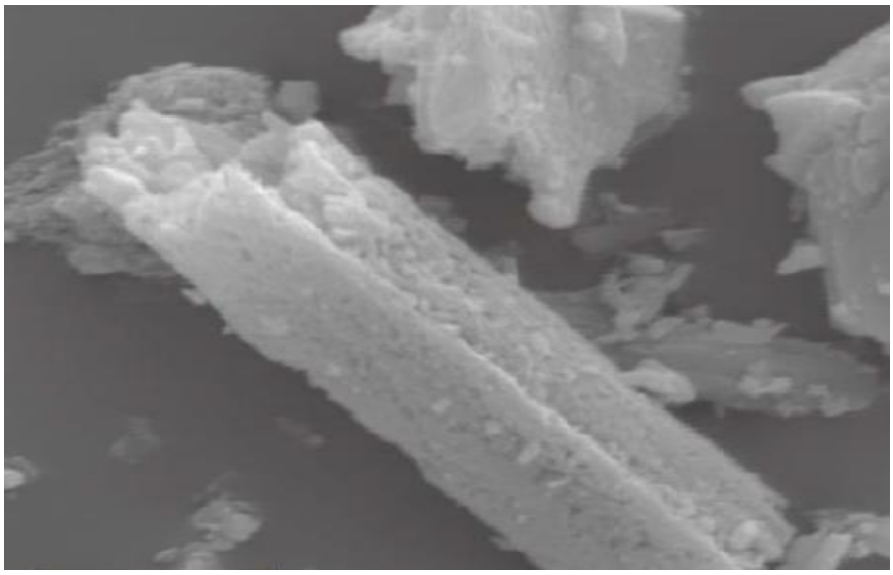
Figura 7: Cristais do hemidrato α: cristais grandes (em torno de 20 um)



Fonte: Lima (2011).

O gesso β (figura 8) contém elevada área superficial específica devido a sua granulometria fina e cristais porosos, necessitam assim de uma elevada quantidade de água para a sua formação. Sendo assim, constitui um material de baixa resistência mecânica devido à elevada porosidade. Já o gesso α possui uma menor área superficial específica em virtude de seus cristais grandes, bem formados e sem poros. Como decorrência da reduzida área específica, a dissolução dos cristais do hemidrato α torna-se mais lenta e os cristais do diidrato crescem lentamente e de maneira ordenada, sucedendo num material de baixa porosidade e com maior resistência mecânica (JOHN; CINCOTTO, 2007).

Figura 8: Cristais do hemidrato β: cristais pequenos (em torno de 10 um)



Fonte: Lima (2011).

Dependendo da temperatura e do tempo de permanência no forno pode-se obter outros produtos, como resultado de calcinação. A anidrita III ($CaSO_4 \cdot \epsilon H_2O$) é a fase intermediária do hemidrato e da anidrita II (insolúvel) formada entre 160 ºC a 200 ºC, podendo conter água de cristalização variável de 0,06 a 0,11 moléculas de água. Por ser muito reativo, age como acelerador de pega e transforma-se no hemidrato com a umidade do ar. A hidratação da anidrita III ao hemidrato é chamada de "estabilização", tendo sido determinado que ela se dá após 12 horas de armazenamento do produto em atmosfera de 80 % de UR. Portanto, uma parcela pequena dessa fase pode estar presente no gesso por ocasião do consumo (JOHN; CINCOTTO, 2007).

A anidrita II ou anidrita insolúvel, de fórmula $CaSO_4$, é obtida entre temperaturas de 250 ºC e 800 ºC, quando produzida a 350 ºC, é chamada de anidrita supercalcinada e reage lentamente com a água, podendo levar sete dias para se hidratar completamente. Já a fração calcinada a temperaturas entre 700 ºC e 800 ºC é denominada anidrita calcinada à morte e hidrata-se apenas após alguns meses. A hidratação da anidrita consome duas moléculas de água, acarretando uma diminuição da porosidade do gesso e, em consequência, aumenta a resistência mecânica, inclusive dureza (JOHN; CINCOTTO, 2007).

A anidrita I, de fórmula $CaSO_4$, é também chamada de anidrita de alta temperatura, obtida por calcinação da gipsita em temperaturas entre 1100 ºC e 1200 ºC. Trata-se de fase de pega e endurecimentos lentos, resultando numa massa dura e tenaz. É uma fase definida como

não pura, pois contém óxido de cálcio consequente ao início da dissociação térmica do $CaSO_4$, possível já acima de 800 ºC (JOHN; CINCOTTO, 2007).

2.5 PULVERIZAÇÃO E EMBALAGEM

Para o pó de gesso utilizado para fundição e revestimento ocorre o processo de pulverização do material, calcinado em moinhos que asseguram uma granulometria adequada para atender as indústrias e o consumidor de varejo. O material triturado e moído é selecionado em frações granulométricas e classificado conforme o tempo de pega (RIBEIRO, 2006). De acordo com a NBR 13207 (ABNT, 1994), o gesso deve ser distribuído em sacos multifoliados, abastadamente fortes para evitar abertura durante a sua manipulação e com condições que possam ser fechados logo após o seu enchimento. Os sacos de gesso devem ser guardados em locais secos e protegidos, para precaução da qualidade e de fácil acesso para inspecionamento. As pilhas devem ser depositadas sobre estrados e não mais de 20 sacos sobrepostos (figura 9).

Figura 9: Embalagem do pó de gesso

Fonte: http://www.cedrogesso.com/prod01.html.

2.6 MECANISMO DE HIDRATAÇÃO

A hidratação do gesso ocorre à reação química do pó com a água e pode ser observada pela seguinte reação (equação 2). O gesso misturado com a água forma uma pasta homogênea e consistente. Contudo, em poucos minutos a pasta torna-se trabalhável, em seguida a consistência aumenta, passa a ganhar resistência e endurece (JOHN; CINCOTTO, 2007).

$$CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O + 1{,}5H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O + \text{calor} \qquad (2)$$

Segundo John e Cincotto (2007), o gesso foi o primeiro dos aglomerantes a receber um estudo científico da hidratação Lavoisier (1978), seguido por Le Chatelier (1987), os quais o mecanismo acima engloba três etapas:

1) **fenômeno químico da dissolução:** ao entrar em contato com a água, o hemidrato dissolve, originando uma solução supersaturada de íons Ca^{+2} e SO_4^{-2}. Essa, por sua vez, originará hidratos que compõem os núcleos dos diidratos;
2) **fenômeno físico da cristalização:** os íons se depositam sobre os núcleos dos diidratos sob forma de agulhas entrelaçadas;
3) **fenômeno mecânico de endurecimento:** ocorre com o aumento do número de cristais que se precipitam.

O gesso é denominado como um ligante hidrófilo. Isso porque é um ligante que tem relação com a água. Os ligantes hidrófilos se classificam em hidráulicos ou aéreos. O cimento e a cal hidráulica são exemplos de ligantes hidrófilos hidráulicos, pois são resistentes à água. Já o gesso é classificado como ligante hidrófilo aéreo, pois ao ser misturado com a água forma uma pasta que endurece ao ar e a pasta endurecida, com ou sem outros materiais inclusos, não é resistente à água (MUNHOZ, 2008).

De acordo com John e Cincotto (2007), o conhecimento do calor de hidratação e sua evolução em função do tempo é de interesse do ponto de vista científico e também tecnológico. Do ponto de vista tecnológico, o calor de hidratação permite o controle rápido da qualidade e da velocidade de reações de gessos. A determinação pode ser realizada em recipientes térmicos, isolados com isopor, medindo-se com termômetro o tempo para atingir a temperatura máxima. Do ponto de vista científico, as curvas calorimétricas revelam a cinética do processo e permitem identificar o mecanismo de hidratação e a ação dos aditivos modificadores na pega do hemidrato (MURAT; JEANDOT, 1973).

John e Cincotto (2007) falam que em condições ambientais normais e na ausência de aditivos retardadores a maior parte de hidratação é completada em até duas horas, mas a reação das anidritas pode levar meses. Portanto, do ponto de vista prático a pega do gesso se encerra em cerca de duas horas. No entanto, o material continua a ganhar resistência até vinte horas. O fenômeno de pega e o ganho de resistência são os resultados da redução do volume da água líquida que se combina com os anidros. A pega e o endurecimento são afetados por diferentes fatores, como: origem geológica da matéria-prima e impurezas, finura e forma dos grãos, relação a/g, temperatura da água, velocidade e tempo de mistura de aditivos (KARNI, 1995).

2.7 EMPREGO DE GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

As principais aplicações na indústria do gesso da construção civil são: placas para rebaixamento de teto (figura 10), placas de gesso acartonado, blocos para paredes divisórias (figura 11), argamassa de projetar, gesso para revestimento manual, gesso para acabamento manual e gesso cola (figura 12), além dos elementos pré-moldados utilizados como decoração (sancas, molduras e decorações em geral) (SAVI, 2012).

Figura 10: Placas para rebaixamento

Fonte: Armazém do gesso.

Figura 11: Blocos para parede de divisórias

Fonte: http://www.cedrogesso.com/prod01.html.

Figura 12: Gesso aplicado direto na laje

Fonte: Armazém do gesso.

O gesso tipo β é utilizado na indústria da construção civil, indústria cerâmica e indústria de modelagem. O gesso tipo α não é utilizado na construção civil, devido principalmente ao custo desse material ser bem mais alto do que o gesso β, em torno de dez vezes. É usado principalmente na fabricação de bandagens de alta resistência, matrizes para indústria de modelagem (usado por artistas plásticos) e para mistura de produtos de gessos especiais (cerâmica, odontologia, automobilística e ortopedia). As chapas de gesso

acartonado, muito utilizadas na construção civil para montagem de divisórias de paredes e forros, são divididas em três tipos (MUNHOZ, 2008):

- **placa ST:** placa standard para áreas secas;
- **placa RU:** placa resistente à umidade para ambientes sujeitos à ação da umidade por tempo limitado;
- **placa RF:** placa resistente ao fogo para áreas com exigências especiais em relação ao fogo.

2.8 RECICLAGEM DOS RESÍDUOS DE GESSO DA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUA REUTILIZAÇÃO

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são usualmente depositados em lugares inadequados como, por exemplo: terrenos baldios, aterros sanitários, taludes, margens de rios, avenidas, etc., acarretando impactos ambientais, econômicos e visuais (MUNHOZ, 2008). A resolução do CONAMA nº 307 define resíduos da construção civil como aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos.

Os entulhos provenientes das construções acarretam sérios desperdícios de materiais, custos de remoção e tratamento. Diversas ações do poder público e de entidades empresariais já buscam regulamentar e induzir o processamento do entulho e a reutilização destes materiais (MUNHOZ, 2008). Com o passar do tempo, a economia sustentável em âmbito mundial tem progredido de forma significativa a ponto de a qualidade e bem-estar da população estar diretamente ligada ao uso de materiais que estejam ecologicamente adequados, assim reduzindo os impactos no meio ambiente recorrente dos resíduos gerados pela construção civil e demais áreas. Entretanto, resíduos da construção civil tornaram-se um grande problema ao enorme volume gerado, sendo também um problema administrativo deste material, pela falta de locais adequados ou soluções que absorvam esta demanda de produção. Toda deposição de resíduos de construção deve ser feita em lugares que possuam licença para receber este material (RIBEIRO, 2006).

Segundo Munhoz (2008) existem diversas maneiras de utilização dos resíduos de gesso. São utilizados na área de construção civil como fabricação de pré-moldados de gesso, na agricultura para controle do pH do solo, controle de odores em estábulos, secagem de lodo de esgoto e também na indústria de produção do gesso, reprocessando os resíduos dos

produtos pré-moldados. A NBR 15113 (ABNT, 2004) considera o gesso como material de classe C, ou seja, aquele que gera resíduos para as quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam uma reciclagem.

De acordo com John e Cincotto (2007), o processo de reciclagem do gesso é mais complexo que o processo de produção a partir da matéria-prima, a gipsita. O processo de reciclagem exige além da energia, mais mão de obra, pois é necessário fazer a remoção de contaminantes, além de ser necessário um melhor sistema de segregação dos resíduos de gesso. A granulometria do material, segundo John e Cincotto (2007), representa a distribuição dos tamanhos dos seus grãos, sendo um indicador da plasticidade da pasta e da lisura da superfície de acabamento.

Para Bauer (1994), as temperaturas de calcinação mais elevadas e maiores tempos de permanência produzem gesso com maiores tempos de pega, que podem ser elevadas ainda mais se o gesso sofrer uma segunda cozedura. A granulometria também influencia nos tempos de pega, serão menores para gessos com granulometria muito fina (gessos com elevada finura), em razão do aumento da superfície específica para hidratação.

Savi (2012) descreve que as pastas de gesso reciclado apresentam maior trabalhabilidade do que as pastas de gesso comercial. As misturas de água e gesso comercial apresentam um aspecto líquido, enquanto as misturas de água e gesso reciclado apresentam uma consistência pastosa. O fator água/gesso afeta diretamente a consistência da pasta. A consistência da pasta também sofre influência do tempo de pega e está, portanto, relacionada com a temperatura e tempo de calcinação do gesso.

Iwasaki e Camarini (2011) realizaram estudos com gesso reciclado e concluíram que as pastas com fator água/gesso de 0,70 e 0,80, quando comparadas com pastas produzidas com gesso comercial, apresentaram perdas de plasticidade, redução no tempo de pega, aumento de porosidade e permeabilidade e menor capacidade de adensamento, no entanto, apresentaram maiores valores de resistência à tração, compressão e dureza superficial. Uma das formas de melhorar a trabalhabilidade da pasta de gesso reciclado é aumentar o fator água/gesso, no entanto, o aumento da água de amassamento deve observar limites práticos que garantam a resistência mínima necessária, além do que, a utilização de água em excesso não permite que o processo de endurecimento se complete, formando um material friável.

A temperatura de calcinação e o módulo de finura para Bauer (1994) influenciam na resistência do gesso, sendo obtida maior resistência com calcinação a temperaturas mais elevadas ou na moagem com elevada finura. A água de amassamento também exerce influência na resistência mecânica do gesso, contudo apresenta variação pouco significativa,

muito diferente daquela que ocorre com o cimento. A resistência à compressão é um dos indicadores da resistência mecânica e representa a capacidade que um determinado corpo tem para resistir aos esforços de compressão axial. Para Bauer (1994), as pastas de gesso endurecidas podem atingir resistências à compressão entre 5 MPa e 15 MPa e resistências à tração entre 0,7 MPa e 3,5 MPa.

3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização da pesquisa de reutilização do resíduo de gesso da construção civil utilizou-se uma quantidade de resíduos com origem em obras de construção e do processo de fabricação de fundição em artes e restos de placas. O gesso comercial foi utilizado para a produção de corpos de provas, que foram ensaiados e utilizados como padrão para a comparação dos resultados obtidos com os ensaios de gesso reciclado.

Inicialmente foram separadas amostras do resíduo de gesso e gesso comercial. As amostras de gesso (comercial e resíduo) foram submetidas aos mesmos ensaios de caracterização, ou seja, granulometria, calcinação, tempo de início de pega, tempo de fim de pega, resistência à compressão e, por fim, analisá-los e compará-los. Para a confecção dos corpos de provas foram moldados dezoito corpos de prova para o gesso reciclado e treze corpos de prova para o gesso comercial. No entanto, para os testes realizados em laboratório será necessária uma quantidade de 60 kg.

De acordo com as normas estabelecidas da ABNT, o trabalho experimental realizou-se no LEC da UNIJUÍ:

1ª etapa: coleta dos resíduos oriundos de gesso;

2ª etapa: segregação e secagem dos resíduos de gesso;

3ª etapa: trituração, moagem e peneiramento dos resíduos;

4ª etapa: calcinação do pó reciclado a 150 ºC;

5ª etapa: determinação das propriedades físicas do pó de gesso reciclado;

6ª etapa: preparo da pasta;

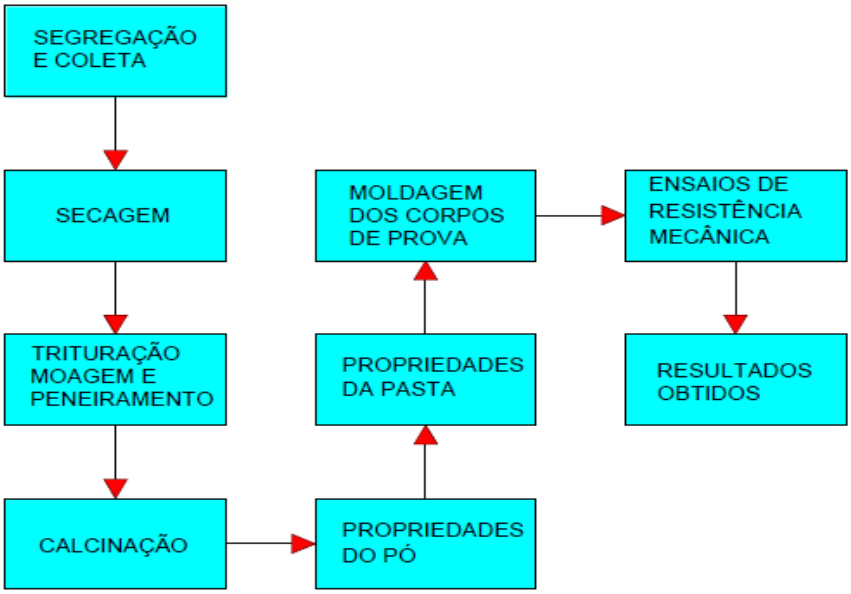
7ª etapa: propriedades adquiridas da pasta;

8ª etapa: fabricação e moldagem da pasta em corpos de prova;

9ª etapa: ensaios de caracterização e da resistência do gesso.

O fluxograma da figura 13 ilustra a metodologia utilizada das normas, cujas atividades das etapas estão descritas na sequência.

Figura 13: Fluxograma do trabalho experimental



Fonte: Autoria própria.

Nota: A etapa de secagem só é realizada para resíduos com alto teor de umidade, perceptível ao tato.

3.2 SEGREGAÇÃO E COLETA

Segregação e coleta é a etapa de obtenção do resíduo de gesso para a reciclagem. Para esta pesquisa, a segregação e a coleta foram feitas na empresa de gesso da cidade de Constantina – RS. Coletados os resíduos na proporção aproximada, observada da geração industrial, na aplicação em obras (figura 14) e fundição (figura 15).

Figura 14: Local de aplicação na construção civil

Fonte: Autoria própria.

Figura 15: Local de fundição (fabricação de sancas e molduras)

Fonte: Autoria própria.

Para a segregação e a coleta, o chefe do LEC solicitou uma quantidade de 60 kg de resíduo de gesso para as análises, porque geralmente para os testes de laboratório é utilizada esta quantia. Primeiramente, o material foi coletado após 30 dias do processo de fabricação de molduras e sancas (figura 16).

Figura 16: Coleta do resíduo de gesso descartado

Fonte: Autoria própria.

Depois de feita a coleta do resíduo de gesso (figura 17) executou-se a segregação de forma que o material se adeque à máquina DPM – 4 (desintegrador, picador e moedor).

Figura 17: Segregação dos resíduos

Fonte: Autoria própria.

3.3 TRITURAÇÃO E MOAGEM

A trituração é o primeiro passo para moagem e pulverização, feita na empresa de gesso da cidade de Constantina e tem por finalidade a redução dos blocos formados por pedaços de placas, molduras e sancas, para materiais com granulometria abaixo de 20 mm, como forma de melhoria e eficiência no processo de moagem e pulverização.

A moagem tem por objetivo diminuir a granulometria, buscando melhor homogeneização do resíduo e redução do tempo necessário para o processo de pulverização (figura 18).

Figura 18: Moedor de resíduo de gesso

Fonte: http://www.vegedry.com.br/reciclador-de-gesso.php.

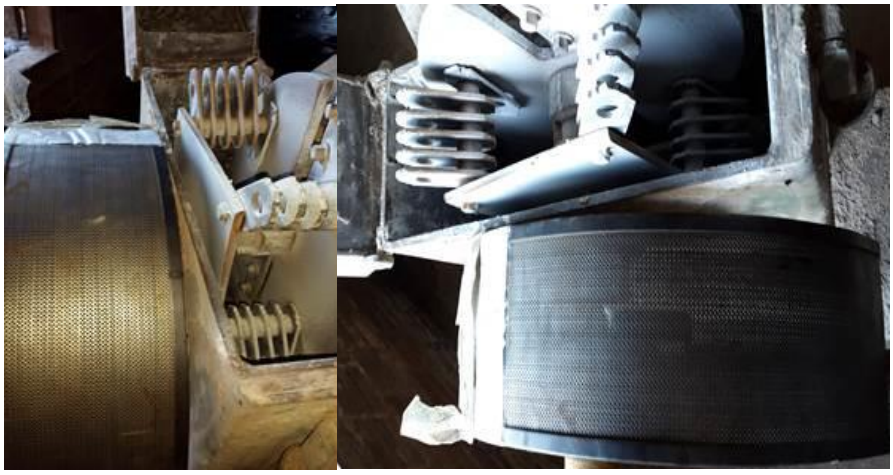
Para a trituração e a moagem utilizou-se um equipamento DPM – 4 (desintegrador, picador e moedor), com rotação de 3300 rpm e com potência de motor elétrico de 10 a 12,5 HP (figura 19).

Figura 19: Equipamento utilizado para moer o resíduo de gesso

Fonte: Autoria própria.

Este equipamento é utilizado para moer milho e para se dar a realização do ensaio, teve de ser retirada a peneira do equipamento e colocado uma peneira com aberturas de 1 mm (figura 20).

Figura 20: Peneira utilizada no moedor 1 mm



Fonte: Autoria própria.

Feitos os ajustes para a peneira iniciou-se o processo de moagem tendo a obtenção de 60 kg de resíduo de gesso, onde não se teve perdas de resíduo (figura 21).

Figura 21: Moagem do resíduo de gesso e obtenção de 60 kg de resíduo

Fonte: Autoria própria.

3.4 CALCINAÇÃO

A NBR 12127 (ABNT, 1991) detalha que para a realização do ensaio é necessário estufa de secagem com circulação natural, que permita elevação de temperatura até 200 ºC (figura 22). Para o ensaio de calcinação o resíduo de gesso foi colocado em formas metálicas, onde se levou para a estufa, fazendo-se a desidratação do material em 24 h, a uma temperatura de 150 ºC (figura 23). Após o processo de recalcinação deixou-se o material na estufa por 4 h para diminuir a temperatura e em seguida realizou-se a retirada do material. O objetivo da recalcinagem é garantir que o resíduo de gesso recupere as suas propriedades químicas e físicas e que consiga ser utilizado novamente como aglomerante.

Figura 22: Estufa para calcinação

Fonte: Savi (2012).

Para esta etapa o material foi transportado para o LEC da UNIJUÍ, onde foi separado o material, colocando-os em formas metálicas com espessuras de 5 cm ± 7 cm de camada, logo adicionou-se as formas na estufa (figura 23).

Figura 23: Estufa utilizada em laboratório

Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

Depois de o material ser recalcinado, estes foram ensacados e colocados em toneis, com a finalidade de prevenção do material. O material ficou estocado durante cinco dias, aguardando para começar os testes de granulometria.

3.5 GRANULOMETRIA

O ensaio de granulometria, que é a classificação de partículas quanto ao tamanho do pó de gesso, serve para conhecer a finura e o tamanho dos grãos, pela qual é determinada pela NBR 12127 (ABNT, 1991). No entanto, para o desenvolvimento do ensaio foram feitos testes de peneiramento em peneira nº 100, com abertura de 0,149 mm, peneira nº 200, com abertura de 0,074 mm e peneira nº 400, com abertura de 0,037 mm (figura 24).

Figura 24: Peneiras utilizadas

Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

Para a execução do ensaio, descrito pela norma, a temperatura da sala, equipamentos e materiais devem ser de 24 ºC ± 4 ºC, a umidade relativa do ar deve de ser de 65 % ± 5 %. A amostra deve ser mantida em recipiente totalmente fechado e os equipamentos utilizados devem estar rigorosamente limpos.

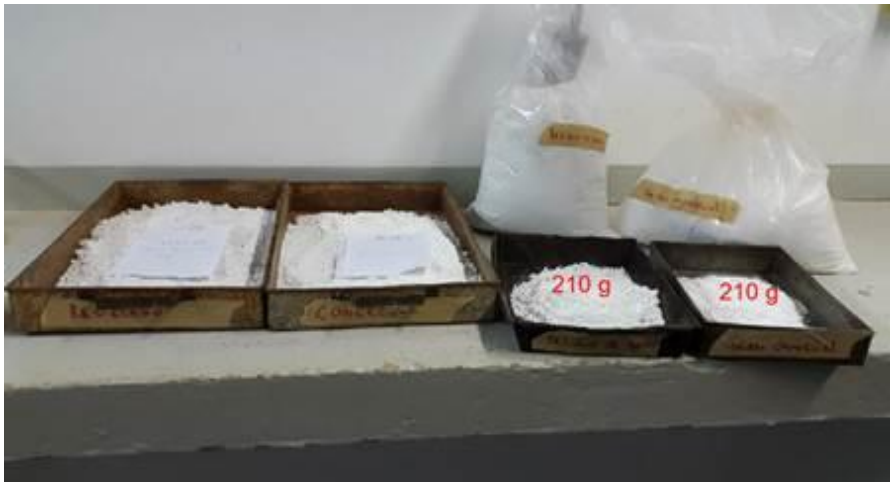
Na determinação da granulometria pesou-se 210 g da amostra devidamente homogeneizada e preparada (figura 25).

Figura 25: Detalhamento do material separado, identificado e pesado

Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

Logo, o material foi separado e identificado (figura 25.1).

Figura 25.1: Detalhamento do material separado e identificado



Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

Após, feita a pesagem do gesso, colocou-se frações do material quarteado em estufa com temperatura a 40 ºC ± 4 ºC, durante seis horas (figura 26), para que o material recalcinado perdesse a umidade adquirida durante a estocagem de cinco dias.

Figura 26: Imagem da estufa com temperatura a 40 ºC

Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

Em processo para granulometria retirou-se o material da estufa e deixou-se o material esfriar por um tempo, a camada de material colocada nas formas metálicas sempre foram de 5 cm ± 7 cm de espessura (figura 27).

Figura 27: Retirada do material da estufa

Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

Depois de o gesso esfriar, colocou-se 210 g em frações em peneiras, assim iniciando o peneiramento, onde torrões de gesso não foram desfeitos com o pincel, bem como as demais impurezas retidas na peneira foram descartadas. Porém, antes disso, o material foi identificado e pesado, fazendo constar as informações no relatório de ensaio, durante o peneiramento

segurou-se a peneira ligeiramente inclinada em uma das mãos e sacudiu-se de maneira que ela batesse em outra mão, a uma velocidade de 125 movimentos por minuto, para que o gesso se espalhasse uniformemente. A cada 25 movimentos girou-se a peneira a 90º, batendo ligeiramente com as mãos nas laterais, durante o peneiramento dava-se golpes suaves no rebordo do interior do caixilho com o cabo do pincel para facilitar o desprendimento das partículas aderidas à tela e à parede da peneira. O peneiramento foi considerado terminado quando entre duas pesagens a massa que passou foi menor que 0,4 g, conforme ilustram as figuras 28 e 29.

Figura 28: Adequada granulometria do gesso reciclado

Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

Figura 29: Adequada granulometria do gesso comercial

Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

A norma também estabelece exigências físicas do gesso para construção civil de acordo com a granulometria encontrada (tabela 2).

Tabela 2: Exigências físicas do gesso para construção civil

Classificação do gesso	Tempo de pega (min) (NBR 12128)		Módulo de finura
	Início	Fim	(NBR 12127)
Gesso fino para revestimento	> 10	> 45	< 1,10
Gesso grosso para revestimento	> 10	> 45	> 1,10
Gesso fino para fundição	4 - 10	20 - 45	< 1,10
Gesso grosso para fundição	4 - 10	20 - 45	> 1,10

Fonte: NBR 12127 (ABNT, 1991).

Finalizando o processo de peneiramento e anotado os valores retidos e passantes, pode-se calcular o percentual de material retido em cada peneira. Abaixo, ensaio com respectivos valores obtidos (tabelas 3 e 4), as tabelas mencionadas a seguir tem por objetivo uma melhor comparação da finura entre os materiais, utilizando três peneiras, nº 100, nº 200 e nº 400, que são utilizadas para materiais pulverulentos.

Tabela 3: Granulometria do gesso reciclado

Gesso Reciclado			
Pneiras utilizadas	Material Passante	Material Retido	Tempo de peneiramento
Peneira 100mm	59,43g	150,57g	01:30:00
Peneira 200mm	6,04g	53,39g	00:30:00
Peneira 400mm	0	0	00:15:00

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4: Granulometria do gesso comercial

Gesso Comercial			
Pneiras utilizadas	Material Passante	Material Retido	Tempo de peneiramento
Peneira 100 abertura de 0,149 mm	101,20g	108,80g	01:30:00
Peneira 200 abertura de 0,074 mm	18,57g	82,63g	00:30:00
Peneira 400 abertura de 0,037 mm	0,25g	18,32g	00:15:00

Fonte: Autoria própria.

Nota-se que para o gesso reciclado na peneira de 400 mm não chegou a ter resultado como material passante. Já para o gesso comercial teve resultado como material passante de 0,25 g (figura 30).

Figura 30: Detalhe do material passante na peneira de 400 mm

(A) Gesso Reciclado (B) Gesso Comercial

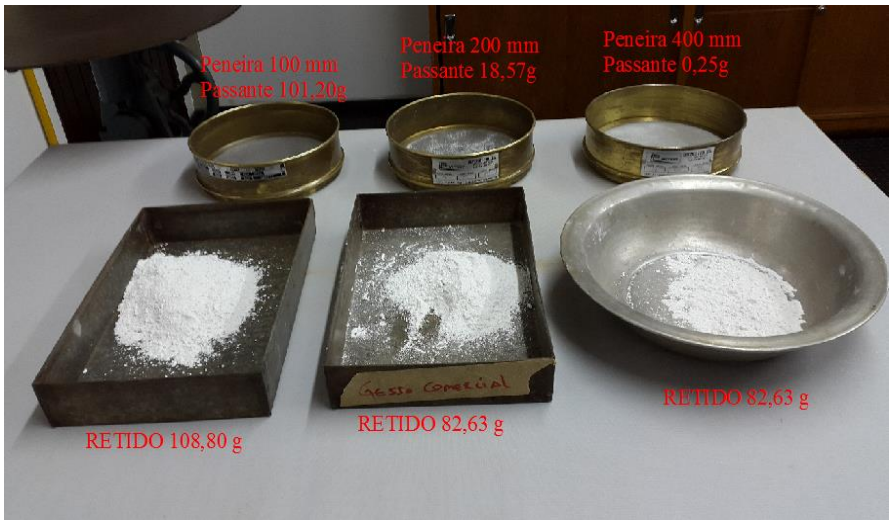
Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

Abaixo, imagens das peneiras com valores dos testes de granulometria encontrados para gesso reciclado (figura 31) e para gesso comercial (figura 32).

Figura 31: Granulometria do gesso reciclado

Fonte: Autoria própria.

Figura 32: Granulometria do gesso comercial



Fonte: Autoria própria.

3.6 CONSISTÊNCIA NORMAL

A relação água/gesso foi determinada como descrito pela NBR 12128 (ABNT, 1991), na qual se obtém uma fluidez da pasta adequada à manipulação de acordo com as exigências químicas. O procedimento foi executado aplicando-se uma fina película de óleo lubrificante na superfície da placa de vidro e no molde, com o objetivo de evitar vazamentos durante a execução do ensaio. Uma quantidade de amostra foi pesada e depois introduzida água até obter uma pasta uniforme.

A massa de amostra pesada anteriormente foi polvilhada no período de um minuto sobre a água. Esta permaneceu em repouso durante dois minutos e em seguida foi misturada por um minuto (em torno de um movimento circular por segundo), a fim de obter uma pasta uniforme. Transferiu-se imediatamente a pasta para o molde, evitando bolhas de ar, rasou-se o topo do molde. Umedeceu-se a sonda cônica e baixou-se até a superfície da pasta do centro do molde. Leu-se escala e deixou-se descer lentamente a haste, quando cessou-se a penetração, leu-se novamente a escala. A consistência é considerada normal quando for obtida uma penetração de 30 mm ± 2 mm.

Para o ensaio de consistência normal preparou-se a amostra conforme procedimento da norma 12128 (ABNT, 1991), utilizou-se 400 g de gesso, tanto para o gesso reciclado quanto para o gesso comercial, no entanto, para a relação de água/gesso foram feitas adições de água até a consistência desejada.

A relação de água/gesso foi de 0,80 % para o gesso reciclado, já para o gesso comercial a relação foi de 0,72 %. A relação de água/gesso é maior no caso do gesso reciclado, pelo motivo dele ter maior volume de material.

Figura 33: Imagem de ensaio de consistência normal

Fonte: Autoria própria.

Constatou-se também que o gesso comercial apresenta menor volume, porém com maior peso, conforme ilustra a figura 34, em relação à quantidade de material. A diferença de volume de gesso pode ter ocorrido em virtude do tempo de moagem, formato dos grãos e pelo tipo de moedor utilizado.

Figura 34: Imagem de ensaio de consistência normal

(A) 210,07 g Gesso Reciclado (B) 210,01 g Gesso Comercial

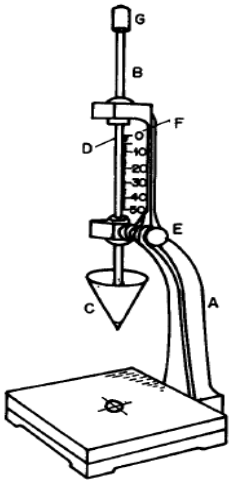
Fonte: Autoria própria.

3.7 TEMPO DE PEGA

Conforme NBR 12128 (ABNT, 1991), o tempo inicial de pega e tempo final de pega são estabelecidos através da conferência de penetração da agulha (ponta cônica) do aparelho de vicat modificado (figura 35) na pasta do molde. A agulha (ponta cônica) é inserida no aparelho e aos poucos se permite a penetrabilidade da mesma na pasta, procurando sempre, antes de cada penetração, limpar a agulha (ponta cônica) e movimentar a base para que as penetrações sejam em pontos distintos.

Nesta parte do experimento pode ser utilizada uma solução para retardar o endurecimento caso necessária, no entanto, para este experimento não foi utilizada nenhuma solução, justamente pelo fato de se ter resultados próximos da prática em obras. Depois disso, moldou-se um corpo de prova e levou-se para o aparelho de vicat modificado para analisar o tempo de início e fim de pega.

Figura 35: Aparelho de vicat modificado



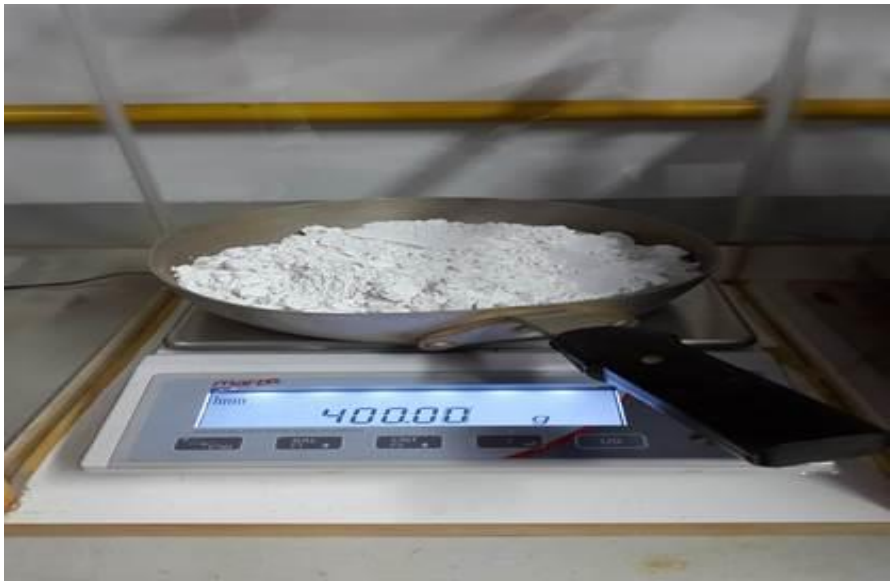
Fonte: NBR 12128 (ABNT, 1991).

> O aparelho consiste em um suporte (A) sustentando uma haste móvel de diâmetro e comprimento compatível com o suporte. Na extremidade inferior da haste está acoplada uma sonda cônica (C) de alumínio com ângulo de ápice 53º08', altura de 45 mm e recomenda-se, para proteção, uma ponteira de aço inox. A haste e sonda deve pesar, no total, 35 g. Pode ser incorporada à haste uma rosca (G) para controle do peso. A haste pode ser fixada em qualquer posição desejada pela trava (E) e deve possuir um indicador (D) permitindo leitura na escala (F), graduada em milímetros e ligada ao suporte. Esta escala, quando comparada com a escala-padrão de precisão de 0,1 mm, não deve apresentar, em todos os pontos, desvios maiores que 0,025 mm (NBR 12128 – ABNT, 1991).

O início da pega é analisado no instante em que a agulha para 1 mm de distância da base, já o fim de pega é dado pelo momento em que a agulha não consegue a penetração no bloco.

No ensaio utilizou-se 400 g de resíduo de gesso (figura 36), em seguida colocou-se o material pesado em um recipiente, adicionou-se 325 mL de água, fazendo-se movimentos circulares até obter uma pasta uniforme (figura 37). Para o gesso comercial utilizou-se 400 g de gesso e 285 mL de água.

Figura 36: Pesagem do gesso reciclado



Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

Figura 37: Mistura da pasta

Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

Após o procedimento da preparação da pasta transferiu-se imediatamente a pasta para o molde, evitando bolhas de ar. Na aplicação da pasta no molde rasou-se o topo do molde com o auxílio da espátula (figura 38). Iniciaram-se as análises de tempo de início e de fim de pega. Acionado o cronômetro para verificação do tempo de pega, começou-se a realizar as aplicações da ponta cônica sobre a pasta, foram realizadas oito aplicações na pasta do gesso reciclado em pontos diferentes até o completo endurecimento da pasta, ou seja, fim de pega.

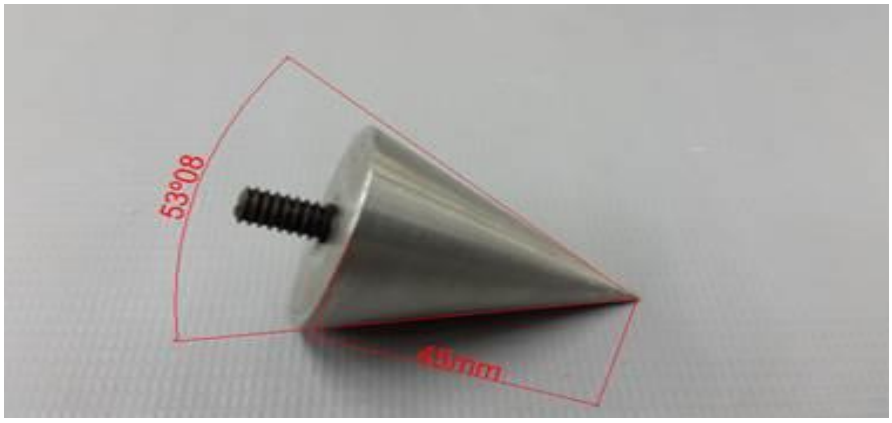
Para o gesso comercial foram feitas quatro aplicações da ponta cônica na pasta do molde em pontos diferentes até o fim de pega do material.

Figura 38: Molde com pasta de gesso (aparelho vicat modificado)

Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

Para a realização do ensaio teve de ser desenvolvida e produzida uma ponta cônica, conforme descrição da NBR 12128 (ABNT, 1991) (figura 39).

Figura 39: Ponta cônica com ângulo de ápice 53º08 e altura de 45 mm



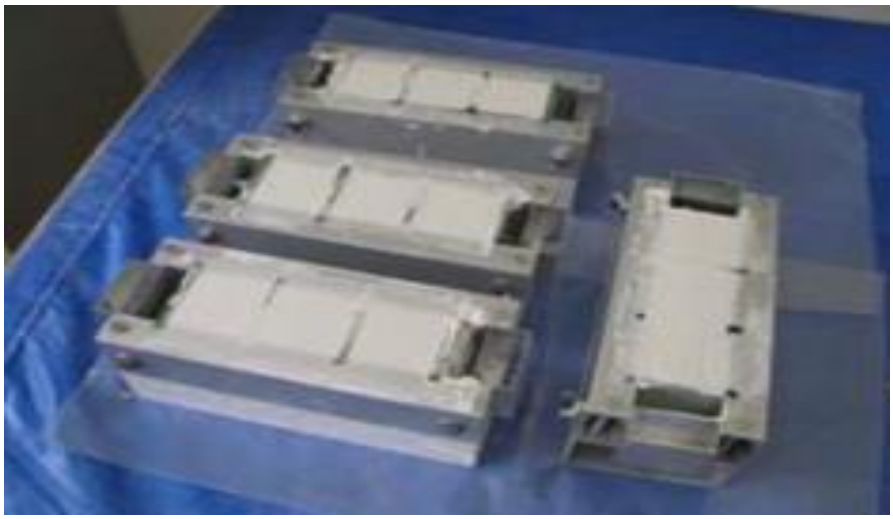
Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

3.8 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Para o ensaio de resistência à compressão recomendado pela NBR 12129 (ABNT, 1991), uma quantidade de água de amassamento, representada pelo fator água/gesso e as condições ambientais de endurecimento, que interfere substancialmente na resistência do gesso foram levadas em consideração para esta análise.

Para o ensaio utilizou-se blocos de gesso confeccionados de forma cúbica para que todos os seus lados tenham a mesma dimensão. Na moldagem elaborou-se formas para corpo de prova de 50 x 50 x 50 mm, para a preparação dos corpos de prova aplicou-se uma película de óleo lubrificante nas partes do molde, logo ajustou-se firmemente os corpos de prova, a fim de evitar vazamentos durante a moldagem (figuras 40, 41 e 42). Em seguida, todos os blocos foram submetidos às medições de confirmação da igualdade de dimensões das faces. Conforme a NBR 12129 (ABNT, 1991), depois da moldagem dos corpos de prova esperou-se o completo endurecimento da pasta, que pode ser considerada pelo fim da fase isotérmica, logo identificou-se os corpos de prova na superfície rugosa e deixados secar sob ar circulante, à temperatura de 28 ºC a 45 ºC, até a massa constante. Após isso, o ensaio consiste na aplicação de uma carga a uma velocidade controlada de 250 ± 50 N/min, assim cada bloco foi sobreposto na máquina de compressão e forças superficiais nesses blocos de gesso foram empregados, passando a ter valores quantitativos e significativos para a resistência da peça.

Figura 40: Corpos de prova fabricados em alumínio



Fonte: Savi (2012).

Para a realização do ensaio utilizou-se formas de aço galvanizado de 1,5 mm de espessura para a fabricação dos corpos de prova (figura 41).

Figura 41: Corpos de prova fabricados em aço galvanizado

Fonte: Autoria própria.

Figura 42: Preparação nos corpos de prova e verificação de igualdades das dimensões dos blocos confeccionados

Fonte: Autoria própria.

Após a confecção dos blocos e a análise de suas dimensões, os mesmos foram separados de acordo com o tempo de produção (figura 43).

Figura 43: Blocos confeccionados e separados

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a NBR 12129 (ABNT, 1991), atingida a estabilidade de massa, colocou-se os blocos em dessecador por no mínimo 24 h, retirando-se imediatamente antes do ensaio de resistência à compressão (figura 44).

Figura 44: Blocos colocados em dessecador

Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

Na realização deste ensaio foram utilizadas de três a cinco amostras, tanto para o gesso reciclado quanto para o gesso comercial. Só foram ensaiadas as amostras após a constância da massa, ou seja, após a mistura parar de perder umidades, para que houvesse um parâmetro de comparação.

Na utilização para o teste, o valor de resistência à compressão é representado pela sigla R, o valor calculado é dado em MPa, representado pela equação 3:

$$R = \frac{P}{S} \qquad (3)$$

Onde:

P = carga que produziu a ruptura do corpo de prova, em Newton.

S = área de seção transversal de aplicação de carga, em milímetros quadrados.

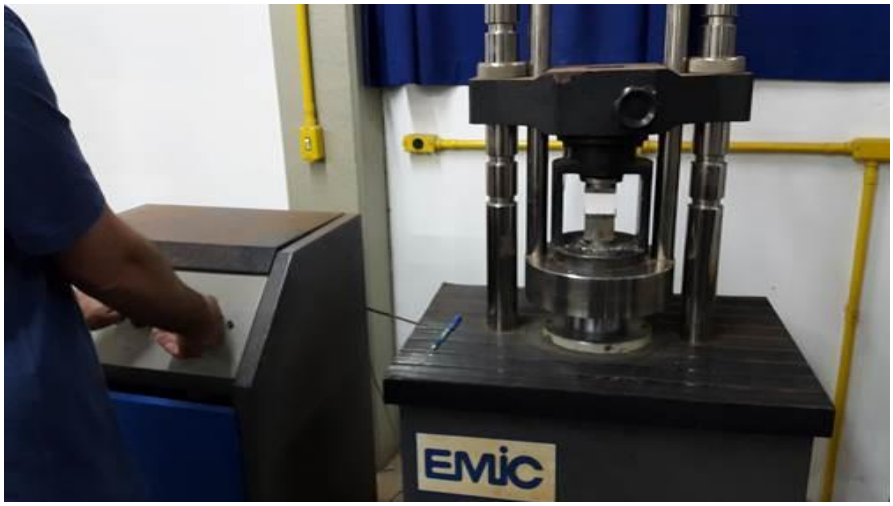
A resistência média dos corpos de prova é considerada com o valor de resistência à compressão se cada resultado não deferir mais de 15 % da média calculada.

O procedimento para determinação da resistência à compressão se procede da seguinte maneira:

- posicionar uma das faces não selecionadas no ensaio de penetração, que não superior, no centro do bloco de ensaio;
- aplicar a carga continuamente numa razão de 250 N/s a 750 N/s até a ruptura.

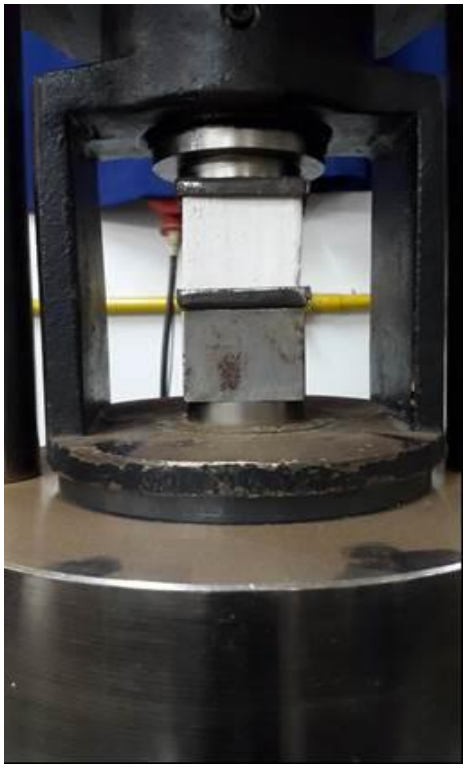
Feito o experimento no aparelho de compressão (figuras 45, 46 e 47) o objetivo é a determinação da densidade aparente no gesso no momento de sua ruptura.

Figura 45: Aparelho utilizado em laboratório



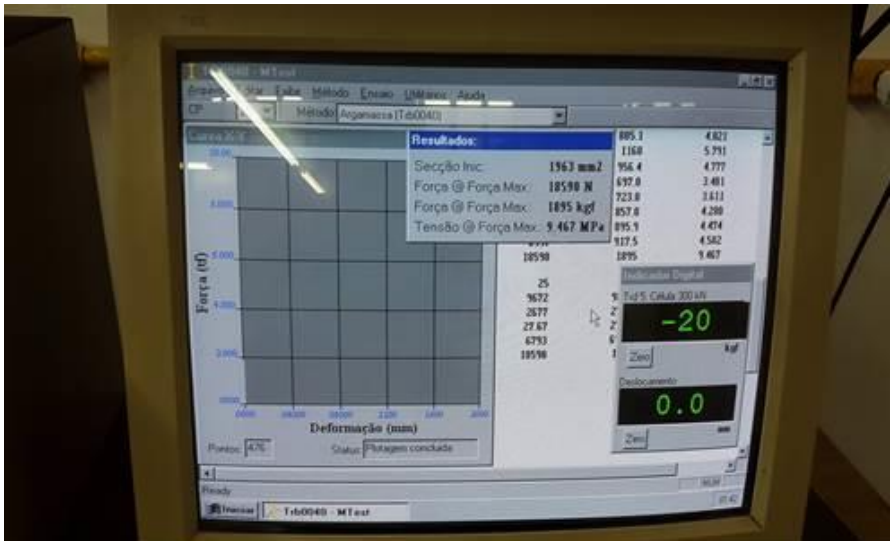
Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

Figura 46: Detalhe da amostra sendo comprimida



Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

Figura 47: Resultado da resistência à compressão

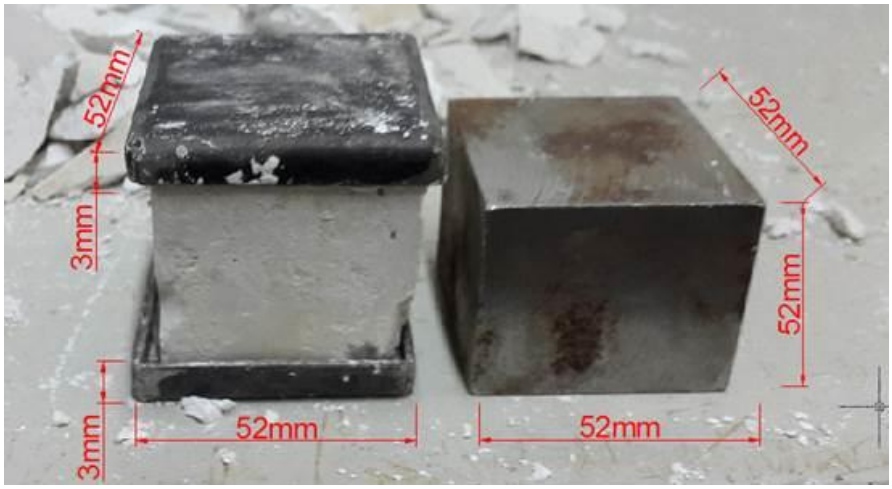


Fonte: Autoria própria, LEC da UNIJUÍ.

Para a realização do teste de resistência à compressão teve de ser desenvolvido e produzido um cubo de 4,2 cm de altura x 52 mm de largura x 52 mm de comprimento. Também teve de ser desenvolvidos suportes para o encaixe dos cubos de gesso com medidas de 3 mm de altura x 52 mm de largura x 52 mm de comprimento, espessura da chapa de 1,5

mm (figura 48). O cubo e os suportes foram produzidos para promover a distribuição da carga em toda a área do corpo de prova.

Figura 48: Suporte para distribuição da carga e suporte compensador de altura para a prensa



Fonte: Autoria própria.

A norma NBR 12129 (ABNT, 1991), ainda descreve que o gesso tem de garantir algumas exigências conforme descrito na tabela 5.

Tabela 5: Exigências físicas e mecânicas do gesso para construção civil de acordo com a Norma NBR 13207 – gesso para construção civil

Determinações físicas e mecânicas	Unidade	Limites
Resistência à compressão (NBR 12129)	MPa	> 8,40
Dureza (NBR 12129)	N/mm^2	> 30,00
Massa unitária (NBR 12127)	Kg/m^3	> 700,00

Fonte: NBR 12129 (ABNT, 1991).

4 RESULTADOS

De acordo com o trabalho experimental apresentado acima obteve-se os resultados descritos a seguir.

Para os resultados de granulometria, utilizado como base de comparação a peneira nº 400, abertura de 0,037 mm, não apresentou resultado como material passante para o gesso reciclado, para o gesso comercial teve resultado como material passante de 0,25 g.

Para os resultados de consistência normal o gesso reciclado apresentou valores de 320 mL de água para 400 g de gesso, para o gesso comercial apresentou valores de 288 mL de água para 400 g de gesso.

Para os resultados dos tempos de pega foram feitas duas comparações, duas para o gesso reciclado e duas para o gesso comercial, para melhor análise dos resultados obtidos.

Seguem os resultados (tabela 6) para gesso reciclado e gesso comercial.

Tabela 6: Análise de resultado do tempo inicial de pega e tempo final de pega

1° Analise do tempo de pega (Aparelho de Vicat Modificado)		
Gesso Reciclado		
	TEMPO	PENETRAÇÃO
TEMPO INICIAL DA PEGA	8 min	33 mm
	11min	27 mm
	14 min	20 mm
	16 min	17 mm
	17 min	16 mm
	19min	16 mm
	22min	15 mm
	24min	14 mm
TEMPO FINAL DA PEGA	25min	FIM
2° Analise do tempo de pega (Aparelho de Vicat Modificado)		
Gesso Reciclado		
	TEMPO	PENETRAÇÃO
TEMPO INICIAL DA PEGA	8 min	32 mm
	11min	25 mm
	14 min	18 mm
	16 min	17 mm
	17 min	16 mm
	19min	15 mm
	22min	14 mm
	24min	14 mm
TEMPO FINAL DA PEGA	25min	FIM
1ª Analise do tempo de pega (Aparelho de Vicat Modificado)		
Gesso Comercial		
	TEMPO	PENETRAÇÃO
TEMPO INICIAL DA PEGA	8 min	15 mm
	10min	14 mm
	12min	12 mm
TEMPO FINAL DA PEGA	13min	FIM
2ª Analise do tempo de pega (Aparelho de Vicat Modificado)		
Gesso Comercial		
	TEMPO	PENETRAÇÃO
TEMPO INICIAL DA PEGA	8 min	16 mm
	10min	14 mm
	12min	12 mm
TEMPO FINAL DA PEGA	13min	FIM

Fonte: Autoria própria.

Nota-se que o resíduo de gesso (material reciclado) teve início ao tempo de pega com medição aos oito minutos com penetração de 32 mm e fim de pega aos vinte e cinco minutos, já o gesso comercial teve início de pega com medição aos oito minutos com penetração de 28 mm e com tempo final de pega aos treze minutos. Portanto, o gesso reciclado precisa de quase o dobro de tempo do que o gesso comercial. Representando 208 % do tempo de pega do gesso comercial.

Neste sentido, se faz necessário uma investigação, em nível microestrutural, que analise os tamanhos das partículas e a morfologia dos cristais do resíduo de gesso a ser calcinado para geração do gesso reciclado.

Para os resultados de resistência à compressão, que define determinação da densidade aparente no gesso no momento de sua ruptura, teve como resultados: a tabela 7 representando o gesso reciclado e a tabela 8 representando o gesso comercial.

Tabela 7: Ensaio de resistência à compressão do gesso reciclado

Relatório de Ensaio de Compressão				
Gesso Reciclado				
				Tensão
Corpo de Prova	Seção Inicial (mm²)	Força Max (N)	Força Max (Kgf)	Força Max (Mpa)
CP1	1963	13260	1352	6.752
CP2	1963	13070	1332	6.655
CP3	1963	11800	1203	6.007
CP4	1963	12770	1302	6.504
CP5	1963	7980	813.7	4.064
CP6	1963	8022	818.1	4.086
CP7	1963	8383	854.8	4.269
CP8	1963	9803	999.6	4.992
CP9	1963	9824	1002	5.003
CP10	1963	10570	1077	5.381
CP11	1963	8595	876.4	4.377
CP12	1963	9697	988.8	4.938
CP13	1963	9548	973.7	4.863
CP14	1963	7895	805.1	4.021
CP15	1963	11370	1160	5.791
CP16	1963	8404	857.0	4.280
CP17	1963	8785	895.9	4.474
CP18	1963	8997	917.5	4.582
MÉDIA FINAL				**5.058**

Fonte: Autoria própria.

Tabela 8: Ensaio de resistência à compressão do gesso comercial

Relatório de Ensaio de Compressão				
Gesso Comercial				
				Tensão
Corpo de Prova	Seção Inicial (mm²)	Força Max (N)	Força Max (Kgf)	Força Max (Mpa)
CP1	1963	18590	1895	9.467
CP2	1963	13820	1409	7.038
CP3	1963	16220	1654	8.263
CP4	1963	14940	1524	7.610
CP5	1963	21360	2179	10.88
CP6	1963	23020	2347	11.72
CP7	1963	20970	2139	10.68
CP9	1963	23190	2364	11.81
CP10	1963	17550	1790	8.938
CP11	1963	19730	2012	10.05
CP12	1963	18930	1930	9.640
CP13	1963	18970	1934	9.661
MÉDIA FINAL				**8,90**

Fonte: Autoria própria.

Percebe-se que o gesso reciclado apresentou valor médio de 5,05 MPa, já o gesso comercial apresentou valor médio de 8,90 MPa. Nota-se então que o gesso reciclado ficou abaixo do valor especificado pela NBR 13207 (ABNT, 1991). No entanto, para que o gesso reciclado venha atingir o valor médio de resistência que a norma específica, deveria aumentar o tempo de calcinação do resíduo de gesso e diminuir a relação de água/gesso, porém diminuído o fator água/gesso consequentemente diminuirá a trabalhabilidade da pasta.

5 CONCLUSÃO

A reciclagem do gesso é um fator fundamental para o desenvolvimento sustentável. Porém, para que a reciclagem do gesso seja economicamente viável é importante que o processo de reaproveitamento do material seja realizado de forma que se consuma um mínimo de energia, mas se obtermos um material com propriedades físicas e mecânicas de qualidade equiparáveis ao do gesso comercial ai sim conseguiremos reutilizar o material reciclado.

Este trabalho teve como enfoque no estudo de caso, um levantamento de dados que demonstram que o resíduo de gesso depois de submetido ao processo de moagem e calcinação a 150 ºC e análise dos tempos de início e tempos de fim de pega descrevem um grande potencial para o uso.

A questão que balizou este estudo consistia em verificar a possibilidade de reutilização do resíduo de gesso para a produção de argamassas de gesso. Portanto, conclui-se que é possível tecnicamente produzir um material equiparável ao gesso comercial.

Diante do trabalho realizado pode-se tecer as seguintes conclusões:

- **quanto à granulometria:** o gesso reciclado apresentou finura maior que o do gesso comercial;
- **quanto à consistência normal:** percebeu-se que o gesso reciclado necessita de maior quantidade de água/gesso do que o gesso comercial, pelo fato dele apresentar maior volume, mas porém com menor peso;
- **quanto aos tempos de pega:** constatou-se que o gesso reciclado apresentou tempos de início e final de pega maiores do que o gesso comercial;
- **quanto aos resultados de resistência à compressão:** verificou-se que os valores variam conforme a idades do corpo de prova. Munhoz (2008) cita que ao ar livre e com umidade relativa média a resistência do gesso pode duplicar entre o 1º e o 7º dia após o amassamento.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Teste em aderência em paredes com gesso de revestimento.
- Ensaios de dureza superficial.
- Análise química.
- Influência do formato e do tamanho do grão.

7 REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12127**: gesso para construção – determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12128**: gesso para construção – determinação das propriedades físicas da pasta. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12129**: gesso para construção – determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13207**: gesso para construção civil. Rio de Janeiro, 1994.

BARDELLA, P. S. **Análise das propriedades de pastas de gesso de construção reciclado**. 2011. 235p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2011.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1994.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 307**. 2002. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em: 07/05/2015.

FURASTÉ, P. A. **Normas técnicas para o trabalho científico**: explicitação das normas da ABNT. 17. ed. Porto Alegre: Dáctilo-Plus, 2014.

GESSO FÁCIL. **A produção do gesso e sua tecnologia**. 2011. Disponível em: <http:// www.gessofacil.com/a-producao-do-gesso-e-sua-tecnologia/>. Acesso em: 29/05/2011.

IWASAKI, K. A.; CAMARINI, G. Influência das temperaturas de calcinação e da água de amassamento na reciclagem dos resíduos de gesso. In: XVIII CONGRESSO INTERNO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNICAMP, 2011.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. O. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007.

LIMA, S. Y. V. **Propriedades físicas e mecânicas de compósitos à base de gesso contendo fibras e resíduos**. 68p. 2011. Monografia (Bacharelado em Ciências da Tecnologia), Universidade Federal Rural do Semi-Árido de Massóro, Rio Grande do Norte, 2011.

MILITO, J. A. **Avaliação do comportamento de pastas de gesso com cimento portland e sílica ativa para revestimento**. 2001. 245p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2001.

MUNHOZ, F. C. **Utilização do gesso para fabricação de artefatos alternativos, no contexto de produção mais limpa**. 2008. 164p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

PINHEIRO, M. S. **Gesso reciclado**: avaliação de propriedades para uso em componentes. 2011. 330p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade de Campinas, São Paulo, 2011.

RIBEIRO, A. S. **Produção do gesso reciclado a partir de resíduos oriundos da construção civil**. 2006. 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

SAVI, O. **Produção de placas de forro com a reciclagem de gesso**. 2012. 233p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Federal de Maringá, 2012.