



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIDADE DE ENSINO SUPERIOR DOM BOSCO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MATEUS LEITE RIBEIRO PORTO

A RECICLAGEM E A REUTILIZAÇÃO COM O REAPROVEITAMENTO DO GESSO

São Luís

2020

MATEUS LEITE RIBEIRO PORTO

A RECICLAGEM E A REUTILIZAÇÃO COM O REAPROVEITAMENTO DO GESSO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco como requisito parcial para a obtenção da P2 da disciplina de TCC2.

Orientador: Prof. Esp. Fernando Luiz Pereira Beckman

São Luís

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Centro Universitário - UNDB / Biblioteca

Porto, Mateus Leite Ribeiro

A reciclagem e a reutilização com o reaproveitamento do gesso. /
Mateus Leite Ribeiro Porto. __ São Luís, 2020.

78 f.

Orientador: Prof. Esp. Fernando Luiz Pereira Beckman.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de
Engenharia Civil – Centro Universitário Unidade de Ensino Superior
Dom Bosco – UNDB, 2020.

1. Reaproveitamento - Gesso. 2. Resíduo - Gesso. 3.
Sustentabilidade. I. Título.

CDU 624:666.91

A RECICLAGEM E A REUTILIZAÇÃO COM O REAPROVEITAMENTO DO GESSO

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof. Esp. Fernando Luiz Pereira Beckman.

Aprovada em ____/____/ 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Fernando Luiz Pereira Beckman (Orientador)

1º Examinador

2º Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, por iluminar e orientar meu caminho dando saúde, forças e sabedoria, guiando até aqui e por renovar a minha fé sempre.

Aos meus pais Celio Ribeiro Porto e Heliene Leite Ribeiro Porto, por terem me educado, incentivado e dedicado seu tempo instruindo de conhecimento todo esse tempo ao longo do trajeto marcado por desafios com conquistas e vitórias apesar dos desafios encontrados ao longo do caminho.

A minha filha Julie de Almeida Duailibe Porto por ser minha fonte de inspiração e me dar forças para continuar aprendendo, ensinando e disseminando o conhecimento adquirido ao longo do tempo e ajudando sempre as pessoas.

Aos meus irmãos Lucas Leite Ribeiro Porto e Gabriel Leite Ribeiro Porto pela compreensão e irmandade nesses tempos difíceis, ajudando e dando o suporte necessário quando fosse preciso para me ajudar a dedicar tempo no desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

Ao meu professor orientador Dr. Fernando Luiz Pereira Beckman, pelas orientações, pelas conversas, pela receptividade em sua casa mesmo em tempos difíceis de pandemia, pela paciência, confiança, dedicação e empenho durante toda a elaboração desse trabalho, sendo fonte de inspiração, conhecimento e sabedoria.

Ao Sr. José Carlos Mendes que me ajudou a realizar os manuseios com o gesso e os ensaios de granulometria utilizando as peneiras, massa unitária, dureza, teste de pega utilizando os equipamentos vicat e moldando os ensaios para realizar os testes de compressão, todos seguindo as normas da ABNT - NBR e realizados no laboratório da instituição de ensino UNDB.

A professora Renata Muller pela sua dedicação e empenho, por ter elaborado e apresentado às aulas passando o conhecimento para que pudesse estar elaborando este trabalho.

A bibliotecária Consuelo Bello Pereira por ter providenciado a ficha catalográfica deste trabalho.

Ao Condomínio do Edifício Planta Tower por ter fornecido as amostras de gesso para a cominuição e realização dos ensaios laboratoriais para ajudar no desenvolvimento deste trabalho e formar opiniões e conclusões a respeito do vasto tema.

Ao Dr. Antônio Maia de Oliveira engenheiro representante do IFMA – Instituto Federal do Maranhão ao qual nos recebeu e cedeu os equipamentos do laboratório para realização de moagem dos resíduos de placas de gesso para que fosse possível realizar os ensaios laboratoriais e corpo de provas.

Por fim a todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a elaboração e realização deste trabalho, a todos só tenho a dizer o meu muito obrigado.

“Todos tem direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”

Artigo nº 225 da Constituição Federal

RESUMO

O desenvolvimento da sociedade evolutiva caminha em paralelo ao desenvolvimento e evolução construtiva de novas estruturas para habitação de moradia e para o trabalho profissional dos seres humanos, com isso a criação e aplicações de diversos materiais encontrados na natureza foram se tornando fontes de estudos de diversos trabalhos acadêmicos para aperfeiçoar as construções sabendo-se que ainda nos dias atuais, mesmo com o avanço da tecnologia, ocorre um grande desperdício de material, com isso a indústria da construção civil perseguindo a economia de materiais utilizados nas obras e na procura de diminuir o tempo de execução das construções criou uma demanda crescente de extração e aplicação de placas de gesso nas construções, aumentando consideravelmente o uso deste material nas obras ou reformas, chegando a ser um dos materiais mais consumidos na execução de acabamentos de obras. No entanto, um problema preocupante está em relação a quantidade do resíduo gerado pelo mesmo. Considera-se que o destino deste resíduo gerado se dá de forma precária e inadequada, contaminando o meio ambiente. A destinação inadequada do resíduo de gesso em contato com outros materiais pode alterar sua química e contaminar o solo e os lençóis freáticos, poluindo o meio ambiente em que vivemos. Isso acontece devido a composição das características físicas e químicas do material que em contato com outros materiais pode se alterar e tornar um produto tóxico inclusive prejudicial a saúde humana, vegetal e animal. Através de revisões bibliográficas e estudos de ensaios laboratoriais este trabalho apresenta de forma clara e objetiva o processo de reciclagem e sua aplicação, focando na viabilidade e no reaproveitamento do resíduo de gesso, tendo como alguns parâmetros pesquisas e os estudos científicos elaborados nesta área, utilizando normas da ABNT, resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, e estatísticas elaboradas pelo Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. Nesta linha de pensamento este trabalho propõe o reaproveitamento e a reutilização do material citado, na indústria de transformação de gesso, haja vista os relatórios de pesquisas e ensaios laboratoriais apresentadas de satisfação viabilidade técnica demonstrando sua composição química. O desenvolvimento sustentável requer uma redução do consumo de materiais primários finitos naturais e não renováveis retirados do meio ambiente de forma a minimizar os impactos ambientais gerados.

Palavras-chave: Reaproveitamento. Reciclagem. Resíduo. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The development of the evolutionary society goes parallel to the development and constructive evolution of new structures for housing and for the professional work of human beings, with that the creation and applications of diverse materials found in nature have becoming sources of studies of diverse works academics to perfect the constructions knowing that even nowadays, even with the advancement of technology, there is a great waste of material takes place, with this the civil construction industry chasing the economy of materials used in the works and the demand to reduce the time execution of the constructions has created a growing demand for the extraction and application of gypsum plaques in the constructions, considerably increasing the use of this material in the works, becoming one of the most consumed materials in the execution of finishing works or reforms. However, a worrying problem is related to the amount of waste generated by it. It is considered that the destination of this generated waste occurs in a precarious and inadequate way, contaminating the environment. The improper disposal of plaster waste in contact with other materials can alter its chemistry and contaminate the soil and groundwater, polluting the environment in which we live. This happens due to the composition of the physical and chemical characteristics of the material that in contact with other materials can change and become a toxic product, even harmful to human, plant and animal health. Through bibliographic reviews and laboratory test studies, this work presents in a clear and objective way the recycling process and its application, focusing on the viability and reuse of the plaster waste, having as some parameters research and scientific studies elaborated in this area, using ABNT standards, resolutions of the National Council of Environment - CONAMA, and statistics prepared by the National Department of Mineral Production - DNPM. In this line of thought, this work proposes the reuse and reuse of the mentioned material in the plaster processing industry, given the research and laboratory tests reports presented on technical feasibility satisfaction demonstrating its chemical composition. Sustainable development requires a reduction in the consumption of finite natural and non-renewable primary materials removed from the environment in order to minimize the environmental impacts generated.

Key words: Reuse. Recycling. Waste. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Resíduo de gesso descartado em caixa de papelão.....	18
Figura 2	Resíduos de gesso sendo descartados em sacos plásticos.....	18
Figura 3	Resíduos de gesso sendo descartados em contêineres.....	19
Figura 4	Material extraído bruto em Araripe no estado de Pernambuco.....	26
Figura 5	Exploração do gesso no polo gesseiro do sertão do Araripe.....	27
Figura 6	Fluxograma do processo produtivo do gesso	28
Figura 7	Máquina moedora granulométrica do laboratório do IFMA.....	29
Figura 8	Resultado pó de gesso utilizando moedor laboratório IFMA.....	30
Figura 9	Mistura de massa pó de gesso com água.....	33
Figura 10	Aplicação do forro de gesso em reformas de apartamentos	33
Figura 11	Parede rebocada com gesso diretamente na alvenaria.....	34
Figura 12	Placas de gesso com isolamento térmico e acústico.....	35
Figura 13	Resíduo de gesso em frente loja comercial em São Luís – MA.....	36
Figura 14	Resíduo de gesso na rua de São Luís-MA.....	37
Figura 15	Resíduo de placas de gesso.....	38
Figura 16	Resíduo gesso em contêineres em São Luís-MA.....	39
Figura 17	Placas de gesso com comprimento 60cm e largura 60cm.....	40
Figura 18	Resíduo gesso em contêineres de Condomínios em São Luís-MA.....	40
Figura 19	Resíduo gesso loja bairro Vicente Fialho em São Luís-MA.....	41
Figura 20	Placas de gesso com comprimento 60cm e largura 60cm.....	43
Figura 21	Blocos de gesso pátio UNDB de comprimento 60cm e largura 60cm.....	43
Figura 22	Blocos gesso utilizado para marcação da parede pátio UNDB.....	44
Figura 23	Painel decorativo com material de gesso.....	45
Figura 24	Pó de gesso.....	46
Figura 25	Molde odontológico feito de gesso vista lateral.....	46
Figura 26	Foto da entrada do laboratório de solos da UNDB.....	48
Figura 27	Foto interna do laboratório de solos da UNDB.....	49
Figura 28	Quadro branco escrito com pincel preto etapas e ensaios.....	49
Figura 29	Peneiras a serem utilizadas nos ensaios de granulometria.....	50
Figura 30	Procedimento de pesagem ensaios de granulometria.....	53

Figura 31	Pesagem da amostra 300g para realizar os ensaios.....	53
Figura 32	Quarterizar conforme NBR 12127 para os ensaios.....	54
Figura 33	Medição recipiente massa unitária 12 cm.....	55
Figura 34	Medição recipiente massa unitária quadrado de 3,5 cm por lado.....	56
Figura 35	Aparelho de Vivat realizar ensaio tempo de pega.....	56
Figura 36	Aparelho de Vivat laboratório de solos da UNDB.....	57
Figura 37	Aparelho SOLOTEST para realizar ensaio dureza e compressão.....	59
Figura 38	Medição da esfera teste dureza com paquímetro.....	59
Figura 39	Configuração aparelho SOLOTEST compressão força 50N.....	61
Figura 40	Resultado do aparelho SOLOTEST amostra B com 02 horas.....	62
Figura 41	Resultado do aparelho SOLOTEST amostra C com 24 horas.....	62
Figura 42	Teste de dureza causando ondulação no gesso.....	63
Figura 43	Molde corpo de prova de gesso para as amostras A, B e C.....	65
Figura 44	Corpo de prova de gesso para as amostras A, B e C.....	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica das amostras A, B e C de gesso.....	52
--	----

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Hidratação do gesso.....	32
Equação 2 – Cálculo de material retido na peneira.....	54
Equação 3 – Cálculo de massa unitária.....	55
Equação 4 – Cálculo de dureza.....	60
Equação 5 – Cálculo de massa unitária.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais usos comerciais do gesso tipo beta no Brasil.....	35
Tabela 2 - Ensaio de granulometria amostra A de gesso reciclado natural.....	51
Tabela 3 - Ensaio de granulometria amostra B de gesso reciclado calcinação 2 horas.....	51
Tabela 4 - Ensaio de granulometria amostra C de gesso reciclado calcinação 24 horas.....	52
Tabela 5 - Ensaio de tempo de pega duração com as amostras A, B e C.....	58
Tabela 6 - Ensaio de dureza das amostras A, B e C.....	61
Tabela 7 - Média de resistência a compressão das amostras A, B e C.....	63
Tabela 8 - Ensaio de resistência a compressão das amostras B	64
Tabela 9 - Ensaio de resistência a compressão das amostras C	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

RCD – Resíduo de Construção e Demolição

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

UNDB – Universidade Dom Bosco

LISTA DE UNIDADES

kg	Kilograma
g	Grama
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
ml	Mililitro
°C	Grau Celsius
o ‘ “	Grau, Minuto, Segundo
N	Newtons
kn	Kilonewtons
mpa	Megapascal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Problemática	16
1.2	Hipóteses	19
1.3	Justificativa	20
1.4	Objetivos	21
1.4.1	Geral.....	21
1.4.2	Específicos.....	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1	Gipsita	25
2.2	Processo produtivo do gesso	27
2.2.1	Cominuição do gesso	28
2.2.2	Calcinação do gesso	30
2.2.2.1	Condições de cura da calcinação do gesso	31
2.3	Hidratação do gesso	31
2.4	Aplicações da gipsita e do gesso	32
2.5	Geração de resíduos	36
2.6	Potenciais aplicações dos resíduos	41
2.7	Indústria de transformação do gesso	42
3	METODOLOGIA	47
3.1	Ensaio de Granulometria	50
3.1.1	Ensaio de Granulometria peneiras 0,600 e 0,420	54
3.1.2	Ensaio de Granulometria peneiras 0,200 e 0,150	54
3.2	Ensaio de massa unitária	55
3.3	Ensaio de tempo de pega	56
3.4	Ensaio de dureza	58
3.5	Ensaio de resistência compressão	63
4	RESULTADOS E DISCUÇÕES	66
4.1	Análises das amostras	66
4.1.1	Granulometria	66
4.1.2	Massa unitária	66
4.1.3	Tempo de pega	66
4.1.4	Dureza	67

4.1.5	Resistência à compressão.....	67
4.2	Resultados.....	68
5	CONCLUSÃO.....	69
	REFERÊNCIAS.....	71
	ANEXOS.....	73

1. INTRODUÇÃO

1.1 Importância do tema

A evolução e a busca constante pela utilização de novos materiais e aperfeiçoamento de melhores técnicas construtivas com o intuito de aumentar a produtividade e diminuir o desperdício otimizando a produção com redução de tempo e custos sempre foi uma estratégia de grandes construtoras. Ao longo desses anos todos de evolução construtiva, levaram a humanidade a descobrir novos materiais e com os avanços tecnológicos levaram ao aperfeiçoamento de novas técnicas de melhorias nas diversas aplicações de gesso na construção civil, material encontrado na natureza sendo bastante explorado nas indústrias de mineração oriundo do mineral gipsita encontrado em abundância no Brasil.

A transformação do material da gipsita encontrado na natureza no gesso como material utilizado na construção civil em todo território nacional teve um crescimento elevado se comparado ao crescimento da construção civil. Apesar desse aspecto positivo de crescimento na produção e na economia do país com o acréscimo de consumo de materiais na construção civil e sabendo que a indústria da construção civil é uma das indústrias com os maiores índices de geração de resíduos, esse crescimento sem o devido controle e sem uma gestão dos resíduos sólidos participativa e atuante leva a um grande desperdício e uma grande desvantagem sobre a indústria de maior quantidade de geração de resíduos gerados. Os resíduos gerados pela cadeia do gesso, de forma geral, por não serem acondicionados, transportados de forma adequada e não terem uma destinação de resíduos apropriadas nos dias atuais, são normalmente depositados em aterros sanitários degradando o meio ambiente quando em contato inapropriado com os mais diversos materiais encontrado no solo pode se alterar e transformar a sua composição físico-química e acabar contaminando o lençol freático.

Atualmente muito se vem evoluindo na busca da sustentabilidade e reaproveitamento de materiais para que seja feita a sua reciclagem e reutilização destes materiais com o foco na redução e minimizar os impactos ambientais, seja durante o início da cadeia produtiva na extração nas mineradoras da matéria prima ou na produção dentro das obras das construtoras ou então em reformas de apartamentos, salas comerciais, hotéis, flats, empresas e casas durante o processo

produtivo. A indústria da construção civil é considerada degradante ao meio ambiente por gerar grandes quantidades de resíduos sólidos, tanto durante a fabricação como também durante a produção e execução das obras e reformas, também é reconhecida como um dos setores mais vantajosos para absorver grandes quantidades e volumes vultosos de resíduos e sub produtos de materiais.

O gesso hemihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) é produzido a partir da gipsita, composta basicamente do sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). O Brasil possui a maior reserva mundial de gipsita, estando a maior parte das jazidas situadas no Norte e no Nordeste (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 2014)

Algumas alternativas são consideradas viáveis para a coleta e reutilização desses resíduos gerados por materiais de gesso, no decorrer deste trabalho vamos em busca de uma solução viável tecnicamente e adequada na reciclagem e no reaproveitamento do gesso com a reutilização de material de gesso reciclado e na de transformação de gesso reciclado através de testes em ensaios laboratoriais para verificar utilizando as normas da ABNT NBR compondo a sua granulometria, massa unitária, tempo de pega, dureza e a resistência a compressão do gesso reciclado para não serem descartados inadequadamente e voltar a ser utilizado em diversas formas como forros, blocos de revestimentos e paredes internas de residências, comércios ou indústrias.

1.2 Problemática

A problemática desse estudo na construção civil tem a necessidade de demonstrar o constante descarte inapropriado de gesso em obras ou reformas incompatibilizando entre o desenvolvimento tecnológico e a redução dos impactos ambientais. É notável a existência de pesquisas como a de Raquel Castro (2012), associada ao reaproveitamento de resíduos da construção na execução de placas de gesso drywall e em blocos de concreto não-estrutural; no entanto, novas possibilidades de uso devem ser analisadas e exploradas, sempre considerando a viabilidade quanto aos requisitos de norma aplicados em cada caso. Segundo Raquel Castro (2012), o resíduo de construção e demolição (RCD) é um problema que deve ser considerado na sociedade devido a inúmeras consequências que acarretam a saúde humana e ao meio ambiente em pequenas, médias e grandes

idades. Contudo, esta pesquisa sugere uma nova estratégia de aplicabilidade do resíduo de gesso, que promova resultados técnicos e ambientais positivos, possibilitando o desenvolvimento de novas metodologias tecnológicas para reciclar o gesso contribuindo para a geração de emprego e renda formulando parcerias no mercado da construção civil, além de atuar na conservação do meio ambiente tornando o ciclo do gesso de forma sustentável.

De acordo com a Associação Brasileira de fabricantes de chapas de Drywall (2009), desde o final da década de 1990 vêm sendo pesquisados métodos de reciclagem do gesso e já se avançou de forma significativa, em pelo menos três frentes de reaproveitamento: indústria cimenteira, setor agrícola e na indústria de transformação do gesso. Contudo, este estudo representa o surgimento de reaproveitamento com a reciclagem e o reaproveitamento com a reutilização do gesso na execução de placas de forros ou blocos de revestimento de paredes que poderão ser reutilizadas, trazendo benefícios a sociedade no que se refere ao crescimento sustentável.

Além disso, a possibilidade de desenvolver um bloco ou uma placa de gesso com adição de resíduos de gesso destinado a produção da placa que proporciona conhecimentos sobre as potencialidades do uso e do reaproveitamento do gesso na construção civil, contribuindo para o aperfeiçoamento científico no ciclo do gesso.

Por fim, surge uma problemática a ser respondida: Dentre as opções de destinação dos resíduos de gesso para reciclagem presentes na construção civil seria possível estabelecer um novo ciclo de reaproveitamento do gesso a partir da sua aplicabilidade na produção de blocos ou placas? Atenderia os padrões das normas vigentes atuais? Qual seria a sua resistência? Qual seria o seu tempo de pega?: Baseado neste questionamento, foi desenvolvida uma pesquisa bibliográfica fundamentada em conceitos e teorias presentes, além de uma análise experimental da aplicação do gesso reciclado na adição de resíduos de gesso para fabricar placa de gesso no Laboratório de Solos e Materiais da Unidade de Ensino Superior Dom Bosco (UNDB) em São Luís no estado do Maranhão.

Atualmente a maioria das pessoas não sabem como descartar de forma correta o gesso produzido em reformas de apartamentos ou salas comerciais, conforme é possível demonstrar e verificar na Figura 1 o resíduo de gesso

possivelmente de uma parede interna acondicionada dentro de uma caixa de papelão para ser efetuado o seu descarte no sistema de coleta pública.

Figura 1 – Resíduo de gesso descartado em caixa de papelão.



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor, (2020).

Logo abaixo temos a Figura 2 que também demonstra que o resíduo de gesso é descartado e acondicionado de forma inadequada em sacos de lixo comum.

Figura 2 – Resíduos de gesso sendo descartados em sacos plásticos.



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor, (2020).

Na Figura 3 observamos que possivelmente existe uma obra em execução e gera grandes quantidade de resíduos do gesso que são descartados em contêineres para serem coletados e encaminhados para serem depositados em grandes terrenos de aterro sanitários podendo em contato com outros materiais poluir e contaminar o lençol freático e o meio ambiente.

Figura 3 – Resíduos de gesso sendo descartados em contêineres.



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor, (2020).

1.3 Hipóteses

O reaproveitamento do gesso que passou por processo de tratamento e reciclagem consegue ser tecnicamente utilizado e reaproveitado na construção civil?

Existem outras formas de reaproveitamento do gesso reciclado, que favorece a sustentabilidade do planeta por ser um produto mineral finito?

O reaproveitamento do gesso reciclado gera sustentabilidade na cadeia produtiva do gesso?

A reciclagem e o reaproveitamento do gesso é tecnicamente viável?

O gesso pode ser reciclado? E caso seja possível, após ser reciclado atende as normas técnicas da ABNT NBR nº 12127, nº 12128 e nº 12129?

1.4 Justificativa

Alguns dos principais problemas enfrentados pela nossa sociedade nos dias passados, atuais e possivelmente nos dias futuros serão reflexos de falta de acompanhamento na gestão adequada com iniciativas dos setores públicos e privados para coibir e minimizar os resultados de efeitos e transtornos causados pela destinação equivocada de coleta e depósitos de resíduos em aterros misturados com outros materiais agravando ainda mais inconsequente poluição gerada em nossa cidade de São Luís localizada no estado do Maranhão. Como exemplo pode-se mencionar a volumosa quantidade de produção de lixo urbano gerado na região metropolitana da ilha de São Luís, englobando os municípios de Raposa, Paço do Lumiar e São José de Ribamar, com consequente poluição de lagos, rios e também na costa marítima da ilha de São Luís, além da poluição do ar oriunda das industriais de transformação e mineralização existentes em nossa cidade como por exemplo a Companhia Vale do Rio Doce.

A maioria dos materiais minerais extraídos em natura da natureza se não tiver um acompanhamento de armazenagem e estocagem bastante criterioso pode se transformar mudando sua composição física e química quando em contato com outros elementos existentes. Porém, caso as pessoas e o poder público não tomar consciência e adotar medidas bem elaboradas que venham a colaborar para a redução da geração desses resíduos minimizando o descarte desses materiais inservíveis, dependendo do volume e da quantidade produzida, por si só, a natureza não terá condições de se manter sustentável em determinada área comprometendo a flora e a fauna da região. Para tanto, com a reciclagem e o reaproveitamento deste material, o resíduo passará a ser tratado como matéria-prima alternativa que será utilizado para a produção de novos produtos, trazendo como vantagens a consequente diminuição da quantidade de volume destes que vai para aterros sanitários, poupando os recursos naturais que são finitos, diminuindo a poluição, e além disso tudo, também estará gerando novos serviços, emprego, renda e inclusão social. Será necessário se fazer uma melhor gestão do resíduo de gesso que é um mineral finito em todos os setores da economia afim de não prejudicar as futuras gerações para que tenham uma vida mais saudável.

No setor da construção civil, com o grande crescimento constante populacional nos últimos anos, e a evolução do volume de obras e conscientização

da sociedade, houve a necessidade de se criar leis para tentar inibir e diminuir os impactos ambientais gerados pela geração de resíduos sem a devida gestão e acompanhamento da destinação correta destes resíduos, Assim sendo, tem-se esta preocupação em se buscar alternativas sustentáveis para estabelecer uma rede de coleta destes resíduos para viabilizar a reciclagem e o reaproveitamento e uso destes materiais depositados através de uma política de educação ambiental mais forte, estudos para conhecer os potenciais de cada resíduo e maior distribuição e disseminação da informação de criação de novas leis municipais de políticas públicas para os grandes geradores de resíduos, no caso as grandes e médias construtoras, ou também alguns incentivos na reutilização de materiais devidamente reciclados, sendo as construtoras consideradas as maiores consumidoras de materiais derivados da gipsita na utilização de acabamentos de obra com as placas, blocos de revestimentos e painéis de elementos produzidos a base de gesso.

Visando acrescentar conteúdo e sempre contribuir com a sustentabilidade do planeta, este trabalho se propõe para apresentar baseado em levantamentos de material bibliográficos e ensaios laboratoriais os principais e secundários aspectos relacionados à reutilização dos resíduos de gesso na construção civil e em setores privados de residências, comércios e indústrias, disponibilizando, desta forma, um destino correto ambientalmente sustentável retirando a destinação do gesso para os aterros sanitários e encaminhando para unidades de reciclagem para serem transformados e reaproveitados.

1.5 Objetivos

1.5.1 Geral

Apresentar uma forma de reciclagem e reaproveitamento dos resíduos gerados na construção civil a partir da produção e aplicação do gesso.

O presente trabalho está dividido em 05 capítulos, nos quais se buscou atender às seguintes proposições:

O primeiro capítulo trata da Introdução – Neste capítulo foi desenvolvido os conhecimentos de caráter introdutório da pesquisa no que se refere a importância

e relevância do tema e aos impactos ambientais em decorrência da geração dos resíduos de gesso e o descarte inadequado, problemática encontrada pela geração de resíduos de gesso nos diversos setores da economia e em específico, a destinação inadequada dos resíduos de gesso na construção civil. A importância da adoção de medidas sustentáveis na conservação dos recursos naturais e preservação do meio ambiente. Além da abordagem teórica dos três elementos principais da pesquisa: o gesso; o resíduo de gesso; e a reciclagem com reaproveitamento do gesso.

Na sequência foi delimitado as hipóteses com perguntas que serão abordadas para serem respondidas no decorrer deste trabalho científico.

Em seguida, foi elaborada a justificativa do tema com base na relevância dada ao assunto até o momento. Por fim, os objetivos que deram foco a análise do reaproveitamento do gesso. O segundo capítulo trata do referencial e da fundamentação Teórica – Neste capítulo são abordados os conceitos que delimitam a pesquisa (gesso, reciclagem do gesso e o reaproveitamento do gesso). Uma breve introdução sobre a gipsita e o gesso referente à suas principais características, assim como, os processos produtivos do gesso apresentando o fluxograma do ciclo do gesso desde a extração nas mineradoras passando pelo processo de moagem com a cominuição do material extraído provocando a deformação e reduzindo o tamanho das partículas com equipamentos alimentados pela energia fazendo a trituração e moagem do material, preparando o material para que seja feito o processo de calcinação, onde a gipsita extraída passa por um processo de transformação em aquecimento constante em condições normais de pressão e com a temperatura na faixa entre 140 °C até 160 °C alterando seu estado químico de dihidratado para hemihidratado para se transformar em gesso beta e liberar 1 ½ molécula de vapor de água. Além disso, a fundamentação conta com um detalhamento sobre o gesso, no que tange a análise de suas propriedades e estabelecendo sua analogia em relação ao gesso produzido de forma convencional e o gesso reciclado. Em sequência, é desenvolvido um estudo aprofundado do gesso (conceitos gerais e propriedades) e sua análise como resíduo de construção. Por fim, aborda-se sobre quanto as suas especificações normativas e processos construtivos. O terceiro capítulo trata dos Materiais e métodos. Neste capítulo, aborda-se sobre as características da pesquisa, os equipamentos utilizados e o

tratamento dos dados. O quarto capítulo trata da análise e discussão de resultados. Nesta seção são analisados os resultados obtidos nos ensaios experimentais seguindo as normas NBR 12127, 12128 e 12129, com objetivo de realizar estudos técnicos para verificar a possibilidade de realizar o reaproveitamento do gesso e produzir uma placa ou bloco de revestimento com material de gesso reciclado que atinja as especificações das Normas para a fabricação de placas e blocos de revestimento produzidos com o gesso reciclado. O quinto capítulo trará da Conclusão. São evidenciadas as considerações finais da pesquisa como resultado das análises teóricas e práticas desenvolvidas e elaboradas durante o estudo.

1.5.2 Específicos

- Apresentar números de extração mineral e produção de gipsita através de dados coletados nos relatórios oficiais do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral);
- Apresentar pesquisas que apontam o grande número de volumes de resíduos gerados nas obras e reformas provenientes de materiais utilizados na construção civil na ilha de São Luís;
- Mostrar a coleta seletiva destes resíduos através de contêiners;
- Armazenamento e estocagem;
- Preparação do material coletado para reciclagem;
- Verificar a viabilidade técnica de utilização destes resíduos com a reciclagem do gesso;
- Mostrar o processo de reciclagem e o reaproveitamento do gesso reciclado;
- Objetiva apresentar e divulgar em nível acadêmico, social e comunitário as diretrizes básicas da resolução nº 307/02 do CONAMA que trata sobre a gestão dos resíduos sólidos da construção civil, a qual reconhece o material derivado da gipsita comumente falado como gesso podendo ser material reciclado. Este trabalho tem a finalidade de apresentar alguns números divulgados em relatórios anuais do DNPM de extração mineral da gipsita e também pesquisas que apontaram grandes volumes de resíduos gerados nas obras e

reformas provenientes de materiais utilizados na construção civil, sendo estes muitas vezes sem a devida coleta e destinação apropriada.

- Por fim objetiva mostrar a viabilidade técnica de coleta seletiva destes resíduos bem como o armazenamento e estocagem para preparação técnica de reciclagem e o seu reaproveitamento e utilização novamente deste material através de blocos de revestimentos ou placas de gesso nas obras de construção civil, sendo notadamente o desconhecimento da sociedade, um material que pode virar resíduo, até o momento o desconhecimento sobre o assunto e nenhuma usina instalada de reciclagem deste material em São Luís-MA.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Gipsita

A Gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), de especificação mineral encontrado abundantemente na natureza, o sulfato de cálcio dihidratado é naturalmente encontrado de granulação fina e média, estratificada ou maciça, com coloração em tons de amarelo claros até marrom. A Gipsita tem grande importância em diversos setores da economia principalmente no setor da construção civil, sendo utilizada como matéria prima em adição a produção de cimentos na indústria cimenteira, na agricultura para aplicação no solo, na formulação de moldes dentários na odontologia, na indústria de papel, na fabricação de tintas, discos, pólvoras, botões de fósforos, no acabamento de tecidos de algodão, entre outras. Na construção civil é utilizada na produção de painéis e blocos, no polimento de chapas estanhadas, como filler na produção e construção de estradas asfálticas e como Gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), fabricado a partir de uma desidratação da Gipsita bruta calcinada a uma temperatura aproximada de 160°C , segundo (SINDUSGESSO, 2006).

O maior consumo atualmente de gipsita se dá na sua grande maioria pelo setor da construção civil cuja produção de gipsita segundo o sumário mineral elaborado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2012) foi em 2009 foi de 2.348.390 toneladas, em 2010 foi de 2.638.096 toneladas, e em 2011 foi de aproximadamente 3.228.931 toneladas de gipsita (DNPM, 2012) apresentando um crescimento da ordem de 22,4% em relação ao ano anterior, sendo o estado de Pernambuco o principal extrator produtor de gipsita do Brasil, sendo responsável por 91,5%. Apesar da existência de um mercado interno crescente de consumo da gipsita, neste mesmo ano de 2011 foi importado cerca de 5% do consumo nacional de Gipsita, isto por conta do transporte modal rodoviário das jazidas até fábricas e assim para comercialização no mercado interno encarecer muito o produto final informado pelos produtores, tenha sido de R\$20,19/t (DNPM, 2012), apresentamos a Figura 4 logo abaixo temos um exemplo do material bruto extraído nas mineradoras no polo de extração de gipsita mineral do polo gesseiro do Araripe situado no extremo oeste do estado de Pernambuco formado pelos municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri.

Figura 4 – Material extraído bruto em Araripe no estado de Pernambuco.



Fonte: Diário do Nordeste, (2016).

Em todo território nacional, os principais depósitos de Gipsita reconhecidas pelo Departamento Nacional de Produto Mineral – DNPM, ocorrem associadas as bacias sedimentares conhecidas como bacia Amazônica (Amazonas e Pará), bacia do Meio Norte ou bacia do Parnaíba (Maranhão e Tocantins), bacia Potiguar (Rio Grande do Norte), bacia do Araripe (Piauí, Ceará e Pernambuco), e bacia do Recôncavo (Bahia), sendo dentre estas citadas a bacia sedimentar do Araripe considerada a mais apropriada economicamente e a bacia Amazônica é descartada por inviabilidade na logística e infra-estrutura (DNPM, 2012), conforme demonstrado logo abaixo na Figura 5 a necessidade de vários equipamentos robustos utilizados no manuseio do material mineral extraído da natureza.

Figura 5 – Exploração do gesso no polo gessífero do sertão do Araripe.



Fonte: Nill Junior (2019).

2.2 Processo produtivo do gesso

O processo produtivo do gesso é realizado a partir da extração e utilização da Gipsita natural, consta das etapas: extração e preparação da matéria prima; calcinação; pulverização; ensilagem; e acondicionamento (PINHEIRO, 2011). De forma geral a calcinação do minério de Gipsita consiste, basicamente, na desidratação térmica do sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). A variação da temperatura permite obter gesso beta com diferentes características diretamente relacionadas a sua utilização. O gesso de secagem rápida ou de fundição que nas temperaturas entre 140°C a 160°C durante 60 minutos sob pressão atmosférica a Gipsita perde $1 \frac{1}{2}$ moléculas de água, passando de di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) para hemi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), podendo ser utilizado na construção civil em formas de gesso em placas, blocos, painéis ou de revestimento (A.A. BARBOSA, 2014).

Logo abaixo temos a Figura 6 que demonstra o fluxograma do processo produtivo do gesso, iniciando pela extração da gipsita nas mineradoras, passando pelo processo de moagem na cominuição, depois o aquecimento na calcinação se transformando em gesso tipo beta hemihidratado e liberando $1 \frac{1}{2}$ moléculas de vapor de água. .

Figura 6 – Fluxograma do processo produtivo do gesso.



Fonte: André Vitor de Albuquerque Santos, (2018).

2.2.1 Cominuição do gesso

A cominuição pode ser entendida como a deformação ou fragmentação de uma estrutura sólida quando submetida a forças mecânicas. As forças mecânicas são aplicadas nas partículas através dos elementos do moinho ou do meio moedor, provocando a deformação e diminuição das partículas. As deformações provocam a geração de tensões internas, já que deformações e tensões estão ligadas por leis mecânicas da matéria. As deformações podem ser caracterizadas como elástica, plástica e viscosa, ou compostas, para a maioria dos materiais.

Durante a etapa de cominuição, o gesso passa por uma moagem fina, de forma a adquirir a granulometria adequada à sua utilização. Em geral, as granulometrias são especificadas por norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), conforme as normas técnicas NBR 13207 e NBR 12127 que fala sobre a determinação das propriedades físicas do pó e método de ensaio.

No mineral gipsita a morfologia dos cristais hidratados é alterada na sua razão de aspecto pelo processo de cominuição; Quanto maior o tempo de moagem, menor o comprimento dos cristais (OLIVEIRA, 2015)

São esperadas mudanças nas propriedades mecânicas do dihidrato obtido do gesso (hemidrato) previamente moído antes da hidratação, em consequência das alterações sofridas pelos cristais, devido à relação direta entre as

propriedades mecânicas e as características microestruturais do cristal (SINGH; MIDDENDORF, 2007).

Conforme foi realizada a coleta da amostra do resíduo do material gesso e o andamento da pesquisa para elaboração e realização dos ensaios técnicos viu a necessidade de se fazer a moagem da amostra para diminuir o tamanho das partículas a fim de se obter a transformação da amostra de gesso, utilizamos o moedor conforme apresentado na Figura 7 do laboratório técnico do IFMA Instituto Federal do Maranhão.

Figura 7 – Máquina moedora granulométrica do laboratório do IFMA.

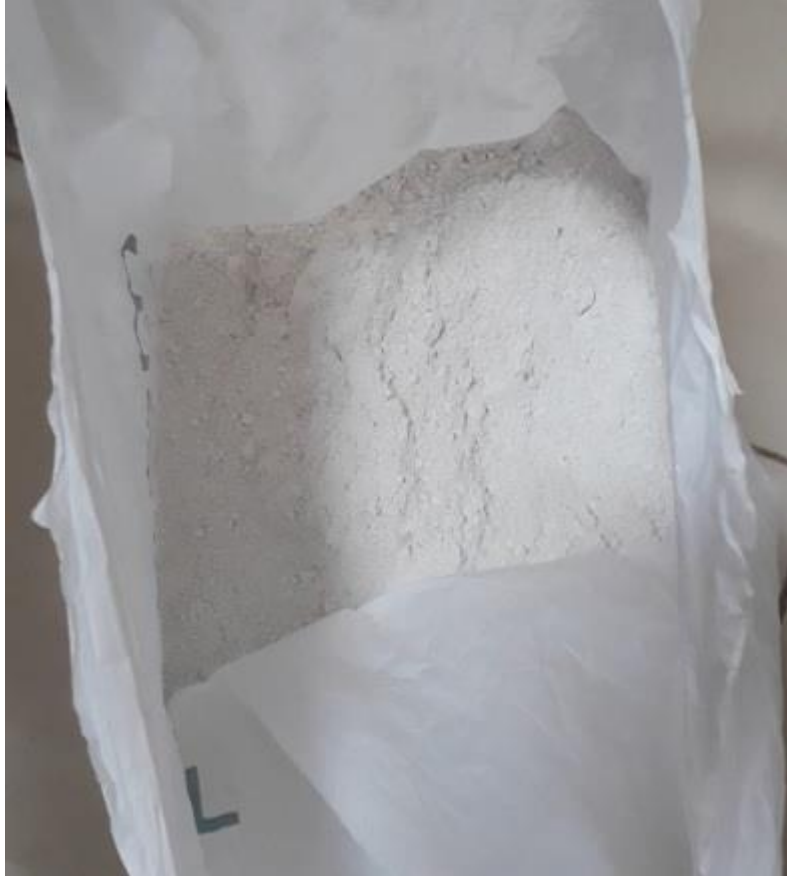


Fonte: Foto arquivo pessoal autor, (2020).

Além do gesso comum, existem também o gesso cerâmico, muito utilizado na odontologia que é uma variedade mais nobre do gesso de fundição, e o gesso fíller, que corresponde a menor fração de finos na granulometria do pó de gesso que se recupera dos vapores que são lançados na atmosfera, durante a etapa

de calcinação. Após a moagem para reduzir o tamanho das partículas para granulometria menor observou que a amostra foi uniformemente triturada diminuindo o tamanho de sua partícula para pó de gesso, conforme demonstrado na Figura 8.

Figura 8 – Resultado pó de gesso utilizando moedor laboratório IFMA



Fonte: Foto arquivo pessoal autor, (2020).

2.2.2 Calcinação do gesso

A calcinação é o processo térmico em que o mineral gipsita é desidratada, podendo obter como produto final o sulfato de cálcio hemihidratado (gesso) ou o sulfato de cálcio anidro (anidrita), dependendo da temperatura em que o minério for submetido, neste trabalho falaremos do sulfato de cálcio hemihidratado ou gesso tipo beta.

Durante a produção do gesso ocorre a retirada de $\frac{3}{4}$ de água de cristalização e dependendo das condições de pressão e temperatura a qual a matéria prima foi submetida, é possível obter a forma alfa ou a forma beta do cálcio hemihidratado (gesso). Quando a desidratação é realizada a pressão atmosférica

com temperatura na faixa de 140 °C até 160 °C, utilizando um forno ou estufa, normalmente em 40 minutos obtém-se o hemidrato beta ou gesso beta. O material assim obtido apresenta partículas com formatos irregulares e, portanto maior porosidade. Quando a calcinação é realizada em ambientes fechados a pressões superiores à atmosféricas, com temperaturas acima de 900 °c após o período de 5 horas obtém-se o sulfato de cálcio anidro gesso alfa, que é formado por partículas de formatos regulares, apresentando menor superfície específica e maior peso específico.

A desidratação total ou parcial da Gipsita esta se torna um aglomerante aéreo que endurece pela ação química do CO₂ do ar, sendo assim este é um material muito utilizado em construção devido às suas propriedades de aderência. A sua maleabilidade faz da argamassa deste ligante um bom material para a execução de pormenores decorativos em paredes e tetos, assim como fazer o molde que reveste as paredes. É um bom isolante térmico e acústico devido ao fato de ter uma baixa condutividade térmica e um elevado coeficiente de absorção acústica. Contudo, a sua fraca resistência quando posto em contato com a água, faz do gesso um mau material para ser utilizado em exteriores. É também utilizado como barreira corta-fogo, pois como tem um baixo coeficiente de condutibilidade térmica, impede que o fogo alastre a outras zonas do local onde o gesso está aplicado, normalmente em habitações; para além do baixo coeficiente de condutibilidade térmica possui ainda a característica de libertar água quando exposto ao calor do fogo realizando a calcinação a quente SINDUSGESSO (2006).

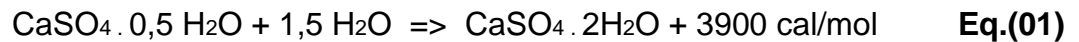
2.2.2.1 Condições de cura da calcinação do gesso

Todas as pastas foram curadas à temperatura ambiente, pois, para o hemidrato até 45°C, a solubilidade aumenta com o aumento da temperatura, acelerando a hidratação; acima de 45°C, o efeito é inverso (CLIFTON, 1973).

2.3 Hidratação do gesso

Durante o processo de hidratação o gesso recupera a água de cristalização tornando-se novamente sulfato de cálcio dihidratado.

A hidratação do gesso é um processo exotérmico e segue a Equação 01:



A hidratação é acompanhada pelo fenômeno físico de pega, que caracteriza o endurecimento da pasta de gesso, conferindo a propriedade física de resistência mecânica do material. Nessa etapa o material passa de uma pasta viscoelástica para um sólido duro.

A pega inicia-se com a cristalização dos núcleos de gipsita e sua precipitação, aumentando sua consistência da pasta do gesso que após o primeiro contato com a água dura entre 10 a 15 minutos para solidificar. Esse processo segue até o endurecimento por completo, onde o material adquire sua maior resistência mecânica no final da pega.

2.4 Aplicações da gipsita e do gesso

O gesso é um dos materiais que, com a tecnologia, apresenta grande importância para a sociedade por se enquadrar no processo de desenvolvimento sustentável em diversos segmentos da sociedade.

- Indústria da construção civil;
- Indústria do cimento;
- Indústria cerâmica;
- Indústria metalúrgica;
- Área medico-odontológica;
- Artistas (moldes);
- Isolamento termo acústico.

A maior aplicação do gesso é na indústria da construção civil sendo comum ser utilizado no revestimento de paredes, placas, blocos, painéis, etc, onde pode ser utilizado como alternativa em relação a outros materiais como a cal, o cimento, a alvenaria e a madeira. É também muito utilizado na confecção de moldes para as indústrias cerâmica, metalúrgica e de plásticos. Por sua resistência ao fogo é empregado na confecção de portas corta-fogo. Com uma mistura de gesso e

amianto, são confeccionados isolantes para cobertura de tubulações e caldeiras, enquanto isolantes acústicos são produzidos com a adição de material poroso ao gesso, conforme demonstrado na Figura 9 exemplo de mistura de massa do pó de gesso utilizando a norma técnica NBR 12128 que determina as propriedades físicas da pasta de gesso com método de ensaio e tempo de pega utilizando aparelho vicat.

Figura 9 – Mistura de massa pó de gesso com água.



Fonte: Faz Fácil, (2017).

Após fabricação da pasta de gesso poderá ser moldada com uma infinidade e diversos tipos diferentes sendo injetada ou introduzida nos moldes pré-fabricados e devido a sua capacidade maleável pode se tornar uma placa de gesso, que são confeccionados servindo de cobertura de tubulações conforme demonstrado na Figura 10 a aplicação com instalação de placas de gesso.

Figura 10 – Aplicação do forro de gesso em reformas de apartamentos.



Fonte: Ketlin Schaiane Rosso, (2016).

O gesso é usado para dar acabamento às paredes de alvenaria, dispensando o reboco e massa corrida. Com isso há um ganho em rapidez para execução do serviço e na redução do desperdício de material. Isto compensa o preço final do produto. Depois de aplicado o gesso, a parede está pronta para ser pintada, e, no caso da alvenaria, a argamassa tem que ser coberta por gesso ou por massa corrida, para receber a pintura. De uma só vez o gesso pode substituir o chapisco, o emboço e o reboco de um revestimento interno, o que significa economia de mão-de-obra e de material, conforme demonstrado na Figura 11 temos a aplicação de pasta de gesso diretamente na parede construída com blocos de cimentos estruturais.

Figura 11 – Parede rebocada revestimento com gesso diretamente na alvenaria.



Fonte: Lucas Valadão, (2019).

O acabamento quanto à lisura da superfície nas placas da Figura 12 é muito superior ao de argamassas de cimento e cal, proporcionando uma base super adequada para a pintura. A alta porosidade do revestimento em gesso vai permitir um isolamento térmico e acústico, enquanto que a baixa condutividade térmica do material e sua incombustibilidade conferem-lhe a vantagem da resistência ao fogo.

Figura 12 – Placas pre moldadas de gesso com isolamento térmico e acústico.



Fonte: Sul módulos, (2019).

O gesso apresenta retração insignificante em relação às argamassas de cimento e cal mal dosadas, o que gera fissuras, causando descolamento do revestimento. Além disso, possui uma alta durabilidade quando aplicado em interiores e estudos estão sendo realizados para tornar esse material pouco permeável, através da mistura com aditivos, o que possibilitará sua utilização em exteriores. Apresentamos a Tabela 1 com os principais usos do gesso no Brasil.

Tabela 1 - Principais usos comerciais do gesso tipo beta no Brasil.

Aplicação	Consumo
Pré-moldados	61%
Revestimento	35%
Moldes cerâmicos	3%
Outros	1%

Fonte: A. A. Barbosa, gesso tipo beta (2014).

2.5 Geração de resíduos

Mundialmente, os resíduos da construção civil se diversificam muito, devido à peculiaridades dos sistemas construtivos de cada país, a produção de resíduos da construção civil pode atingir uma taxa de geração de 10 à 39 kg/m² de área construída sendo que estima-se que o desperdício de gesso na indústria da construção civil é de 45%, enquanto os fabricantes do gesso em pó estimam perdas de 30% da massa do gesso. Esta taxa varia conforme o tipo construção, seja ela uma residência ou um prédio. (CAVALCANTE, 2011).

Conforme demonstrado na Figura 13 tirada pelo próprio autor deste trabalho de conclusão de curso temos uma reforma de uma loja comercial localizado no bairro do renascença na cidade de São Luís - MA com aproximadamente 20 metros quadrados de área de reforma gerando 235 kilos de material de resíduo solido atingindo a taxa de geração de 11,75 kg/m².

Figura 13 – Resíduo de gesso em frente loja comercial em São Luís – MA.



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor, (2019).

Segundo CAVALCANTE, (2011) informa que o desperdício aproximado de gesso na indústria da construção civil é de 45%, enquanto os fabricantes do gesso em pó estimam perdas em torno de 30% da massa de gesso.

Outra amostragem foi registrado na Figura 14 tirada pelo próprio autor deste trabalho de conclusão de curso temos uma reforma de uma loja comercial localizado no bairro do renascença na cidade de São Luís - MA com aproximadamente 67 metros quadrados de área de reforma gerando 892 kilos de material de resíduo sólido atingindo a taxa de geração de 13,31 kg/m².

Figura 14 – Resíduo de gesso na rua de São Luís-MA.



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor, (2019).

Em ordem de importância, pelo volume de resíduos gerados nas obras, estão os seguintes materiais produzidos à base de gesso: gesso para revestimento; placas e ornamentos de gesso fundido; chapas para drywall; e massas para tratamento de juntas de sistemas drywall. Conforme demonstrado na Figura 15 tirada pelo próprio autor temos resíduos de placas de gesso.

Figura 15 – Resíduo de placas de gesso.



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor, (2019)

A gestão destes resíduos de gesso, da mesma forma que ocorre com outros materiais empregados nos canteiros de obras, passou a demandar atenção cada vez maior dos construtores, em razão das rigorosas exigências da legislação ambiental brasileira. A construção civil apesar de seus reconhecidos impactos socioeconômico para o país, ela ainda carece de uma firme política para a destinação de seus resíduos sólidos, principalmente em centros urbanos, bem como a destinação desses resíduos sólidos, o transporte, a coleta e a armazenagem conforme a foto da Figura 16, Figura 17 e Figura 18.

Figura 16 – Resíduo gesso em contêineres de empresas em São Luís-MA



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor, (2019).

Figura 17 – Resíduo gesso em contêineres de universidades em São Luís-MA



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor, (2020).

Figura 18 – Resíduo gesso em contêineres de Condomínios em São Luís-MA



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor, (2020).

A geração de resíduo de gesso de construção representa um problema econômico com graves consequências e impacto ambiental ecológico. Estes resíduos sólidos que acabam em aterros sanitários ou são depositados de forma irregular em terrenos baldios ou jogados nas calçadas conforme Figura 19 e no meio

da rua contaminam o meio ambiente, pois o gesso é um material tóxico que libera íons Ca^{2+} e SO_4 .

Figura 19 – Resíduo gesso loja bairro Vicente Fialho em São Luís-MA



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor, (2020).

2.6 Potenciais aplicações dos resíduos

Desde a década de 90 a utilização das tecnologias em gesso vem crescendo cada vez mais na construção civil e, proporcionalmente, a quantidade de resíduo gerado também. Logo, a questão ambiental ficou mais forte e assim foi criado pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA a resolução nº 431/11 estabelecendo uma nova classificação para o gesso (Classe B - Resíduos recicláveis) que deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura. A resolução CONAMA nº 448/12 estabelece que os municípios e o Distrito Federal elaborem seus Planos Municipais de Gestão de Resíduos de Construção Civil. O reuso e reciclagem de resíduos em especial o reaproveitamento de resíduos inertes da construção civil. No entanto, apesar do incentivo, não se vê algo de concreto sendo feito para que isto ocorra. A lei existe, porém, a fiscalização

sobre a destinação dos resíduos gerados nas construções ainda não tem força em nosso município.

Pesquisados métodos de reciclagem do gesso, avançou-se de forma significativa em pelo menos três frentes para o reaproveitamento desse material, descritas a seguir:

Indústria cimenteira, para a qual o resíduo do gesso (gipsita) é um ingrediente útil e necessário, que atua como retardador de pega do cimento;

Setor agrícola, no qual o resíduo do gesso (gipsita) é utilizado como corretivo da acidez do solo e na melhoria das características deste;

Indústria de transformação do gesso, que pode reincorporar seus resíduos, em certa proporção, em seus processos de produção (opção muito pouco utilizada, na prática) após processo de calcinação (decomposição a quente) da gipsita. Nessa reação, o mineral, cuja fórmula é $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (sulfato de cálcio bi-hidratado) perde uma molécula e meia de água, transformando-se em gesso, cuja fórmula é $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ (sulfato de cálcio hemi-hidratado).

Essas três frentes de reaproveitamento foram largamente testadas, sendo não só tecnicamente possíveis, como economicamente viáveis. Portanto, representam importantes contribuições à sustentabilidade da construção civil brasileira.

2.7 Indústria de transformação do gesso

Pode-se observar no processo de fabricação a diferença de trabalhabilidade entre o gesso comercial e o reciclado, que apresenta maior dificuldade na mistura e na moldagem da placa. A mistura das pastas de gesso reciclado não pode ser realizada mecanicamente porque o pó se mantém em suspensão, dificultando sua incorporação na água, cuja mistura apresentou um aspecto cremoso, e não o aspecto líquido da pasta de gesso comercial. As pastas mistas foram misturadas utilizando os dois processos, mistura manual por um minuto e igual tempo com o uso de misturadores e vibradores, que podem ser moldadas em pré-formas transformadas em placas com tamanhos e dimensões padronizados conforme demonstrado na Figura 20 e Figura 21, e também podem ser pré-moldados em blocos e utilizados como divisórias e paredes separando ambientes, podendo ser armazenadas e estocadas em pilhas e fileiras de modo que o peso não

poderá ultrapassar a sua capacidade de resistência mecânica padronizado por norma NBR 12129 ou em caso de utilização em blocos seguindo as normas da diretriz sinat 008 com resistência do bloco em 2,5 mpa.

Figura 20 – Placas de gesso para forro com comprimento 60cm e largura 60cm.



Fonte: Lamark Placas, (2018).

Figura 21 – Blocos de gesso pátio UNDB de comprimento 60cm e largura 60cm.



Fonte: Arquivo pessoal autor (2020).

Os blocos pré moldados feitos de gesso substituí os materiais convencionais, como blocos de cimento ou blocos cerâmicos na construção de paredes internas conforme demonstrado na Figura 22 que não tenham contato com água ou ambientes muito húmidos e que não sejam portantes, ao qual devem ser dimensionados para que não seja exigido forças de cargas ou sobrepesos acima de 2,5 mpa conforme a norma diretriz sinat 008.

Figura 22 – Blocos gesso utilizado para marcação da parede pátio UNDB.



Fonte: Arquivo pessoal autor (2020).

Os estudos realizados indicam que o gesso é tecnicamente reciclável e que é possível a sua utilização na produção de placas de forro. As placas produzidas com gesso reciclado apresentaram aspectos de cor e resistência física e mecânica compatível com a obtida com o gesso comercial. As características físicas e mecânicas do gesso reciclado, de forma geral, são compatíveis ou superiores às do gesso comercial. As pastas de gesso reciclado, por apresentar um aspecto mais viscoso, confere-lhe maior trabalhabilidade. Assim, a melhor utilização do gesso reciclado puro é em indústrias de grande porte, que possuam equipamentos

adequados, ou em indústrias que produzem placas de grandes dimensões, como as de painéis de parede com aspectos decorativos conforme bem demonstrado na Figura 23.

Figura 23 – Painel decorativo com material de gesso.



Fonte: Decor Fácil, (2020).

Outra forma de utilização do gesso reciclado beta é na produção de elementos complementares, como rodafornos e sancas, que utilizam pastas com maior consistência. Para as pequenas indústrias, que possuem equipamentos similares aos empregados nesta pesquisa, a melhor forma de utilização do gesso reciclado é elaborando a moagem e depois a calcinação do gesso em pastas mistas com o gesso comercial, que melhoram a trabalhabilidade da pasta, conferindo-lhe maior fluidez, porém diminui a resistência mecânica dependendo da calcinação efetiva e o percentual da mistura deixando-a com aspecto próximo daquele obtido com o gesso comercial puro.

Deve ser utilizado o pó de gesso Figura 24 para fazer a pasta da amostra de gesso respeitando as propriedades físicas da pasta conforme a norma técnica NBR 12128 a fim de determinar a sua consistência e o tempo de pega do gesso reciclado.

Figura 24 – Pó de gesso.



Fonte: Alibaba, (2020).

Como mencionado, ainda essa opção de transformação de gesso é pouco utilizada, então precisamos de mais iniciativas para a preservação dos recursos naturais, que aparentemente eram vistos como ilimitados. Assim, a melhor opção era a da exploração, sem qualquer preocupação com a reciclagem, sendo que hoje sabe-se que a realidade é diferente.

Outro exemplo que pode ser utilizado a reciclagem é o reaproveitamento do gesso é nos moldes dentários odontológicos conforme exemplo na Figura 25.

Figura 25 – Molde odontológico feito de gesso vista lateral.



Fonte: Edisciplinas USP, (2020).

3. METODOLOGIA

Coleta de dados

Os dados e as amostras para esta pesquisa foram coletados e classificada como qualitativa, de caráter exploratório e analítico, foi realizada por meio de pesquisas bibliográficas, de campo e ensaios laboratoriais. As amostras de gesso reciclado produzido em escala piloto foram analisadas quanto aos parâmetros físico-químicos:

- Granulometria (NBR 12127).
- massa unitária (NBR 12127) maior que 600,00 kg/m³.
- tempo de pega (NBR 12128) vide tabela.

E quanto aos parâmetros mecânicos:

- dureza (NBR 12129).
- resistência à compressão, conforme diretriz sinat 008, maior que 2,5 mpa.

Local de estudo

Esta pesquisa é classificada como qualitativa, de caráter exploratório e analítico, foi realizada por meio de pesquisas bibliográficas, de campo e laboratoriais.

A etapa de campo consistiu na busca de informações dos locais de disposição dos resíduos de gesso no município de São Luís-MA, sobre a destinação atual, nos órgãos fiscalizadores do município. Esta etapa também compreendeu a coleta de amostras no Condomínio Planta Tower que ocorreram no período de 15 de agosto de 2020 a 02 setembro de 2020, com o acompanhamento da equipe de administração do condomínio.

A produção do gesso reciclado, em escala piloto, foi realizada nas instalações do laboratório da UNDB, em São Luís-MA. Os ensaios foram desenvolvidos no Laboratório de Solos conforme a Figura 26 e Figura 27, que funciona nas dependências da UNDB. Os ensaios realizados para a determinação das características dos materiais foram embasados nas normas técnicas ABNT pertinentes: ABNT NBR 13207:1994 Gesso para construção civil - Requisitos; ABNT

NBR 12129:2019 Gesso para construção civil — Determinação das propriedades mecânicas; ABNT NBR 12128:1991 Gesso para construção civil — Determinação das propriedades físicas da pasta de gesso; ABNT NBR 12127:1991 Gesso para construção civil — Determinação das propriedades físicas do pó. Para a realização deste estudo foram utilizados resíduos de gesso da construção civil, mostrados na Figura 1, oriundos de resíduos de reformas em salas comerciais a execução de paredes de vedações verticais com blocos de revestimentos com gesso descartados no Condomínio Planta Tower e realizados no laboratório de solos da UNDB conforme Figura 26 e fotos internas do laboratório com alguns equipamentos que foram utilizados conforme Figura 27.

Figura 26 – Foto da entrada do laboratório de solos da UNDB.



Fonte: Arquivo pessoal do autor (2020)

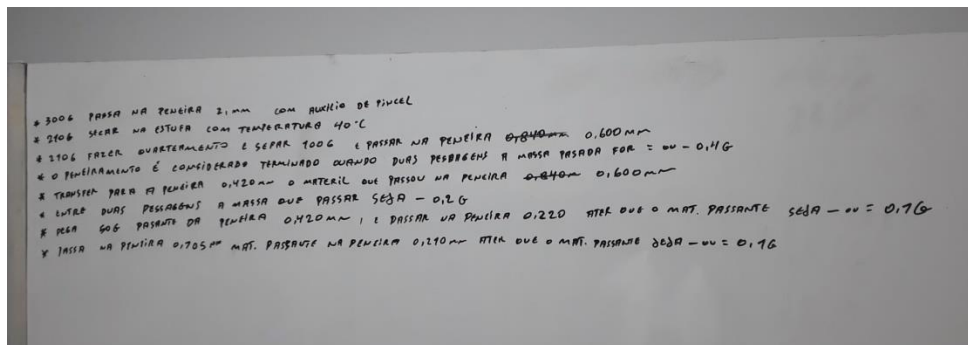
Figura 27 – Foto interna do laboratório de solos da UNDB.



Fonte: Foto arquivo pessoal do autor (2020).

A primeira etapa realizada no ensaio laboratorial no dia 23 de novembro de 2020 foi a preparação do material e das etapas escrita com pincel em quadro branco conforme Figura 28 para organização e preparação para a realização dos trabalhos a serem realizados ensaios com 03 amostras de gesso reciclados, sendo amostra A de gesso reciclado em estado natural, a amostra B de gesso reciclado com calcinação de 2 horas e a amostra C de gesso reciclado com calcinação de 24 horas e a organização das etapas e ensaios a serem realizados.

Figura 28 – Quadro branco escrito com pincel preto etapas e ensaios.



Fonte: Foto arquivo pessoal do autor (2020).

3.1 Ensaio de granulometria

No dia 24 de novembro de 2020 foi realizado o início dos ensaios para granulometria com o uso das peneiras formando a análise granulométrica das três amostras pesadas em 300g conforme a norma NBR 12127 (ABNT) utilizando as peneiras que aparecem na Figura 29 e a balança da marca marte slim que aparece na Figura 30 aferida em 03/09/2019 para pesagem dos ensaios e a massa unitária sendo maior ou igual a 600Kg/m³ conforme os parâmetros da norma NBR 13207/1994 (ABNT).

Figura 29 – Peneiras a serem utilizadas nos ensaios de granulometria.



Fonte: Foto arquivo pessoal do autor (2020)

Conforme feito o levantamento e coletado os dados dos ensaios, podemos observar que os resultados nas Tabelas 2, 3 e 4 o peso do resíduo entre as peneiras são similares, fazendo a observação que tanto o processo de calcinação

de 2 horas quanto o processo de calcinação de 24 horas não alterou o tamanho da partícula do gesso reciclado.

Logo abaixo temos a Tabela 2 que realizou a coleta de dados da Amostra A de gesso reciclado em estado natural.

Tabela 2 – Ensaio de granulometria amostra A de gesso reciclado natural.

Nº.das Peneiras mm	Peso Peneiras Vazias g	Peso Peneira e Material g	Peso do resíduo g	Acumulado Resíduo %	Peso da amostra g
0,600	344	346	2	2	100
0,420	329	338	9	11	100
0,200	296	323	27	38	100
0,150	300	361	61	99	100

Fonte: Dados coletados autor (2020)

Logo abaixo temos a Tabela 3 que realizou a coleta de dados da Amostra B de gesso reciclado em calcinação de 2 horas, observa-se que não houve alteração do tamanho das partículas de gesso em relação a Amostra A do gesso reciclado em estado natural.

Tabela 3 – Ensaio de granulometria amostra B de gesso reciclado calcinação 2 horas.

Nº.das Peneiras mm	Peso Peneiras Vazias g	Peso Peneira e Material g	Peso do resíduo g	Acumulado Resíduo %	Peso da amostra g
0,600	344	345	1	1	100
0,420	329	339	10	11	100
0,200	296	321	25	36	100
0,150	300	360	60	96	100

Fonte: Dados coletados autor (2020)

Logo abaixo temos a Tabela 4 que realizou a coleta de dados da Amostra C de gesso reciclado em calcinação de 24 horas, observa-se que não houve

alteração do tamanho das partículas de gesso em relação a Amostra A do gesso reciclado em estado natural.

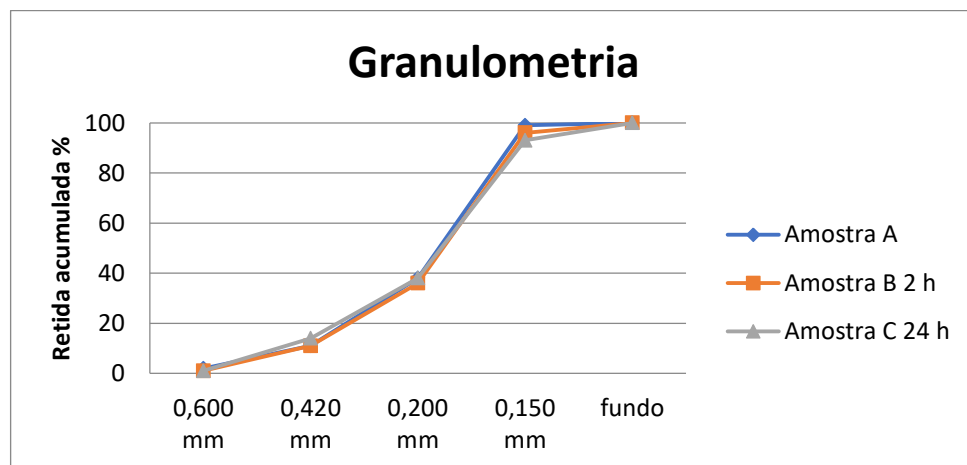
Tabela 4 – Ensaios de granulometria amostra C de gesso reciclado calcinação 24 horas.

Nº.das Peneiras mm	Peso Peneiras Vazias g	Peso Peneira e Material g	Peso do resíduo g	Acumulado Resíduo %	Peso da amostra g
0,600	344	345	1	1	100
0,420	329	342	13	14	100
0,200	296	320	24	38	100
0,150	300	355	55	93	100

Fonte: Dados coletados autor (2020)

Conforme demonstrado no Gráfico 1 de curva granulométrica observa-se que a granulometria entre as amostras são semelhantes não alterando substancialmente o tamanho da partícula entre o peneiramento dos ensaios das amostras A, B e C.

Gráfico 1 – Curva granulométrica das amostras A, B e C de gesso.



Fonte: Dados coletados autor (2020)

Figura 30 – Procedimento de pesagem ensaios de granulometria.



Fonte: Foto arquivo pessoal do autor (2020)

Conforme determina a norma, deve-se observar a pesagem das peneiras e do resíduo que se encontra na peneira conforme a Figura 31 registrando o peso da peneira antes de realizar cada ensaio e após realizar cada ensaio para que seja determinado o percentual da quantidade de resíduo retido em cada peneira.

Figura 31 – Pesagem da amostra 300g para realizar os ensaios.



Fonte: Foto arquivo pessoal do autor (2020).

Logo abaixo temos a Figura 32 registrando o procedimento de quarterizar seguindo os padrões da norma NBR 12127.

Figura 32 – Quarterizar conforme NBR 12127 para os ensaios.



Fonte: Foto arquivo pessoal do autor (2020).

3.1.1 Ensaio de granulometria peneiras 0,600 mm e 0,420 mm

$$R = \frac{m}{M} \times 100 \quad \text{Peneira 0,600 mm} = \frac{1}{100} \times 100 = 1 \% \quad \text{Eq.(02)}$$

$$\text{Peneira 0,420 mm} = \frac{10}{100} \times 100 = 10 \%$$

3.1.2 Ensaio de granulometria peneiras 0,200 mm e 0,150 mm.

$$\text{Peneiras 0,200mm ; } D = \frac{100 - (10 + 1)}{100}$$

$$R = \frac{m}{M_1} \times D \times 100 \quad \text{Peneira 0,200 mm} = \frac{25}{89} \times 0,89 \times 100 = 25\%$$

$$\text{Peneira } 0,150 \text{ mm} = \frac{60}{89} \times 0,89 \times 100 = 60\%$$

3.2 Ensaio de massa unitária

No dia 25 de novembro de 2020 foi dado início ao ensaio de massa unitária conforme a norma NBR 13207/2017 que deve ser maior ou igual a 600 kg/m³.

Dessa forma, segundo a NBR 13207/2017 será feito o cálculo pela fórmula: (1)

$$Mu = \frac{M}{V} \times 1000 (1)$$

Onde:

Mu = massa unitária, em quilograma por metro cúbico

M = massa do gesso, em gramas

V = volume do recipiente, em centímetro cúbico

Assim, a massa unitária, com base na norma, deve ser maior que $\geq 600 \text{ Kg/m}^3$.

$$Mu = \frac{300}{12 \times 3,5 \times 3,5} \times 1000 = 2.040,82 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{Eq.(03)}$$

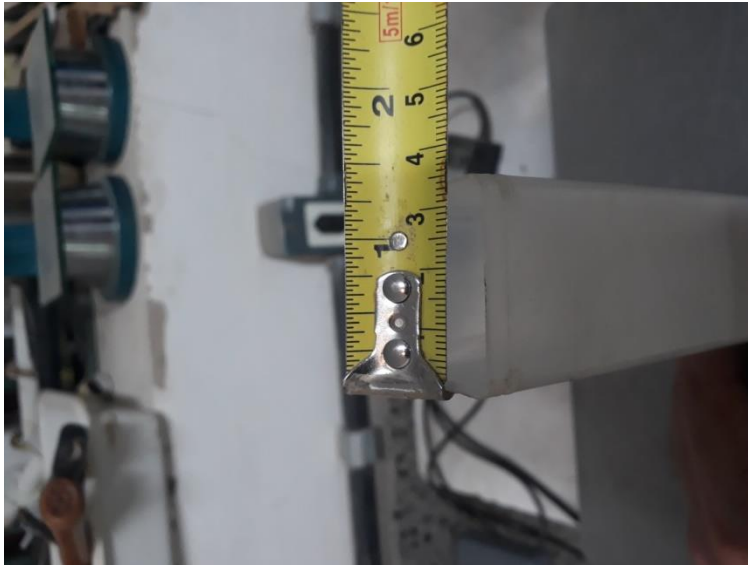
O resultado atende a norma NBR13207/2017, conforme demonstrado e medido volume do recipiente conforme a Figura 33 e Figura 34.

Figura 33 – Medição recipiente massa unitária 12 cm.



Fonte: Foto arquivo pessoal do autor (2020).

Figura 34 – Medição recipiente massa unitária quadrado de 3,5 cm por lado.

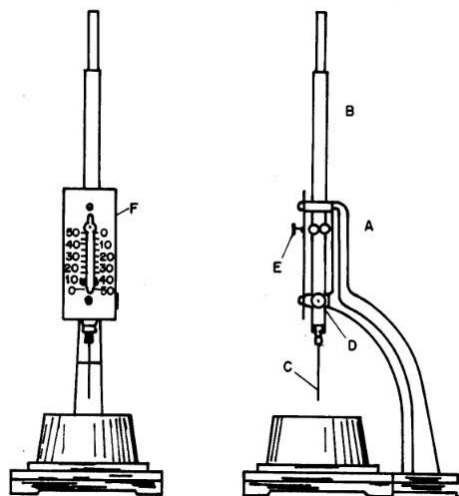


Fonte: Foto arquivo pessoal do autor (2020).

3.3 Ensaio de tempo de pega

No dia 27 de novembro de 2020 foi iniciado os ensaios das propriedades físicas da pasta de gesso seguindo a norma NBR 12128 (ABNT) determinando o tempo de pega exercidos nas amostras utilizando o aparelho de vicat do laboratório de solos da faculdade UNDB com agulha de 1,13 mm Figura 35 item C e a massa total da haste de 300g conforme demonstrado na Figura 35 item B.

Figura 35 – Aparelho de Vivat realizar ensaio tempo de pega.



Fonte: NBR 12128:1991

Figura 36 – Aparelho de Vivat laboratório de solos da UNDB.



Fonte: Foto arquivo pessoal do autor (2020).

Após a caracterização, a pasta do corpo sólido de gesso foi preparada conforme proposto pela NBR 12128 (ABNT, 1991): propriedades físicas da pasta com polvilhamento do pó de gesso sobre a água durante 1 min; repouso da suspensão por 2 min; e mistura da pasta durante 1 min. Logo após a mistura das pastas, os moldes foram preenchidos lentamente, em camadas, para evitar o aprisionamento do ar na pasta durante a operação. A compactação de cada camada foi efetuada manualmente com golpes desferidos com espátula, após a moldagem, os corpos de prova foram nivelados nos moldes. Os fatores considerados foram razão em massa água/gesso ($a/g = 0,5$). As variáveis avaliadas foram tempo de pega. A determinação do tempo de pega foi realizado pelo método utilizando o aparelho Vicat que está proposto pela norma NBR 12128 (ABNT, 1991), realizando medições de ensaios de penetração com diâmetro da agulha = 1,13 mm de espessura e massa total da haste = 300g e fazendo aferições no cronometro para medir o tempo de pega.

Para realização e aferição do tempo de pega utilizamos aparelho de vicat e nas amostras a quantidade de 300 gramas de gesso para 150 ml de água destilada.

Após realizar os ensaios utilizando a razão o traço de razão em massa água/gesso ($a/g = 0,5$), sendo utilizado 300g da amostra com 150 ml de água destilada. Para determinar o tempo de pega das amostras produzimos a Tabela 5 logo abaixo com os resultados coletados e obtidos seguindo a norma NBR 12128 (ABNT) determinando o tempo de pega exercido por cada amostra individualmente, entretanto cabe ressaltar que não foi possível determinar o tempo de pega para a amostra A de gesso reciclado natural ficou indefinido devido a sua incapacidade de endurecer, ficar rígido e formar a pega permanecendo em seu estado de pasta mole.

Tabela 5 – Ensaio de tempo de pega duração com as amostras A, B e C.

Amostras	Tempo pega Inicial (h:min:s)	Tempo pega Final (h:min:s)	Duração da Pega
Amostra A Natural	00:15:36	-	indefinido
Amostra B - 02h	00:09:10	00:14:46	00:05:36
Amostra C - 24h	00:05:22	00:10:11	00:04:49

Fonte: Dados coletados autor (2020)

3.4 Ensaio de dureza

No dia 27 de novembro de 2020 foi finalizado o ensaio para determinar as propriedades físicas da pasta com tempo de pega e foi iniciado a etapa nos testes de dureza e no desenvolvimento experimental de caracterizar a dureza do gesso beta (sulfato de cálcio hemidratado). A pasta do corpo sólido de gesso foi preparada conforme proposto pela NBR 12128 (ABNT, 1991): propriedades físicas da pasta com polvilhamento do pó de gesso sobre a água durante 1 min; repouso da suspensão por 2 min; e mistura da pasta durante 1 min. Logo após a mistura das pastas, os moldes foram preenchidos lentamente, em camadas, para evitar o aprisionamento do ar na pasta durante a operação. A compactação de cada camada foi efetuada manualmente com golpes desferidos com espátula, após a moldagem, os corpos de prova foram nivelados nos moldes. Os fatores considerados foram

razão em massa água/gesso (a/g = 0,5). Para realização e aferição da dureza utilizamos aparelho SOLOTEST Figura 37, encontrado nas instalações do laboratório de solos da UNDB e feito as amostras a quantidade de 300 gramas de gesso para 150 ml de água destilada.

Figura 37 - Aparelho SOLOTEST realizar ensaio dureza e compressão.



Fonte: Foto arquivo pessoal do autor (2020).

Conforme temos logo abaixo na Figura 38 a medição da esfera de ferro com paquímetro com resultado de 18 mm de circunferência da esfera.

Figura 38 – Medição da esfera teste dureza com paquímetro.



Fonte: Foto arquivo pessoal do autor (2020).

Conforme norma ABNT NBR 12129 para se calcular a dureza utiliza-se a expressão logo abaixo com resultado de dureza em Newtons por milímetro quadrado, é dada conforme abaixo:

$$D = \frac{F}{\pi \times \theta \times t} \quad \text{Eq.(04)}$$

Onde F é a carga expressa em Newton, θ é o diâmetro da esfera em milímetros e t é a medida de profundidade, expressa em milímetros.

Amostra A gesso reciclado

$$D = \frac{0}{3,14 \times 18 \times 1} = \frac{0}{56,52} = 0 \text{ N/mm}^2 \text{ Não foi possível determinar dureza.}$$

Amostra B gesso reciclado com calcinação 2 horas.

$$D = \frac{578}{3,14 \times 18 \times 1} = \frac{578}{56,52} = 10,22 \text{ N/mm}^2$$

$$D = \frac{520}{3,14 \times 18 \times 1} = \frac{520}{56,52} = 9,20 \text{ N/mm}^2$$

$$D = \frac{551}{3,14 \times 18 \times 1} = \frac{520}{56,52} = 9,75 \text{ N/mm}^2$$

Amostra C gesso reciclado com calcinação 24 horas..

$$D = \frac{924}{3,14 \times 18 \times 1} = \frac{924}{56,52} = 16,35 \text{ N/mm}^2$$

$$D = \frac{953}{3,14 \times 18 \times 1} = \frac{953}{56,52} = 16,86 \text{ N/mm}^2$$

$$D = \frac{949}{3,14 \times 18 \times 1} = \frac{949}{56,52} = 16,79 \text{ N/mm}^2$$

Após realizar os ensaios utilizando a razão o traço de razão em massa água/gesso ($a/g = 0,5$), sendo utilizado 300g da amostra com 150 ml de água destilada. Para determinar a dureza das amostras produzimos a Tabela 6 logo abaixo com os resultados coletados e obtidos seguindo a norma NBR 12129 (ABNT) determinando a dureza para cada amostra individualmente, entretanto cabe ressaltar que não foi possível determinar a dureza para a amostra A de gesso reciclado natural ficou indefinido devido a sua incapacidade de endurecer, ficar rígido e formar a dureza necessária permanecendo em seu estado de pasta mole

Tabela 6 – Ensaio de dureza das amostras A, B e C.

Amostras	Força	Profundidade	Dureza
Amostra A Natural	0	-	indefinido
Amostra B 02 h	578	1 mm	10,22 N/mm ²
Amostra C 24h	924	1 mm	16,35 N/mm ²

Fonte: Dados coletados autor (2020)

Figura 39 – Configuração aparelho SOLOTEST compressão força 50N.



Fonte: Foto arquivo pessoal do autor (2020).

Figura 40 – Resultado do aparelho SOLOTEST amostra B com 02 horas.



Fonte: Foto arquivo pessoal do autor (2020).

Figura 41 – Resultado do aparelho SOLOTEST amostra C com 24 horas.



Fonte: Foto arquivo pessoal do autor (2020).

Conforme demonstrado logo abaixo uma imagem do resultado do teste de dureza permanecendo 1 mm de profundidade da esfera no molde de gesso reciclado.

Figura 42 – Teste de dureza causando ondulação no gesso.



Fonte: Foto arquivo pessoal autor (2020).

3.5 Ensaio de resistência compressão

Após realizar os ensaios utilizando a razão o traço de razão em massa água/gesso ($a/g = 0,5$), sendo utilizado 300g da amostra com 150 ml de água destilada. Para determinar a resistência mecânica das amostras produzimos a Tabela 7 com a média dos resultados coletados e obtidos determinando a resistência a compressão para cada amostra individualmente, entretanto cabe ressaltar que não foi possível determinar a resistência a compressão para a amostra A de gesso reciclado natural ficou indefinido devido a sua incapacidade de endurecer, ficar rígido e formar a dureza necessária permanecendo em seu estado de pasta mole.

Tabela 7 – Média dos ensaios de resistência a compressão das amostras A, B e C.

Amostras	Resistência Média	Força Média
Amostra A Natural	-	-
Amostra B 02h	0,389	0,765
Amostra C 24h	0,613	1,022

Fonte: Dados coletados autor (2020)

Abaixo temos a Tabela 8 dos ensaios de resistência a compressão da amostra B com tempo de calcinação de 2 horas com temperatura constante de 160 °C e misturando o gesso reciclado em percentual de acordo com numeração da amostra.

Tabela 8 – Ensaio de resistência a compressão da amostra B com calcinação 2 horas.

Amostra	Peso Desforma	Peso Rompimento	Resistência mpa	Força Carga Kn
B 0 %	313g	284g	0,515	1,011
B 10 %	274g	248g	0,375	0,749
B 20 %	269g	247g	0,368	0,722
B 30 %	264g	243g	0,382	0,751
B 40 %	282g	260g	0,368	0,722
B 50 %	299g	274g	0,324	0,635

Fonte: Dados coletados autor (2020)

Abaixo temos a Tabela 9 dos ensaios de resistência a compressão da amostra C com tempo de calcinação de 24 horas com temperatura constante de 160 °C e misturando o gesso reciclado em percentual de acordo com numeração da amostra.

Tabela 9 – Ensaio de resistência a compressão da amostra C com calcinação 24 horas.

Amostra	Peso Desforma	Peso Rompimento	Resistência mpa	Força Carga Kn
C 10 %	269g	207g	0,633	1,242
C 20 %	319g	206g	0,622	1,358
C 30 %	320g	215g	0,616	1,011
C 40 %	317g	216g	0,615	0,953
C 50 %	317g	214g	0,615	0,924
C 60 %	321g	216g	0,608	0,947
C 70 %	314g	222g	0,612	0,962

C 80 %	318g	216g	0,598	0,931
C 90 %	318g	221g	0,603	0,954
C 100 %	312g	218g	0,611	0,944

Fonte: Dados coletados autor (2020)

Abaixo temos a Figura 43 com os moldes do corpo de prova.

Figura 43 – Molde corpo de prova de gesso para as amostras A, B e C.



Fonte: Foto arquivo pessoal autor (2020).

Abaixo temos a Figura 44 com a retirada dos moldes do corpo de prova.

Figura 44 – Corpo de prova de gesso para as amostras A, B e C.



Fonte: Foto arquivo pessoal autor (2020).

4. RESULTADOS E DISCUÇÕES

4.1 Análises das amostras

4.1.1 Granulometria

A granulometria das amostras A, B e C foram determinadas em laboratório e os valores calculados para as amostras do gesso reciclado natural e o gesso calcinados em estufa na temperatura de 160 °C durante o período de 2 horas e de 24 horas é mostrado no Gráfico 1. Foi possível verificar que a granulometria entre as amostras é similar, não ocorrendo grande variação em função da temperatura, onde a maioria do material ficou retido na peneira 0,150 mm.

4.1.2 Massa unitária

$$\text{Mu} = \frac{300}{12 \times 3,5 \times 3,5} \times 1000 = 2.040,82 \text{ Kg/m}^3 \quad \text{Eq.(05)}$$

O resultado atende a norma NBR13207/2017, conforme demonstrado e medido volume do recipiente nas amostras A, B e C., portanto podemos destacar que o efeito da calcinação não tem efeitos significativos para alterar a massa unitária.

4.1.3 Tempo de pega

Foi determinado o tempo de pega das amostras A, B e C conforme demonstrado na Tabela 5 com os resultados coletados e obtidos seguindo a norma NBR 12128 (ABNT) determinando o tempo de pega exercido por cada amostra individualmente, entretanto cabe ressaltar que não foi possível determinar o tempo de pega para a amostra A de gesso reciclado natural ficou indefinido devido a sua

incapacidade de endurecer, ficar rígido e formar a pega permanecendo em seu estado de pasta mole por um longo período de tempo.

4.1.4 Dureza

Após realizar os ensaios utilizando a razão o traço de razão em massa água/gesso ($a/g = 0,5$), sendo utilizado 300g da amostra com 150 ml de água destilada. Para determinar a dureza das amostras produzimos a Tabela 6 com os resultados coletados e obtidos seguindo a norma NBR 12129 (ABNT) determinando a dureza para cada amostra individualmente, entretanto cabe ressaltar que não foi possível determinar a dureza para a amostra A de gesso reciclado natural ficou indefinido devido a sua incapacidade de endurecer, ficar rígido e formar a dureza necessária permanecendo em seu estado de pasta mole, enquanto a amostra B calcinada em 2 horas teve resultado de 10.22 N/mm² e a amostra C calcinada em 24 horas teve resultado de 16.35 N/mm².

4.1.5 Resistência à compressão

Após realizar os ensaios utilizando a razão o traço de razão em massa água/gesso ($a/g = 0,5$), sendo utilizado 300g da amostra com 150 ml de água destilada. Para determinar a resistência mecânica das amostras produzimos a Tabela 7 com os resultados coletados e obtidos seguindo a diretriz sinat 008 determinando a resistência a compressão para cada amostra individualmente, entretanto cabe ressaltar que não foi possível determinar a resistência a compressão para a amostra A de gesso reciclado natural ficou indefinido devido a sua incapacidade de endurecer, ficar rígido e formar a dureza necessária permanecendo em seu estado de pasta mole, a amostra B com 02 horas de calcinação apresentou um resultado de 0,389 mpa e a amostra C com 24 horas de calcinação apresentou um resultado de 0,613 mpa sendo que ambos não estão admitidos pela norma diretriz sinat 008 para blocos de gesso caracteriza uma resistência mecânica de 2,5 mpa. .

4.2 Resultados

Como resultado pode-se observar que as amostras são similares na granulometria independente da calcinação não alterando as dimensões e o tamanho das partículas, o maior percentual de partículas ficou retido na peneira de 0,150 mm a massa unitária também é similar não alterando o seu volume significativamente em cada amostra.

O tempo de pega ficou indeterminado para a amostra A com o gesso sendo reciclado passando por um moedor de forma natural sem passar pelo processo de calcinação temos o tempo de pega variando em até 05 minutos para concluir a pega no momento que iniciou o contato com a água até o final da pega onde a amostra vai permanecer rígida. Vale ressaltar que o tempo de pega diminuiu na amostra C em comparação com a amostra B devido ao aumento do tempo de desidratação na estufa da amostra C que realizou o processo de calcinação por 24 horas e diminuiu o tempo de pega da amostra em aproximadamente 4 minutos.

O resultado de dureza nas amostras que passaram pelo processo de calcinação aumentou na amostra C com 16,35 N/mm² em comparação com a amostra B com 10,22 N/mm², sendo que a amostra A não obteve êxito na realização deste teste de dureza pois ficou prejudicado devido a amostra não ter logrado êxito na solidificação do material permanecendo uma pasta mole por um longo período de tempo.

As médias dos resultados de compressão também tiveram resultados significativos aumento na amostra C que ficou em processo de calcinação de 24 horas conseguiu alcançar uma média de resistência mecânica de 0,613 mpa e a força de 1,022 Kn enquanto que na amostra B que ficou em processo de calcinação de 2 horas conseguiu alcançar uma média de resistência mecânica de 0,389 mpa e a força de 0,765 Kn.

5. CONCLUSÃO

Conforme destacamos ao longo desse trabalho de conclusão de curso vale ressaltar que dependendo da utilização do gesso e o processo de tratamento deste gesso é possível transformar e passando o resíduo de gesso pelo processo de cominuição e calcinação para que seja transformado e poder ser reciclado e reaproveitado desde que atenda a diretriz sinat 008 e as normas NBR 12127 e 12128 e 12129.

Por ser um produto finito o gesso deve ser reciclado e reaproveitado com a reutilização do gesso na fabricação de argamassa com reboco para paredes, na fabricação de revestimentos, na fabricação de placas de forros e blocos para fechamento de alvenaria, sancas de gesso, objetos decorativos, na agricultura para fazer a correção do solo, são diversas as possibilidades desde a área rural até a área residencial, comercial e industrial.

O reaproveitamento do gesso reciclado gera sustentabilidade na cadeia produtiva do gesso no momento que ele é moído e triturado passando através do processo de cominuição, após realizar o procedimento de calcinação ativando novamente o gesso alterando de dihidratado para hemihidratado com 0,5 moléculas de água na composição química conforme demonstrado na equação $\text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$., após esse processo de calcinação o gesso pode ser moldado em bloco, placas ou diluir na argamassa para reboco de parede, gerando uma economia de uso diminuindo a extração da gipsita gerando sustentabilidade.

De acordo com os estudos de laboratórios, após a cominuição, trituração, do gesso e a calcinação por um período de 24 horas, o gesso poderá ser reciclado e reaproveitado desde que atenda tecnicamente as normas NBR 12127, 12128 e 12129.

O gesso pode ser reciclado e reaproveitado de diversas formas, as pesquisas de campo e os estudos laboratoriais deste trabalho de conclusão de curso alinham o pensamento em alternativas de reaproveitamento deste material amplamente encontradas e a viabilidade técnica comprovada nos ensaios laboratoriais.

A utilização do gesso na construção civil vem crescendo conforme a indústria da construção civil avança, numa proporção de 10% a 15% anualmente

exceto no ano de 2017 conforme relatório DNPM e com o aprofundamento da crise na construção civil no ano de 2017 que atingiu fortemente o polo gesso.

O gesso é usado como placas para forros, sancas e molduras, rebaixamento de tetos e como componente do drywall. Quando descartado inadequadamente em aterros, cria sérios problemas ambientais podendo contaminar o solo e o lençol freático pelas características físicas e químicas presentes em sua composição.

O gesso em aterros é um problema, porque acaba criando bolsões e desestabiliza o terreno, além do que pode e deve ser reciclado seguindo assim o conceito de sustentabilidade e atendendo assim à legislação.

A resolução Nº 307 do CONAMA alterou a classificação do gesso para a classe B, passando para a categoria de reciclagem obrigatória, pois o resíduo do gesso dependendo do manuseio pode ser 100% aproveitado.

É preciso mudar os hábitos das empresas construtoras no que diz respeito à reciclagem do gesso, assim como toda obra ou reforma que produz entulho e que não pode ser destinado aos aterros comuns. É comum o resíduo da construção civil não receber a atenção devida. Em termos de volume, é semelhante à quantidade de lixo doméstico.

O construtor deve ter atenção especial na separação do material, pois quando é misturado a outros rejeitos a sua reciclagem é dificultada. Cerca de 3% das placas de drywall e de 20% a 25% do produto comprado para fazer rebaixamentos, sancas e paredes viram rejeitos conforme cartilha da Associação Brasileira dos Fabricantes de chapa drywall.

Deve-se apostar na ideia que sustentabilidade é a palavra dita hoje que terá reflexo amanhã e que todos terão que se adaptar para não sofrerem prejuízos incalculáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FABRICANTES DE CHAPAS DE DRYWALL. **Resíduos de gesso na construção civil – coleta, armazenagem e destinação para reciclagem.** Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/processos/18018FE8/Cartilha_Residuosgesso.pdf>. Acesso em: 26 agosto 2020.

BRASIL, Presidência da República, Casa Civil, Lei n. 12.305 de 2 de Agosto de 2010, Institui a **Política Nacional de Resíduos Sólidos.**

CASTRO, R. **Blocos de concreto para vedação a partir de agregados de resíduos de gesso e concreto: uma contribuição à gestão de resíduos e ao conforto ambiental.** Goiás, 2012.

CAVALCANTE, C.F.B. **Estudo sobre alternativas para a gestão dos resíduos de gesso oriundos da construção civil. Paraná,** 2011. Disponível em: <http://www.cesumar.br/epcc2011/anais/claudio_felipe_boer_cavalcante.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2018.

CONAMA. RESOLUÇÃO Nº 307, DE 5 DE JULHO DE 2002.

CONAMA. RESOLUÇÃO Nº 431, DE 24 DE MAIO DE 2011.

CONAMA. RESOLUÇÃO Nº 348, DE 12 DE JANEIRO DE 2012.

CLIFTON, J. R. **Some aspects of the setting and hardening of gypsum plaster.** Technical Note 755. Washington, DC: National Bureau of Standards, 1973.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO DE MINÉRIO – DNPM: **Gipsita. Sumário Mineral,** 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/pasta-sumario-brasileiro-mineral-2018/gipsita_sm_2018>. Acesso em: 16 de Outubro de 2020.

_____: **NBR 13207: Gesso para construção civil, 1994.**

_____: **NBR 12127: Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas do pó, 1991.**

_____: **NBR 12128: Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas da pasta, 1991.**

_____: **NBR 12129: Gesso para construção – Determinação das propriedades mecânicas, 2019.**

_____: **NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária, massa unitária compactada e seca e do volume de vazios.** Rio de Janeiro, 2006. 8 p. Disponível em: < <https://pt.scribd.com/doc/55654635/NBR-nm-45-2006-agregados-determinacao-da-massaunitaria-e-do-volume-de-vazios>>. Acesso em: 30 maio 2018.

_____: **NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro, 2009. 6 p. Disponível em: <professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/pdf>. Acesso em: 30 maio 2018.

_____: **NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro, 2009. 8 p. Disponível em: <<https://docs.google.com/file/edit>>. Acesso em: 30 maio 2018.

_____: **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003. 6 p. Disponível em: <<https://docs.google.com/file/edit>>. Acesso em: 30 maio 2018.

NASCIMENTO, F.J. **Reaproveitamento de resíduo de gesso.** NEVILLE, A. M.; Brooks, J.J. Tecnologia do concreto. 2. ed., Editora Brookman, Porto Alegre, 2013.

PINHEIRO, S. **Gesso reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes.** Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2011.

SAVI, O. **Produção de placas de forro com a reciclagem de gesso. Dissertação (Mestrado)** – Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Programa de Pósgraduação em Engenharia Urbana. Maringá, 2012.

SIDUSCON-MA. **Custo Unitário Básico do Maranhão Por Metro Quadrado de Área Construída. Maranhão,** 2016. Disponível em: < <https://www.sinduscon-ma.com.br/wp-content/uploads/2020/05/cartilhacub.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2020.

SILVA, R.M. de S. **Estudo de alvenarias e revestimento de gesso reciclado destinado à habitação popular. Dissertação (mestrado)** – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2008.


SINDUSGESSO (Brasil) (Org.) – SINDUSGESSO - **Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não Metálicos do estado de Pernambuco.** 2006. Disponível em:<<http://www.sindusgesso.org.br>> Acesso em: 24 ago. 2020.

SINGH, N. B.; MIDDENDORF, B. Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization. **Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials**, n. 53, p. 57-77, 2007

ANEXOS

Anexo A – Termo de autorização do IFMA, Instituto Federal do Maranhão.

1



UNDB
CENTRO UNIVERSITÁRIO

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIDADE DE ENSINO SUPERIOR DOM BOSCO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DIVULGAÇÃO DE INFORMAÇÕES

IFMA Instituto Federal do Maranhão, campus Monte Castelo: CNPJ nº 10.735.145/0019-13

Endereço completo: Av. Getulio vargas, Nº 04 – Monte Castelo – São Luís – MA. Cep: 65030-005

Representante: Antonio Maia de Oliveira.

Telefone: (98) 98470-9397 - e-mail: amaia@ifma.edu.br

Tipo de produção intelectual: (X) TCC – Trabalho conclusão de curso.

Título/subtítulo: **A RECICLAGEM E A REUTILIZAÇÃO COM O REAPROVEITAMENTO DO GESSO.**

Autor: Mateus Leite Ribeiro Porto - Código de matrícula: 002-007980.

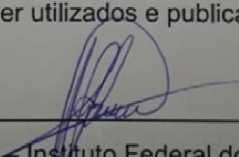
Orientador: Professor Esp. Fernando Luiz Pereira Beckman.

Curso de graduação: Engenharia Civil – UNDB.

DECLARAÇÃO

Como representante do IFMA acima mencionado, declaro que as informações e/ou documentos, imagens, uso de equipamentos no laboratório e amostras de materiais resíduos de gesso disponibilizados pelo IFMA para o trabalho citado foram fornecidos gratuitamente e estão autorizados podendo ser utilizados e publicados sem restrição.

Local e Data: _____



IFMA – Instituto Federal do Maranhão

Antonio Maia de Oliveira
CNPJ nº 10.735.145/0019-13
Matrícula SIAPE Nº 99102.5
Campus São Luís - Monte Castelo

Anexo B – Termo de autorização do Condomínio Planta Tower.

1

UNDB
CENTRO UNIVERSITÁRIO
CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIDADE DE ENSINO SUPERIOR DOM BOSCO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DIVULGAÇÃO DE INFORMAÇÕES
DE EMPRESAS e CONDOMÍNIOS**

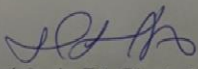
CONDOMÍNIO DO ED. PLANTA TOWER: CNPJ nº 03.585.987/0001-41
Endereço completo: Av. Colares Moreira, Nº 02, Qda 01, Ed. Planta Tower – Renascença II – São Luís – MA.
Representante do Condomínio: Helene Leite Ribeiro Porto – Síndica.
Telefone: (98) 99137-2968 - e-mail: condominioplantatower@gmail.com

Tipo de produção intelectual: (X) TCC – Trabalho conclusão de curso.
Título/subtítulo: A RECICLAGEM E A REUTILIZAÇÃO COM O REAPROVEITAMENTO DO GESSO.
Autor: Mateus Leite Ribeiro Porto - Código de matrícula: 002-007980.
Orientador: Professor Esp. Fernando Luiz Pereira Beckman.
Curso de graduação: Engenharia Civil – UNDB.

DECLARAÇÃO

Como representante do Condomínio acima mencionado, declaro que as informações e/ou documentos, imagens e amostras de materiais resíduos de gesso disponibilizados pelo Condomínio para o trabalho citado foram fornecidos gratuitamente e estão autorizados podendo ser utilizados e publicados sem restrição.

Local e Data: São Luís, 18.08.2020


Condomínio do Ed. Planta Tower
CNPJ nº 03.585.987/0001-41

Anexo C - Formulário ensaios de granulometria amostras de gesso reciclado.

Nº.das Peneiras mm	Peso Peneiras Vazias g	Peso Peneira e Material g	Peso do resíduo g	Acumulado Resíduo %	Peso da amostra g

Anexo D – Formulário de ensaios de resistência a compressão

Amostra	Peso Desforma	Peso	Resistência	Força Carga
		Rompimento	mpa	Kn
C10				
C20				
C30				
C40				
C50				
C60				
C70				
C80				
C90				
C100				

Anexo E – Relatório de Plágio (Contendo citações)



CopySpider
<https://copyspider.com.br/>

Page 2 of 191

Relatório gerado por: mateus_porto@hotmail.com

Arquivos	Termos comuns	Similaridade
TCC2 - MATEUS - Beckman - Reaproveitamento de Gesso - projeto Tcc2 - prof Beckman .docx X http://www.contornospesquisa.org/2012/08/como-referenciar-figuras-imagens-e.html	27	0,23
TCC2 - MATEUS - Beckman - Reaproveitamento de Gesso - projeto Tcc2 - prof Beckman .docx X https://assets.doityourself.com/scat/blueprintsplans	2	0,02
TCC2 - MATEUS - Beckman - Reaproveitamento de Gesso - projeto Tcc2 - prof Beckman .docx X https://home.howstuffworks.com/home-improvement/construction	1	0,01
TCC2 - MATEUS - Beckman - Reaproveitamento de Gesso - projeto Tcc2 - prof Beckman .docx X https://www.thebalancesmb.com/construction-design-4161562	1	0,01
TCC2 - MATEUS - Beckman - Reaproveitamento de Gesso - projeto Tcc2 - prof Beckman .docx X https://www.questionsanswered.net/article/how-find-construction-jobs?ad=dirN&qo=serpIndex&o=740012	1	0,01
TCC2 - MATEUS - Beckman - Reaproveitamento de Gesso - projeto Tcc2 - prof Beckman .docx X https://www.questionsanswered.net/article/do-i-need-construction-permit?ad=dirN&qo=serpIndex&o=740012	0	0
TCC2 - MATEUS - Beckman - Reaproveitamento de Gesso - projeto Tcc2 - prof Beckman .docx X https://www.doccity.com/pt/ciclo-da-producao-de-gesso/4876279	- - Parece que o documento não existe ou não pode ser acessado. HTTP response code: 403 - Server returned HTTP response code: 403 for URL: https://www.doccity.com/pt/ciclo-da-producao-de-gesso/4876279	
TCC2 - MATEUS - Beckman - Reaproveitamento de Gesso - projeto Tcc2 - prof Beckman .docx X https://www.diynetwork.com/shows/under-construction/under-construction2-videos	0	0
TCC2 - MATEUS - Beckman - Reaproveitamento de Gesso - projeto Tcc2 - prof Beckman .docx X https://www.questionsanswered.net/article/how-get-new-construction-permit?ad=dirN&qo=serpIndex&o=740012	0	0
TCC2 - MATEUS - Beckman - Reaproveitamento de Gesso - projeto Tcc2 - prof Beckman .docx X https://www.hgtv.com/lifestyle/real-estate/how-to-buy-in-new-construction	0	0