



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL**

MARA ZELÂNDIA BARBOSA DAMASCENO

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE GESSO DE REVESTIMENTO: UMA
ALTERNATIVA TECNOLÓGICA DE MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS
AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Orientador: Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva
Co-Orientador: Prof. Dr. Rinaldo dos Santos Araújo

FORTALEZA – CE

2013

MARA ZELÂNDIA BARBOSA DAMASCENO

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE GESSO DE REVESTIMENTO: UMA
ALTERNATIVA TECNOLÓGICA DE MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS
AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso
de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão
Ambiental do Instituto Federal do Ceará como
requisito para obtenção do título de Mestre em
Tecnologia e Gestão Ambiental.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva (Orientador)
INSTITUTO FEDERAL DO CEARÁ - IFCE

Prof. Dr. Rinaldo dos Santos Araújo
INSTITUTO FEDERAL DO CEARÁ - IFCE

Prof. Dr. Tássio Francisco Lofti Matos
INSTITUTO FEDERAL DO CEARÁ - IFCE

D155r Damasceno, Mara Zelândia Barbosa.
Reciclagem de resíduos de gesso de revestimento : uma alternativa tecnológica de minimização dos impactos ambientais na construção civil / Mara Zelândia Barbosa Damasceno. - 2013.
108 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Tecnologia em Gestão Ambiental, Campus Fortaleza, 2013.
Orientação: Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva.
Coorientação: Prof. Dr. Rinaldo dos Santos Araújo.

1. Resíduos da Construção Civil. 2. Gesso. 3. Reciclagem. 4. Sustentabilidade Ambiental. I. Título.

CDD 628

A Deus, minha fortaleza.

Aos meus pais, Batista e Antônia, minha inspiração.

À minha família: Mardônio, Aline e Artur, meu refúgio.

A meus irmãos, sobrinhos e amigos que me apoiaram.

AGRADECIMENTOS

A Deus por sua infinita misericórdia que se renova a cada manhã.

A Mardônio, meu esposo, e aos meus filhos, Aline e Artur, que sempre me apoiaram e ajudaram na realização deste trabalho.

Aos meus pais pelos valores quem e passaram ao longo de minha vida.

Aos meus irmãos e sobrinhos por sempre acreditarem em mim.

Ao prof. Adeildo Cabral, pela orientação e amizade.

Ao prof. Rinaldo Araújo, que exercitou o máximo de sua paciência comigo e deu as diretrizes necessárias à construção deste trabalho.

Ao prof. Tássio Lofti, pelas contribuições enriquecedoras ao longo da realização deste trabalho.

A profa. Waleska Elói, pelo auxílio e amizade, que sempre esteve presente na bonança e nas tempestades durante a construção deste trabalho.

Ao prof. Maurício Barreto pelo estímulo e apoio nesta caminhada.

Ao prof. Luiz Coutinho pela compreensão e apoio incondicional a realização deste trabalho.

Ao Laboratório de Materiais de Construção do IFCE, em especial ao Técnico Sabóia e seus bolsistas, que muito me apoiaram na realização dos ensaios de caracterização.

Ao Laboratório de Tecnologia Química, em especial a profa. Mira Raia pelo apoio na realização dos ensaios químicos.

Ao prof. José Ramalho por ter possibilitado a realização dos ensaios de resistência à tração.

Aos colegas Alcimar, Ana Célia e todas as pessoas, que de alguma forma, também contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

A meus irmãos na fé pela força e estímulos que me proporcionaram.

Ao IFCE pela oportunidade que me proporcionou para a realização deste projeto.

“Adquire sabedoria, adquiere inteligência, e não te esqueças, nem te apartes das palavras da minha boca. Não a abandones, e ela te guardará; ama-a, e ela te protegerá.”

Provérbios 4:5-6.

RESUMO

Entre os vários materiais utilizados na construção civil, alguns geram um grande volume de resíduos sólidos reaproveitáveis. Dentre estes, encontra-se o gesso, cujo resíduo é tipicamente caracterizado como material tóxico. O gesso quando destinado a aterros sanitários pode alterar a alcalinidade do solo e contaminar o lençol freático. No Brasil estima-se que o índice de desperdício de gesso seja equivalente a 45% de toda a quantidade utilizada em uma obra ou construção. A Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil define responsabilidade compartilhada entre poder público e empresas e tende a reduzir resíduos sólidos na construção civil, estimulando a reciclagem do material excedente. Neste contexto este trabalho tem como objetivo investigar a reciclagem dos resíduos de gesso de revestimento visando a sua reintegração ao processo produtivo e minimização dos impactos ambientais de sua produção. A metodologia utilizada consistiu na coleta de resíduos de gesso da construção civil seguido de trituração, desidratação em diferentes condições de temperatura (140, 160, 180 e 200 °C) e tempo de residência no tratamento térmico (8, 12 e 24 h) para produção do novo gesso (gesso reciclado). O gesso reciclado obtido em condições ótimas foi caracterizado quanto as suas propriedades físicas (massa unitária, granulometria, relação água/gesso e tempo de pega); químicas (análise composicional) e mecânicas (resistências à compressão e de aderência) segundo as normas padronizadas para o gesso da construção civil. Os resultados obtidos mostraram adequadas correlações do material reciclado quanto aos teores de água livre, água de cristalização, CaO e SO₃. A relação água/gesso estimada foi de 0,39; a qual foi inferior a determinada para o gesso comercial (0,56); enquanto os tempos de pega foram bem inferiores ao determinado pela norma de referência (entre 6 e 10 s), o que pode está ligado à presença de pontos de nucleação gerados pela adição de resíduo ou eventuais impurezas presentes na composição. Por outro lado os valores de resistência à compressão e de aderência para composições entre o gesso reciclado e o gesso comercial (0, 20, 40, 60, 80, 100%) mostraram-se bastantes favoráveis para o gesso reciclado com uma relação água/gesso de 0,70; superando o limite da norma estabelecida e garantindo o uso integral do gesso reciclado em diversas aplicações da construção civil.

Palavras-chave: Resíduos da Construção Civil, Gesso, Reciclagem, Sustentabilidade Ambiental.

ABSTRACT

Between various materials used in building construction few generate a large volume of solid waste reusable. Of these, is the gypsum, which typically is characterized as toxic residue. The gypsum when destined for the landfill can change the alkalinity of the soil and contaminate ground water. In Brazil it is estimated that the rate of waste gypsum is equivalent to 45% of the amount used in a construction. The National Solid Waste in Brazil defines shared responsibility between government and business and tends to reduce solid waste in construction stimulating the recycling of excess material. In this context, this work aims to investigate the recycling of gypsum coating aiming at their reintegration into the manufacturing process and minimizing the environmental impacts of its production. The methodology consisted of the collection of waste gypsum construction followed by milling and dehydration in different temperatures (140, 160, 180 and 200 °C) with residence time in the thermal treatment of the 8, 12 and 24 h to produce new gypsum (recycled gypsum). Recycled gypsum obtained under optimum conditions was characterized for their physical properties (bulk density, particle size, water/gypsum ratio and setting time), chemical properties (compositional analysis) and mechanical properties (compressive and adhesion strengths) in according to the norms established for gypsum construction. The results showed adequate correlations of recycled material for the levels of free water, water of crystallization, CaO and SO₃. The water/gypsum ratio estimate was 0.39; which was lower than that found for commercial gypsum (0.56), while the setting time was inferior to that determined by the reference standard (between 6 and 10 s), which may be linked to the presence of nucleation sites generated by adding any residue or impurities in the composition. On the other hand the values of compressive strength and adhesion to the compositions of recycled gypsum and commercial (0, 20, 40, 60, 80, 100%) proved to be quite favorable for recycled gypsum with water/gypsum of 0.70, exceeding the limit of the standard established and ensuring full use of recycled gypsum in various applications in the industry construction.

Keywords: Waste of building materials, Gypsum, Recycling, Environmental Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Uso do gesso como material construtivo ao longo do tempo.....	25
Figura 2 – Atividades de preparação da matéria-prima para ser submetidas ao processo de calcinação.....	27
Figura 3 – Desmonte secundário e terciário da bancada da Mina Pedra Branca visitada em julho de 2012.....	28
Figura 4 – Setor de britagem da Mina Pedra Branca visitada em julho de 2012.....	28
Figura 5 – Forno panela da fábrica de gesso Chaves visitada em julho de 2012.....	29
Figura 6 – Gesso produzido armazenado em silos e embalado em sacos de papel multifoliado da Fabrica de Gesso Chaves visitada em julho de 2012.....	31
Figura 7 – Hidratação do Gesso.....	35
Figura 8 – Exemplo de curva de calor de hidratação de uma pasta de gesso.....	37
Figura 9 – Influência da utilização de diferentes tipos e teores de retardadores da pega em pastas de gesso.....	39
Figura 10 – Cristais de dihidrato, aumento 8000x (a) e cristais de dihidrato em presença de poliacrilamida, aumento de 6500x (b).....	41
Figura 11 – Aplicação do revestimento em pasta de gesso observado em obra visitada em 2012.....	44
Figura 12 - Forro com placas de gesso observado em obra visitada em 2012.....	48
Figura 13 – Execução de paredes internas com blocos de gesso observado em obra visitada em 2012.....	49
Figura 14 – Execução de divisória interna com placas de gesso para <i>drywall</i> observado em obra visitada em 2012.....	49
Figura 15 – Total de RCD coletados por região no Brasil.....	51
Figura 16 – Nivelamento da superfície e resíduos gerados na aplicação.....	54
Figura 17 – Placas de forro gesso e resíduos gerados durante a execução do forro.....	55
Figura 18 – Resíduos gerados durante os recortes e ajustes dimensionais dos blocos.....	55
Figura 19 – Resíduos gerados durante a execução das divisórias de gesso <i>drywall</i>	56
Figura 20 – Blocos de gesso armazenados em obra visitada em 2012.....	57
Figura 21 – Container de coleta dos resíduos de gesso.....	60
Figura 22 – Destinação inadequada de resíduo de RCD.....	62
Figura 23 – Resíduo de gesso triturado manualmente.....	69

Figura 24 – Equipamento de Abrasão Los Angeles.....	69
Figura 25 – Resíduo de gesso após moagem em equipamento de Abrasão Los Angeles e peneiramento (2 mm).....	70
Figura 26 – Jogo de peneiras relacionadas pela NBR 12127 (ABNT, 1989).....	72
Figura 27 – Aparelho para determinação da massa unitária.....	73
Figura 28 – Determinação da consistência segundo aparelho de Vicat modificado.....	74
Figura 29 – Determinação do tempo de pega em Aparelho Vicat.....	75
Figura 30 – Aparato experimental para as análises química dos gessos.....	75
Figura 31 – Preparação e moldagem dos corpos de prova.....	77
Figura 32 – Máquina universal de ensaios utilizada nos experimentos.....	78
Figura 33 – Execução de ensaio de resistência de aderência à tração.....	81
Figura 34 – Resultados das resistências à compressão para as amostra de gesso reciclado adicionado a gesso comercial desidratado a 160 °C por 8 h com a relação água/gesso fixada em 0,75.....	93
Figura 35 – Resultados das resistências à compressão para as amostra de gesso reciclado adicionado a gesso comercial desidratado a 160 °C por 8 h com a relação água/gesso fixada em 0,70.....	93

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Exigências químicas do gesso para construção civil.....	32
Tabela 2 – Exigências com relação às propriedades físicas do gesso para uso em construção civil.....	45
Tabela 3 – Exigências físicas e mecânicas do gesso na construção civil.....	46
Tabela 4 – Principais usos do gesso para construção civil.....	46
Tabela 5 – Exigências físicas e mecânicas para placas lisas de gesso para forro tipo 65.....	48
Tabela 6 – Quantidade total de RCD coletado pelos municípios no Brasil.....	51
Tabela 7 – Volume de resíduos de gesso gerados durante as atividades de construção e demolição no Brasil.....	52
Tabela 8 – Classificação dos resíduos de construção e demolição.....	59
Tabela 9 – Áreas de destinação para cada classe de resíduos.....	61
Tabela 10 – Relação de ensaios realizados durante o desenvolvimento da pesquisa.....	68
Tabela 11 – Parâmetros de desidratação térmica do resíduo de gesso.....	70
Tabela 12 – Prescrições recomendados pela NBR 13207 - Gesso para construção civil.....	71
Tabela 13 – Exigências com relação às propriedades físicas e mecânicas do gesso para uso em construção civil.....	71
Tabela 14 – Exigências com relação às propriedades físicas do gesso para uso em construção civil.....	72
Tabela 15 – Teores de adição de resíduo.....	76
Tabela 16 – Limites de resistência de aderência à tração.....	79
Tabela 17 – Polvilhamento do gesso com adição do resíduo de gesso.....	80
Tabela 18 – Ensaios de desidratação dos resíduos de gesso de revestimento para obtenção do gesso reciclado.....	82
Tabela 19 – Análise química do gesso reciclado e gesso comercial em função de sua origem a partir da NBR 12130 (ABNT, 1991).....	83
Tabela 20 – Análise granulométrica do gesso comercial	85
Tabela 21 – Análise granulométrica do gesso reciclado.....	85
Tabela 22 – Resultado referente à massa unitária do gesso comercial e do gesso reciclado.....	86

Tabelas 23 – Ensaios para obtenção da relação água/gesso para o gesso comercial correspondente a consistência determinada pela norma NBR 12128 (ABNT, 1991).....	87
Tabela 24 – Ensaios para obtenção da relação água/gesso para o gesso reciclado correspondente a consistência determinada pela norma NBR 12128 (ABNT, 1991).....	87
Tabela 25 – Ensaios de tempo de pega para as amostra de gesso comercial.....	88
Tabela 26 – Ensaios de tempo de pega para as amostra de gesso reciclado produzido neste trabalho.....	89
Tabela 27 – Ensaios de tempo de pega para amostras de gesso comercial com adição de resíduo de gesso desidratado a 160 °C por 8 h usando relação água/gesso de 0,75.....	90
Tabela 28 – Ensaios de tempo de pega para amostras de gesso comercial com adição de resíduo de gesso desidratado a 160 °C por 8 h usando relação água/gesso de 0,70.....	90
Tabela 29 – Características mecânicas do gesso comercial e do gesso reciclado.....	92
Tabela 30 – Ensaios de resistência de aderência para o gesso comercial.....	96
Tabela 31 – Ensaio de resistência de aderência para o gesso reciclado.....	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos

ACFOR – Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental

APP – Área de Proteção Permanente

ASMOC – Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia

ATT – Áreas De Transbordo e Triagem de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPERGÁS – Companhia Pernambucana de Gás

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

DRYWALL – Associação Brasileira do *Drywall*

DTTM – Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

GNC – Gás Natural Comprimido

IBDA – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura

IFCE – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

NBR – Norma Brasileira Registrada

NWGR – *New West Gypsum Recycling Inc*

PIGRCC – Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil

PMGIRS – Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RCD – Resíduos da Construção e Demolição

RCC – Resíduo de Construção Civil

SINDUSGESSO – Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

USIFORT – Usina de Reciclagem de Fortaleza

USINE – Usina de Reciclagem do Nordeste

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.2 Objetivos	18
1.2.1 <i>Objetivo geral</i>	18
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	18
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	20
2.1 O Mineral gipsita.....	20
2.1.1 <i>Reservas, produção e consumo de gipsita</i>	20
2.2 O gesso	23
2.3 O processo de produção do gesso de construção	25
2.3.1 <i>Extração da gipsita</i>	27
2.3.2 <i>Cominuição</i>	28
2.3.3 <i>Calcinação</i>	29
2.3.4 <i>Pulverização e embalagem</i>	31
2.4 Propriedades físicas e químicas do gesso	32
2.5 Hidratação do gesso.....	34
2.5.1 <i>Tempo de pega</i>	37
2.5.2 <i>Fatores que influenciam a cinética da reação de hidratação e a pega das pastas de gesso</i>	38
2.5.3 <i>Fatores influenciam as propriedades mecânicas da pasta de gesso endurecida</i>	40
2.5.4 <i>Outras propriedades</i>	42
2.6 Empregos da gipsita e do gesso	43
2.7 Produtos do gesso com aplicação na construção civil	46
2.8 Geração de resíduo de gesso da construção civil.	50
2.9 Gestão de resíduos de gesso da construção civil.....	57
2.10 Reciclagem de resíduos de gesso da construção civil	62
2.11 Aspectos da literatura sobre a utilização do gesso reciclado na construção civil.....	64
3. MATERIAIS E MÉTODOS	66
3.1 Materiais utilizados e ambientes de caracterização.....	66
3.2 Procedimentos de campo	66
3.3 Coleta do material	67
3.4 Metodologia experimental	67
3.4.1 <i>Beneficiamento</i>	69
3.5 Propriedades físicas do pó dos resíduos de gesso desidratado	72
3.6 Propriedades físicas da pasta dos resíduos de gesso desidratado.....	74

3.7 Caracterização química.....	75
3.7 Preparação dos corpos de prova e avaliação das propriedades mecânicas dos resíduos de gesso desidratados reciclados e endurecidos.....	76
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	82
4.1 Ensaios de desidratação dos resíduos de gesso	82
4.2 Composição química do gesso reciclado	83
4.3 Análise granulométrica	84
4.4 Massa unitária	86
4.5 Determinação da relação água/gesso	86
4.6 Tempo de pega	88
4.7 Resistência à compressão	92
4.9 Resistência de aderência à tração	95
5 CONCLUSÕES	98
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	99
REFERÊNCIAS	100

1. INTRODUÇÃO

A revolução industrial constitui um marco significativo na história do mundo ocidental por ser considerado um o ponto de partida de uma série de mudanças no cotidiano moderno. A partir desta revolução houve uma substituição dos produtos manufaturados por industrializados que levaram um aumento das emissões de poluentes.

A revolução industrial trouxe ainda consigo a urbanização e a industrialização, propiciando o incentivo a produção e acúmulo de riquezas, fez surgir à ideia de progresso ligada à exploração e destruição de recursos naturais.

O atual modelo de crescimento econômico gerou enormes desequilíbrios entre o desenvolvimento das atividades humanas com a capacidade de suporte de gerenciar estoques para suprir os requisitos humanos.

A intensidade do uso dos recursos naturais superou a capacidade de regeneração e assimilação do meio ambiente, afetando as características do meio através das ações antrópica, resultando na ausência da qualidade ambiental.

A construção civil é um dos setores com grande relevância no cenário econômico nacional, caracterizando-se uma indústria que demanda grandes oportunidades de empregos e ocupação de mão de obra.

O setor da construção civil tem importante papel no processo de crescimento e redução do desemprego em países em desenvolvimento como o Brasil, dada a sua capacidade de gerar vagas diretas e indiretas no mercado de trabalho e absorver grande percentual da mão de obra nacional (NETO, 2003).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos, (ABRELPE, 2011), a indústria da construção civil, além de grande consumidora de recursos naturais, é considerada uma grande geradora de resíduos sólidos, sendo motivo de diversas discussões quanto à necessidade de buscar o desenvolvimento sustentável.

A sustentabilidade na utilização de recursos para a construção de edificações significa um enorme avanço ambiental, ao passo que reduz os gastos energéticos e emissão de poluentes e não esgota os recursos naturais do planeta.

O crescimento populacional e o acelerado processo de urbanização das cidades têm contribuído para geração de grandes volumes de resíduos da construção e demolição (RCD).

Os resíduos oriundos da construção civil constituem atualmente, um grande problema das grandes cidades demandando atenção especial dos municípios na gestão desses resíduos, visto que a responsabilidade para com os RCD é dos respectivos geradores.

No Brasil as quantidades apresentadas são significativas, só em 2011 foram coletados pelos municípios mais de 33 milhões de toneladas de RCD, um aumento de 7,2% em relação a 2010 (ABRELPE, 2011).

Ao mesmo tempo em que a construção civil contribui para o crescimento da economia do país, também causa impacto extremamente negativo, pois é consumidora de matéria-prima e geradora de resíduos poluentes que ocasionam impactos ambientais e que poderiam ser utilizados para outros fins.

O volume de resíduo gerado pela construção civil é um tema preocupante tendo em vista os impactos acarretados ao meio ambiente por esse tipo de atividade. Assim, medidas eficazes estão sendo adotadas na tentativa de minimizar os danos causados ao meio ambiente, por meio de instrumentos de gestão e gerenciamento dos resíduos da construção civil.

A quantidade de resíduos gerada pela construção civil tem impulsionado diversas pesquisas para o seu reaproveitamento ou reciclagem e o desenvolvimento de materiais alternativos. Podemos citar como exemplo o desenvolvimento de um sistema construtivo modular à base de blocos de gesso idealizado pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Outros estudos envolvendo o reaproveitamento do resíduo de gesso na execução de revestimento interno de vedação vertical e a análise do ciclo de vida do resíduo de gesso está sendo desenvolvido pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), respectivamente.

Em grandes obras a quantidade do resíduo de gesso pode ser muito expressiva, por isso um estudo da viabilidade da sua reciclagem pode gerar uma economia significativa, além da diminuição de emissão de poluentes no meio ambiente.

O gesso é um material construtivo de ampla aplicação no setor da construção civil onde o processo produtivo é simples com baixo custo energético em relação a outros aglomerantes. Conforme Pinheiro (2011), a reversibilidade de suas reações de transformação possibilita a reciclagem, viabilizando sua reintegração ao processo produtivo, consequentemente minimizando os impactos ambientais causados pela produção.

A utilização do gesso nas aplicações da construção civil se dá como: revestimento de alvenarias, placas de forro, blocos de elevação de alvenaria, peças de decoração e moldes para cerâmicas, elementos construtivo alternativo e economicamente viável, elementos não estrutural de cobertura e de vedação lateral.

O gesso comparado com outros materiais oriundos da construção civil apresenta muitas vantagens, tais como, grande disponibilidade de matéria prima, eficiência energética e baixa temperatura na sua obtenção, emissão na atmosfera de vapor d'água no seu processamento, elevada produtividade, rapidez na produção, bom desempenho, menor custo e alta competitividade.

Além das propriedades do material, a alta competitividade na indústria da construção civil também se constitui num fator que tem contribuído para o emprego do gesso como revestimento em gesso em relação a outros tipos de revestimento, pois a melhoria da qualidade das alvenarias reflete em superfícies mais planas e regulares, sendo um dos fatores que tornam o revestimento de gesso atraente, além de sua pequena espessura que tem reflexos benéficos sobre a produtividade.

A aplicação rápida e o excelente acabamento superficial do revestimento em gesso permitem ganhos de produtividade quando comparado aos revestimentos de argamassa que necessitam de muitos dias de espera entre sua aplicação e a aplicação da pintura. Para os revestimentos de gesso liso esse intervalo é menor, devido ao menor tempo de pega do gesso em relação ao cimento Portland.

Por outro lado, o reduzido tempo de pega das pastas de gesso determina um tempo curto para aplicação do revestimento gerando grande perdas de material, em torno de 35%, e ocasionando sérios problemas econômicos e ambientais, já que o resíduo de gesso é um material tóxico, que libera íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} , que alteram a alcalinidade do solo e contaminam o lençol freático. O gesso se acondicionado de forma irregular pode liberar gás sulfídrico (H_2S), e ainda pode ser inflamável em concentrações elevadas (JOHN; CINCOTTO, 2003; PINHEIRO, 2011; TROVÃO 2012).

Dentre as mais recentes estratégias de proteção dos recursos naturais, faz-se necessário planejar políticas de desenvolvimento sustentável para o setor de construção civil levando a uma diminuição dos danos ambientais.

Como importante instrumento na preservação do meio ambiente, a reciclagem dos resíduos de gesso da construção civil pode minimizar impactos ambientais gerados

pela disposição dos resíduos e também prolongar a vida útil das jazidas fornecedoras da matéria prima para fabricação do gesso.

A reciclagem do gesso além de preservar o meio ambiente, a partir da exploração sustentável e de soluções economicamente viáveis, tem potencial para resolver problemas sociais e habitacionais. Assim sendo, pode gerar uma economia significativa, além de um novo mercado para esse produto.

Por outro lado à reciclagem de seus resíduos, como materiais e componentes para construção civil, pode gerar a redução do custo da construção, diminuições do consumo de energia na produção de materiais, reduções na demanda de matéria prima e da emissão de poluente ao meio ambiente, entre outros benefícios a sociedade.

Como forma de minimizar as agressões ao meio ambiente, faz-se necessário estudar a promoção da reciclagem do resíduo de gesso para analisar as implicações causadas por resíduos da construção civil no meio ambiente.

Assim, a partir deste trabalho de pesquisa pretende-se viabilizar a reciclagem do resíduo de gesso de revestimento da construção civil, estudando os aspectos relativos ao seu comportamento físico/químico e a sua utilização.

A contribuição para o meio ambiente, neste caso, envolve menor geração de resíduos, minimização da degradação ambiental e a melhor utilização dos recursos naturais, contribuindo para reduzir os custos de produção do empreendimento e de destinação final dos resíduos e a minimização dos efeitos ambientais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo investigar a reciclagem dos resíduos de gesso de revestimento visando a sua reintegração ao processo produtivo e minimização dos impactos ambientais decorrentes de sua aplicação.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Desenvolver materiais para uso e aplicação na construção civil em processos de revestimento ou fundição a partir do resíduo de gesso segundo os parâmetros de: temperatura de desidratação, tempo de residência e relação água/gesso.

- b) Avaliar as propriedades físicas, mecânicas e químicas das pastas de gesso obtidas com gesso comercial e gesso reciclado a partir das características mínimas exigidas pelas normas brasileiras, envolvendo: composição química, consistência, tempo de pega, granulometria, massa unitária e resistências à compressão e de aderência, que especificam os tipos de gesso usado na construção civil para fins de classificação e aplicação.
- c) Caracterizar e avaliar o uso de diferentes proporções da mistura de gesso comercial com o gesso reciclado visando reintegração ao processo produtivo na construção civil.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 O Mineral gipsita

A gipsita natural é oriunda de rochas sedimentares muito solúveis, denominadas “evaporitos”, composta mineralogicamente por cloretos e sulfatos de sódio, cálcio, magnésio e potássio (JOHN; CINCOTTO, 2007).

Os evaporitos de natureza sulfática são geralmente compostos por gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4) que geralmente ocorrem de forma associada, dependendo do seu processo de formação (JOHN; CINCOTTO, 2007; PINHEIRO, 2011).

O mineral gipsita apresenta geralmente granulação fina a média, estratificada ou maciça, constituindo as denominadas rochas gipsíferas (SOBRINHO *et al.*, 2001).

A rocha gipsífera ou minério de gesso é basicamente composta pelo sulfato de cálcio dihidratado, cuja composição química corresponde a fórmula ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), podem estar associados a diversos contaminantes como a anidrita, a argila, o quartzo, os carbonatos de cálcio e magnésio, os cloretos e outras formas de sulfatos (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

A gipsita cristaliza no sistema monoclinico e pode se apresentar sob formas variadas: (i) Espato acetinado: variedade com aspecto fibroso e brilho sedoso; (ii) Alabastro: variedade maciça, microgranular e transparente, usada em esculturas; (iii) Selenita: cristais com clivagens largas, incolores e transparentes (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

A gipsita é bastante solúvel, tem dureza 1,5 - 3,0 na escala de Mohs, densidade $2,35\text{g/cm}^3$ e índice de refração 1,53. Apresenta-se na forma sólida com cores variadas tipo incolor, branca, cinza, amarronzada dependendo das impurezas contidas nos cristais (SOBRINHO *et al.*, 2001).

A gipsita na sua composição química média apresenta 32,5% de CaO; 46,6% de SO_3 e 20,9% de H_2O (SOBRINHO *et al.*, 2001).

2.1.1 Reservas, produção e consumo de gipsita

No Brasil, as principais reservas de gipsita natural ocorrem associadas às bacias sedimentares: Amazônica (Amazonas e Pará); do Parnaíba (Maranhão e Tocantins); Potiguar (Rio Grande do Norte); do Araripe (Piauí, Ceará e Pernambuco); e do

Recôncavo (Bahia) (SOBRINHO *et al.*, 2001). Segundo o Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral, (DTTM, 2012) cerca de 98% das reservas brasileiras estão concentradas na Bahia (43%), Pará (30%) e Pernambuco (25%), ficando o restante distribuído entre o Maranhão (3%), Ceará (1,5%).

No Brasil a reserva de gipsita apresenta como diferencial competitivo a pureza desse material. Em geral, a produção é obtida a partir de minério com 80 a 95% de pureza (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral, (DNPM, 2011) as reservas lavráveis do Brasil, ao final de 2010, totalizavam 230.000.000 toneladas, das quais 93% concentradas no Estado de Pernambuco. Apesar dos dados sobre as reservas de outros países serem incertos, calcula-se que as reservas brasileiras de gipsita apresentam o quinto maior volume do mundo, depois de Irã, China, Canadá e México.

A China destaca-se como maior produtora mundial desse mineral, com 32% do total. O Brasil, com 2,2%, é o maior da América do Sul, colocando-se numa escala de classificação dos dez maiores do mundo. A responsável pela maior demanda mundial de gipsita é a indústria de cimento, no entanto em países desenvolvidos o maior consumo é da construção civil (DTTM, 2012).

Segundo o Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco, (SINDUSGESSO, 2013) o Pólo Gesseiro de Pernambuco possui uma reserva estimada em 1,22 bilhões de toneladas, sendo umas das mais expressivas e importantes do mundo, principalmente considerando o alto teor de pureza do gesso.

O consumo aparente de minerais, que corresponde à soma da produção e importação subtraída das exportações sugere uma aproximação do consumo efetivo dos bens minerais no país em 2010. O consumo aparente de 2.820.000 toneladas da gipsita no país em 2010 em relação a 2009 se caracterizou pela taxa de crescimento de 20% (DNPM, 2011).

Apesar do crescimento de produção, o consumo nacional per capita de gesso ainda é bem abaixo do existente na Europa, Estados Unidos da América e em países vizinhos como Chile e Argentina (DNPM, 2011). O Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura (2013) relata que no país são empregados cerca de 15 kg/hab./ano de gesso, enquanto nos Estados Unidos, maior produtor mundial, são mais de 100 kg gesso/hab./ano. Na Europa são consumidos cerca de 80 kg gesso/hab./ano.

O Estado do Rio Grande do Norte foi o pioneiro no Brasil na produção de gesso, desde 1938. Durante 20 anos fixou esta posição como maior produtor nacional liderado pelo Grupo Rosado (RIBEIRO, 2006).

O Pólo Gesseiro de Araripe, no extremo oeste pernambucano, que abrange os municípios de Araripina, Bodocó, Exu, Granito, Ipubi, Ouricuri, Moreilândia, Trindade, Santa Filomena e Santa Cruz, fornece aproximadamente 95% do gesso consumido no Brasil (DNPM, 2011).

O Pólo Gesseiro como um conjunto de empresas de micro, pequeno e médio porte oferece cerca de 13.200 empregos diretos e aproximadamente 66.000 indiretos, contando com 39 minas de gipsita, 139 indústrias de calcinação e cerca de 726 indústrias de pré-moldados. Com um faturamento de US\$ 364 milhões/ano e uma produção anual proveniente dos Estados de Pernambuco de 95%; Ceará - 1,5%; Maranhão - 3%; Tocantins - 0,3% da produção nacional (SINDUSGESSO, 2013).

O Pólo Gesseiro produz cerca de 800 mil toneladas de gipsita usada pela indústria de cimento e 200 mil toneladas de gesso agrícola cada vez mais valorizado pelo agronegócio (SINDUSGESSO, 2013).

Segundo Cunha (2007), entre os aspectos que contribuem para a produção e consumo de gesso para construção civil está à busca de soluções para duas necessidades da atualidade:

- a) Economizar combustível - o gesso de construção civil é um aglomerante de baixo consumo energético. Enquanto a temperatura de processamento do clínquer Portland é de 1450 °C, a da cal entre 800 °C e 1100 °C, a do gesso normalmente não ultrapassa 300 °C;
- b) Preservação do meio ambiente - Há uma grande disponibilidade de gesso químico e existem perspectivas de que, em longo prazo, aumente a oferta de gesso no mercado nacional, pelo aproveitamento de sulfatos de cálcio residuais originários de processos químicos industriais. Progressivamente esse aproveitamento deve se tornar necessário, face à nova política mundial de controle ambiental.

Existem projetos em andamento e/ou previstos com a expectativa de que o setor cresça 30% ao ano nos próximos cinco anos, com a instalação de 26 novas indústrias, além das 142 indústrias de gesso que já atuam no Araripe, as quais estão em busca de oportunidades de negócios com o gesso (DNPM, 2011).

A Companhia Pernambucana de Gás (Copergás), empresa controlada pelo governo de Pernambuco em sociedade com Petrobrás e Mitsui iniciou o processo de fornecimento de Gás Natural Comprimido (GNC) para as empresas calcinadoras do Pólo Gesseiro do Araripe. Configurando uma alternativa mais eficiente e limpa do que a lenha tradicionalmente utilizada na calcinação do gesso na região, o GNC responde por aproximadamente 90% da fonte energética das fábricas (DNPM, 2011).

Em tempo, serão contempladas com o fornecimento de aproximadamente 10 mil m³/dia três empresas do Pólo Gesseiro do Araripe, e o plano da empresa é ampliar a base de fornecimento, chegando a 200 mil m³/dia até 2015. Segundo informa o presidente da Copergás, nas primeiras experiências, o gás chega à fábrica 30% mais barato do que o equivalente em madeira (DNPM, 2011).

2.2 O gesso

Os termos “gipsita”, “gipso” e “gesso” são frequentemente usados como sinônimos. Todavia, a denominação gipsita é reconhecidamente a mais adequada ao mineral em estado natural, enquanto o gesso é o termo mais apropriado para designar o produto calcinado. Uma tonelada de gipsita gera 0,8 toneladas de gesso (SOBRINHO; DANTAS, 2008).

O gesso é o termo genérico de uma família de aglomerantes simples, composto de sulfatos mais ou menos hidratados e anidros de cálcio; são obtidos pela calcinação da gipsita natural, constituído basicamente de sulfato de cálcio dihidratado podendo conter uma proporção máxima de 6% de impurezas, como sílica, alumina, óxido de ferro, carbonatos de cálcio e magnésio (BAUER, 1992).

O gesso se origina da calcinação da gipsita. Esse processo é feito em fornos simples ou industriais em sua maioria em fornos com lenha. Quando calcinada à temperatura da ordem de 160 °C, a gipsita desidrata-se parcialmente, transformando-se em gesso (hemidrato) (DTTM, 2011).

A calcinação é a mais importante etapa do processo produtivo do gesso, exigindo condições termodinâmicas e cinéticas bem definidas para cada tipo de produto desejado. A gipsita, em sua forma natural (CaSO₄.2H₂O), Sulfato de Cálcio dihidratado, normalmente está associada às impurezas como óxidos metálicos. Quando encontrado sob forma CaSO₄ simplesmente, também conhecida como anidrita natural, não tem

muito valor industrial, uma vez que sua estrutura é estável e não susceptível à decomposição térmica (RIBEIRO, 2006).

Dentre os materiais que têm sua utilização em largo crescimento na construção civil, não se pode deixar de fora o gesso. Esse pode ser considerado o aglomerante mais antigo de que se tem notícia e registro.

O gesso, inicialmente usado em obras de arte e decoração, é um dos mais antigos materiais usados pelo o homem, conforme atestam algumas importantes descobertas arqueológicas. O gesso é utilizado a mais de oito mil anos, segundo escavações e pesquisas realizadas na Síria e na Turquia. Exemplo bastante conhecido é a grande pirâmide erguida por Quéops, rei do Egito, da 4ª dinastia, no ano de 2800 antes da nossa era, que preserva até hoje, vestígios de emprego de gesso em sua construção (REVISTA CONSTRUÇÃO CEARÁ, 2013).

Entretanto, o filósofo Teofrasto, que viveu entre o IV e III séculos antes de Jesus Cristo, e que foi discípulo de Platão e Aristóteles, tornou-se conhecido por seu “Tratado de Pedra”, que é mais antigo e o mais documentado dos autores que se interessaram pelo gesso catalogou a existência de gesseiras em Chipre, na Fenícia e na Síria, relatando que o gesso era utilizado, como argamassa, para a ornamentação, nos afrescos, nos baixos relevos e na confecção de estátuas (GESSO GUILHERME, 2012).

Na Europa, o uso do gesso na construção civil popularizou-se a partir do século VIII quando também passou a ser utilizado como corretivo de solos (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

Os primeiros estudos científicos relacionados ao gesso remontam ao final do século XVIII. O cientista francês Antoine Lavoisier descobriu que o material pode se tornar sólido por fixação de água, ao formar cristais. Somente no século XX o emprego do gesso na construção civil foi estimulado pela descoberta de processo para retardar o tempo de pega (REVISTA CONSTRUÇÃO CEARÁ, 2013).

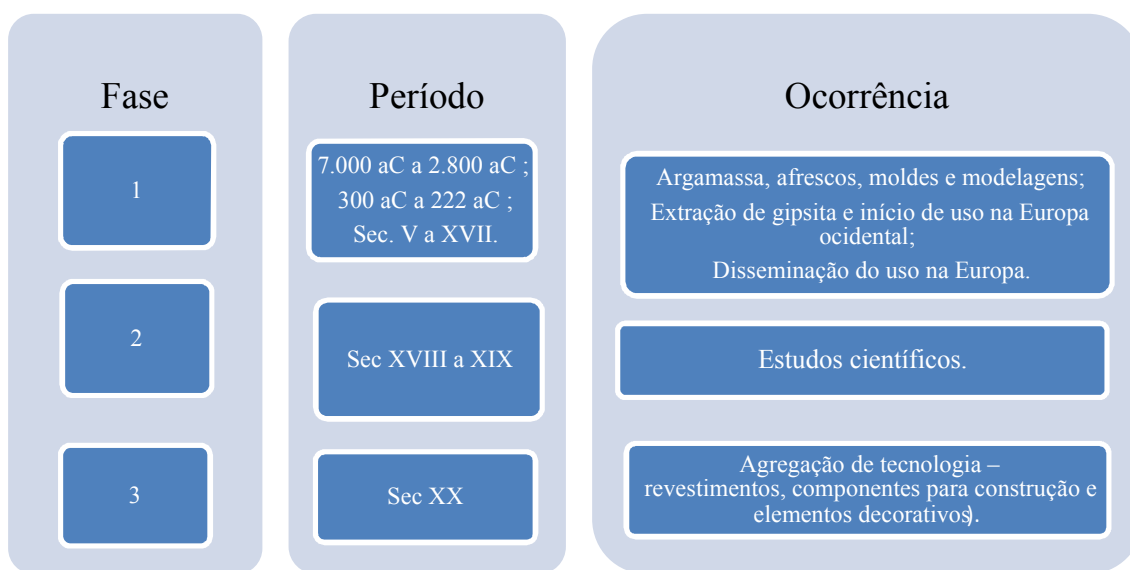
O gesso é o mais antigo aglomerante de que se tem notícia, sendo encontrado em construções no Antigo Egito como na pirâmide de Khufu, com cerca de cinco mil anos. Suas técnicas de calcinação e suas propriedades hidráulicas já eram amplamente conhecidas pelos egípcios o que permite inferir que o material era utilizado por civilizações até anteriores a esta. As técnicas de utilização deste material, como a calcinação e suas propriedades hidráulicas, eram dominadas por esses antigos possibilitando que seu emprego fosse variado, desde a confecção de objetos decorativos, como estátuas, como também na construção civil em processos tão conhecidos pela

engenharia atual como revestimentos de paredes na forma de argamassas e pastas (ANTUNES, 1999).

Lavoisier, em 1798 apresentou à Academia de Ciências Francesa o primeiro estudo sobre os fenômenos relacionados à origem da preparação do gesso. Sendo seguido por Vant'Hoff e Le Chatelier (1887), que elaboraram uma explicação científica sobre a desidratação da gipsita e a hidratação do gesso (JOHN; CINCOTTO, 2007; PINHEIRO, 2011).

Segundo Pinheiro (2011) o principal marco da utilização do gesso como material construtivo, portanto, podem ser representados em três fases: (i) o uso tácito, que compreende o período da Antiguidade até o século XVIII; (ii) o desenvolvimento do conhecimento científico ocorrido durante os séculos XVIII e XIX e (iii) o uso do material com agregação de tecnologias disponíveis a partir do século XX (Figura 1).

Figura 1- Uso do gesso como material construtivo ao longo do tempo.



Fonte: Adaptado a partir de Gourdin e Kingery (1975) *apud* Pinheiro (2011).

2.3 O processo de produção do gesso de construção

Segundo Baltar, Bastos e Luz, (2005), sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) apresenta um amplo e diversificado campo de utilizações. O grande interesse pela gipsita é atribuído a uma característica peculiar que consiste na facilidade de desidratação e rehidratação.

A gipsita perde 3/4 da água de cristalização durante o processo de calcinação, convertendo-se a um sulfato de cálcio hemidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) que, quando misturado com água, pode ser moldado e trabalhado antes de endurecer e adquirir a consistência mecânica da forma estável reidratada.

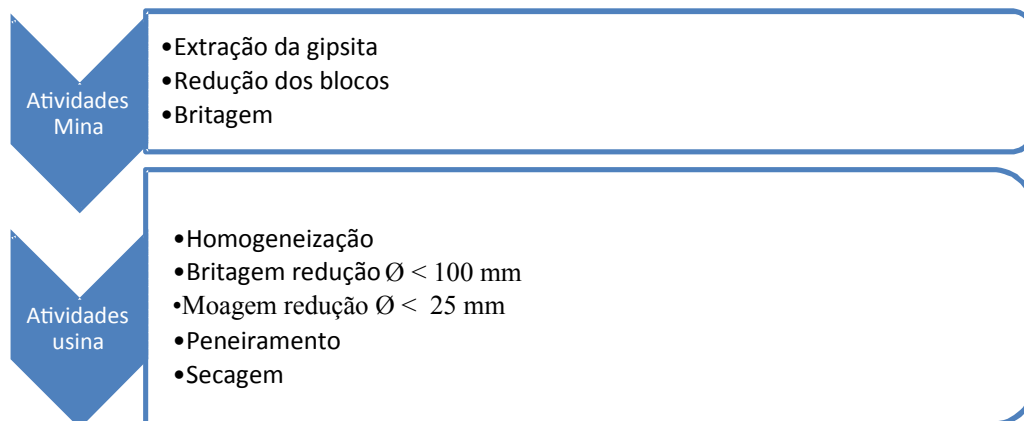
A gipsita pode ser utilizada na forma natural ou calcinada. A forma natural é bastante usada na agricultura e na indústria de cimento. Enquanto a forma calcinada, conhecida como gesso, encontra várias utilizações na construção civil, como material ortopédico ou dental, etc (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

Para a produção do gesso de construção, todas as impurezas são indesejáveis, por reduzirem o teor de hemidratos e anidritas no material, que são responsáveis pelas características aglomerantes do gesso (JOHN; CINCOTTO, 2007). A presença de certas impurezas, dependendo de seus teores, pode afetar as propriedades físicas e mecânicas do material. Assim, os teores de minerais silicosos, calcário, dolomito, anidrita, argilo-minerais, halita, silvita, sais e montmorillonita, sempre que possível, devem ser verificados antes que o minério seja encaminhado ao processo industrial (PINHEIRO, 2011).

Segundo Ribeiro (2006), o beneficiamento da gipsita para produção de gesso, na região do Araripe, envolve as seguintes operações: (1) alimentação manual; (2) britagem; (3) rebritagem; (4) peneiramento usado (apenas em algumas empresas); (5) ensilamento; (6) calcinação; (7) estabilização térmica em silos (em algumas empresas); (8) moagem (de acordo com as especificações de mercado para o produto); (9) ensilamento e (10) ensacamento.

As atividades executadas nas minas e/ou nas usinas de calcinação para a extração e a preparação do minério de gipsita para calcinação, que têm como objetivos a redução do diâmetro do minério, a estocagem do material, a homogeneização e a secagem do material (Figura 2) (PINHEIRO, 2011; JOHN; CINCOTTO, 2007).

Figura 2 - Atividades de preparação da matéria-prima para ser submetidas ao processo de calcinação.



Fonte: Adaptado a partir de Pinheiro (2011).

Conforme Baltar, Bastos e Luz(2009), duas formas de gesso são obtidas na desidratação da gipsita: o tipo alfa e o tipo beta. O hemidrato alfa é obtido em uma atmosfera saturada de vapor, enquanto o hemidrato beta é obtido sem essa saturação.

A produção do gesso acontece basicamente em 4 ou 5 etapas: extração do gipsita, cominuição, calcinação, pulverização e embalagem, as quais estão descritas a seguir:

2.3.1 Extração da gipsita

A extração da gipsita envolve plano de fogo, explosivos convencionais para o desmonte da bancada e equipamentos de mineração como pás carregadeira, escavadeiras, retro escavadeiras, tratores, caçambas.

Das reservas decapiadas para minar, o desmonte da bancada é realizado através de plano de fogo e controle do desmonte com explosões controladas que geram variedade de tamanhos e toneladas de blocos com a geração de 35% de resíduos.

A Figura 3 mostra as reservas depois do desmonte da bancada realizado por explosivos convencionais da Mina Pedra Branca em Nova Olinda-Ce.

Figura 3 - Desmonte secundário e terciário da bancada da Mina Pedra Branca visitada em julho de 2012.



Fonte: Autor (2013).

2.3.2 Cominuição

Na cominuição a gipsita passa por alguns processos de beneficiamento de adequação ao tipo de forno onde será calcinada. Basicamente, as etapas são as seguintes: britagem, moagem grossa; estocagem; secagem; moagem fina e ensilagem. (ANTUNES, 1999). Após a extração, os blocos de minério de gipsita são fragmentados mecanicamente de forma a viabilizar seu transporte até o setor de britagem, em geral, localizado junto às minas, onde os blocos fragmentados através de triturador de mandíbulas, separados em frações granulométricas por um sistema de esteiras e transportadas para as usinas.

Figura 4 – Setor de britagem da Mina Pedra Branca visitada em julho de 2012.



Fonte: Autor (2013).

Os blocos extraídos são britados e rebritados até adequar a granulometria do minério que é reduzido a tamanhos pequenos conforme as necessidades do forno para calcinação. A homogeneidade do tamanho do minério permite uma maior regularidade no processo industrial de fabricação (RIBEIRO, 2006).

A gipsita é estocada, homogeneizada e passa por uma nova britagem, de forma a ser reduzido a fragmentos com diâmetros inferiores a 100 mm, tornando possível seu transporte em esteiras, para ser submetido ao tratamento de moagem. Durante a moagem, o minério é reduzido a dimensões granulométricas inferiores a 25 mm, necessárias para que se processe a calcinação do material. É realizado peneiramento para garantir a dimensão máxima dos grãos do minério de gipsita.

2.3.3 Calcinação

A calcinação é etapa mais importante do processo de produção do gesso é feita em fornos simples ou industriais (Figura 5). Segundo Ribeiro (2006), a calcinação da gipsita no pólo gesseiro, dado seu maior volume, é geralmente feita sob agitação, para conferir maior homogeneidade da temperatura e velocidade de calcinação.

O processo de calcinação pode ser realizado em diferentes tipos de fornos, como forno panela com queima direta e forno rotativo com queima indireta, os quais devem assegurar uma distribuição e desidratação regular do material, sendo usada muitas vezes lenha, inviável economicamente, e Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) ou óleo como combustível também inviável economicamente.

Figura 5 - Forno panela da fábrica de gesso Chaves visitada em julho de 2012.



Fonte: Autor (2013).

A calcinação pode ser obtida por via seca ou por via úmida. O processo pode ser direto (quando os gases de combustão entram em contato com a gipsita) ou indireto (em fornos tubulares dotados de cilindros concêntricos, onde os gases quentes circulam no cilindro interno e o minério no cilindro externo). O funcionamento pode ser intermitente (batelada) ou contínuo (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

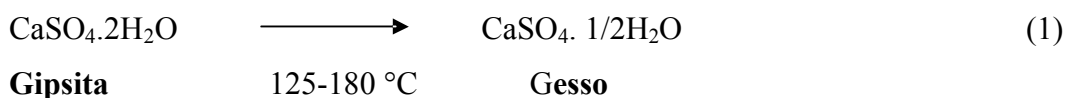
Conforme Ribeiro (2006), quando a gipsita é processada adequadamente, se decompõe, segundo a reação: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, transformando-se em hemidrato, nas suas morfologias alfa e beta.

A calcinação ainda pode ser por via seca ou úmida. O hemidrato β será obtido se a calcinação da gipsita ocorrer a seco sob pressão atmosférica ou baixa pressão. Já o hemidrato α será obtido caso a calcinação ocorra sob pressão de vapor de água saturante (ANTUNES, 1999).

As etapas do processo para produção de gesso β consiste em catação manual, britagem, moagem e calcinação em fornos sob pressão atmosférica que operam a uma temperatura entre 125 °C e 160 °C. Sob essas condições, a água de cristalização rapidamente é liberada formando cristais mal formados e porosos, resultando em um produto que se caracteriza pela forma irregular e natureza esponjosa dos seus cristais. Em tempo são produzidos no Brasil sem a adição de aditivos químicos dois tipos de gesso β , gessos de fundição (tipo A) e de revestimento (tipo B) (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

Os produtos dos tipos A e B são diferenciados pelo tempo de pega, que se define como o tempo necessário para que o gesso ao ser hidratado complete seu ciclo de endurecimento. Para tanto através do processo de calcinação o tempo de pega que se deseja para o produto pode ser controlado (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

Segundo Baltar, Bastos e Luz (2009), a gipsita tem a propriedade de perder e recuperar a água de cristalização. A gipsita perde parte da água de cristalização durante o processo de calcinação, a uma temperatura entre 125 °C e 180 °C, e assume a forma de hemidrato ou gesso, conforme descrito pela reação (Equação 1).



No processo de calcinação, a gipsita perde parte da água de cristalização na obtenção do hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) numa faixa de temperatura entre 125°C a 180°C . Já quando se deseja obter a anidrita III ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) a calcinação ocorre entre 180°C e 250°C e pode conter baixo teor água de cristalização. Esta fase o produto é solúvel, como o hemidrato, porém instável e ávido por água, que pode absorver umidade atmosférica e se transformarem hemidrato. Quando a calcinação do material acontece em temperaturas variando de 300°C a 700°C obtém anidrita II (CaSO_4), um produto totalmente desidratado, insolúvel, com natureza mineralógica semelhante à anidrita natural. Entre as temperaturas de 700°C e 900°C é obtido um produto inerte, sem aplicação industrial. A partir dos 900°C ocorre a dissociação do sulfato de cálcio com a formação do CaO livre (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

2.3.4 Pulverização e embalagem

Durante a etapa de pulverização, o gesso produzido na calcinação passa por uma moagem fina, de forma a adquirir a granulometria adequada à sua utilização. O gesso em forma de pó fino é conseguido fazendo-se passar o material calcinado por moinhos especiais combinados com crivos que asseguram uma granulometria adequada para sua aplicação. Em geral, as granulometrias são especificadas por norma. O material moído é selecionado em frações granulométricas e classificado conforme o tempo de pega.

Figura 6 - Gesso produzido armazenado em silos e embalado em sacos de papel multifoliado da Fabrica de Gesso Chaves visitada em julho de 2012.



Fonte: Autor (2013).

O material é então armazenado em silos, com a finalidade de proporcionar a estabilização de seus constituintes (hemidratos e anidritas), o que torna o material mais homogêneo e proporciona melhor qualidade ao gesso produzido. Para o acondicionamento do produto final, são utilizados sacos de papel Kraft multifoliados ou sacos plásticos (Figura 6). As embalagens devem ser estanques, de forma a proteger o material da umidade ambiente de acordo com a NBR 13207 (ABNT, 1994).

O contato do gesso com a umidade ambiente proporciona a hidratação parcial do gesso, formando sulfato de cálcio dihidratado de ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), o qual age como acelerador de pega alterando as propriedades do produto final (JOHN; CINCOTTO, 2007).

2.4 Propriedades físicas e químicas do gesso

O sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) tem a propriedade de perder ou recuperar a água de cristalização. As duas moléculas de água (H_2O) contidas na molécula da gipsita são representadas pela água fixa ou água de cristalização. A água de cristalização é aquela presente em compostos cristalinos em determinadas proporções, não se deve confundir com água higroscópica, pois esta é o percentual de umidade do minério, absorvida a superfície do sólido. Segundo Ribeiro (2006), a água fixada só evapora a temperaturas que excedam 106°C quando acontece a formação do gesso. Por outro lado, toda a umidade da gipsita pode ser removida aquecendo-se a 40°C .

A utilização do gesso na construção civil é regulada pela NBR 13207 (ABNT, 1994). O gesso para construção civil (gesso fino para revestimento, gesso fino para fundição, gesso grosso para revestimento, gesso grosso para fundição) deve atender às exigências indicadas na Tabela 1 a seguir, que apresenta as exigências da NBR – 12130: (ABNT, 1991) Gesso para Construção Civil, com relação às propriedades químicas do gesso para uso em construção.

Tabela 1 - Exigências químicas do gesso para construção civil.

Determinações químicas	Limites (%)
Água livre máxima	1,3
Água de cristalização	4,2 a 6,2
Óxido de cálcio (CaO)	mínima 38,0
Anidrido sulfúrico (SO_3)	Mínima 53,0

Fonte: adaptado pelo autor a partir da Norma NBR 13207 (ABNT, 1994).

O gesso após pré-hidratado e seco apresenta características físicas que dependem de variáveis associadas às condições de produção do gesso e variáveis associadas à manipulação e preparação da pasta.

Assim algumas características físicas do gesso e fatores que influenciam as suas propriedades podem ser analisadas:

- **Consistência:** A relação água/gesso, conhecida como consistência, é a mais básica das informações para se prever o comportamento do gesso. A relação água/gesso influencia diretamente a absorção, dureza, porosidade, tempo de expansão, e outras características físicas de gesso após hidratação e secagem;
- **Absorção:** A capacidade de o gesso absorver água é muito importante no processo da moldagem das peças. Uma taxa de absorção anormalmente rápida torna difícil a moldagem, enfraquece o material que depois de endurecido apresenta imperfeições de superfície;
- **pH:** O gesso levemente ácido apresenta pH de solução aproximado de 6,5.
- **Densidade:** a gipsita apresenta uma massa específica aproximada de 2254 – 2334 kg/m³. A gipsita triturada tem uma massa unitária variando de 1200 a 2300 kg/m³. O gesso calcinado apresenta densidade entre 885-1127 kg/m³.
- **Índice de refração:** situa-se entre 1,520 a 1,529.
- **Cor:** a gipsita apresenta várias cores e tonalidades como, por exemplo, branca ou incolor quando pura e variando entre cinza e preta, cor-de-rosa clara a vermelho e marrom, segundo impurezas presentes. Já a cor de gesso quando refinado em pó é branca exceto em variedades muito impuras, atingindo o cinza.
- **Solubilidade:** gesso é solúvel em nitratos e ácidos clorídricos. É ligeiramente solúvel em água; 100 partes de água a 20 °C dissolverão 0,222 partes de gesso. O gesso é quase insolúvel em ácido sulfúrico.

Segundo Oliveira (2010), os fatores que influenciam as propriedades do gesso são:

- a) **Grau de cristalização** – A depender do processo de calcinação do gesso, duas cristalizações podem acontecer, a alfa, onde os cristais são bem formados e homogêneos e a beta onde são mal formados e heterogêneos. Os gessos alfa têm maior tendência a formar produtos com maior tempo de pega e maior resistência por ser menos solúvel e, portanto, usando-se menor quantidade de água de

amassamento para se obter a trabalhabilidade desejada. Já o gesso beta tem mais tendência a formar produtos de menor tempo de pega, menor resistência, e que necessitam de mais água de emassamento. Na construção, o gesso empregado é o gesso tipo beta, contendo pequenas proporções de anidrita (solúvel e insolúvel) e impurezas como o próprio dihidrato (matéria-prima) e argilominerais.

- b) Homogeneidade – O grau de cristalização ou de desidratação diferente dos gessos acelera o tempo de pega e conseqüentemente diminuem a resistência mecânica do produto final.
- c) Finura – Quanto menores forem as partículas de gesso mais rápida será a pega e saturada será a mistura, pois a superfície de contato será maior favorecendo a cristalização, e conseqüentemente diminuindo o tempo de pega e aumentando a resistência final.
- d) Consistência (fator água/gesso) – Quanto maior for este fator, maior quantidade d'água em relação à massa de gesso e maior o tempo de pega, pois a solução estará menos saturada, porém menor será sua resistência final.
- e) Influência da mistura com areia – A mistura de gesso com areia na argamassa influenciam as propriedades físico-mecânicas diminuindo a consistência, o tempo de pega e causando a queda da resistência mecânica proporcionalmente ao acréscimo da proporção de areia.
- f) Aditivos – A ação de aditivos químicos interfere no tempo de pega. O efeito dos aditivos aceleradores e retardadores variam de acordo com seu tipo. Como exemplos de aditivos podem ser citados o sulfato de potássio (acelerador) e o bórax (retardador).
- g) Temperatura – O tempo de pega e a resistência final diminuem sensivelmente com o aumento da temperatura que favorecem as reações de cristalização.

2.5 Hidratação do gesso

As espécies químicas provenientes da desidratação da gipsita, na presença de água, retornam a seu grau de hidratação inicial, formando novamente o sulfato de cálcio dihidratado. Este fenômeno químico é conhecido como hidratação do gesso. Na Figura 7 está apresentada a preparação da pasta por hidratação do gesso observada em uma construção visitada no município de Fortaleza – CE em agosto de 2012.

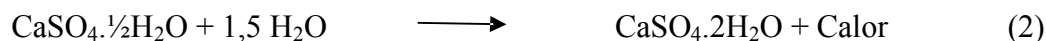
Figura 7 – Hidratação do Gesso.



Fonte: Autor (2013).

O processo tem início no momento em que o gesso entra em contato com a água, produzindo uma pasta homogênea, que, rapidamente, adquire plasticidade e vai se solidificando, até o seu endurecimento, quando o material adquire resistência mecânica.

Na hidratação, o gesso (sulfato de cálcio hemi-hidratado), ao entrar em contato com a água, começa uma reação química que transforma o hemidrato, liberando calor e regenerando o sulfato de cálcio dihidratado, conforme descrito pela reação a seguir (Equação 2).



Os primeiros trabalhos publicados sobre a hidratação do gesso são de LAVOISIER, em 1798, e Le CHATELIER, em 1887. Este último explica o mecanismo de hidratação através da teoria da cristalização, passando por três etapas (KARNI, 1995 *apud* ANTUNES, 1999):

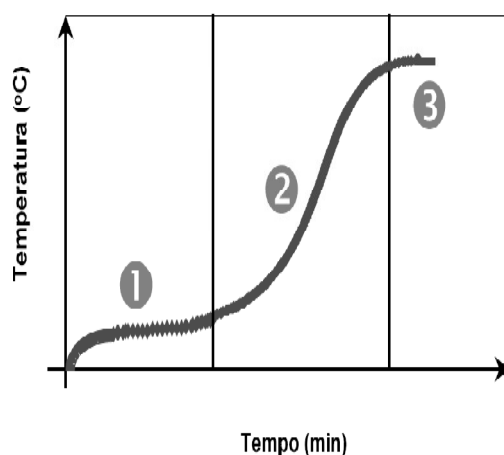
- a) Fenômeno químico da dissolução - Quando o hemidrato é misturado com a água de amassamento, os cristais do hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) se dissolvem e formam uma solução saturada de íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} ;
- b) Fenômeno físico da cristalização - quando a solução fica supersaturada, os íons se depositam sobre os núcleos de dihidrato, iniciando-se o crescimento cristalino. Os cristais de dihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) precipitam em forma de agulhas;
- c) Fenômeno mecânico do endurecimento - com o aumento da concentração dos cristais há o endurecimento da pasta.

Atualmente, o mecanismo de hidratação do gesso, pela teoria da cristalização, pode ser compreendido considerando-se quatro etapas (JOHN; CINCOTTO, 2007):

- i. A dissolução – O hemidrato ao ser misturado com a água de amassamento, os cristais do hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) se dissolvem dando origem a um sistema iônico saturado de íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} . Atingida a concentração de saturação, há a formação de microcristais de dihidratos de baixa solubilidade e pouco estáveis, conhecidos como hidratos primários.
- ii. A indução – durante este período, acontece a estabilização dos hidratos primários constituindo os núcleos de cristalização, denominados também “germes de nucleação”.
- iii. Crescimento dos núcleos de cristalização – é o período que a partir de uma solução supersaturada, os íons se depositam sobre os núcleos de cristalização, iniciando-se o crescimento de cristais que se precipitam em forma de agulhas e entrelaçados. A baixa solubilidade do dihidrato formado permite a dissolução total do hemidrato. Nesta etapa as reações são extremamente exotérmicas.
- iv. Redução das reações – compreende a etapa em que ocorre a redução gradativa dos constituintes anidros e da velocidade das reações de hidratação.

As reações de hidratação do gesso são exotérmicas, isto é, liberam calor durante seu desenvolvimento. A determinação da quantidade de calor liberada ao longo do tempo é feita por meio de ensaios calorimétricos, que revelam a cinética das reações. Os resultados são representados por curvas calorimétricas que possibilitam a identificação das diferentes etapas do mecanismo de hidratação do material (JOHN; CINCOTTO, 2007). O mecanismo de hidratação pode ser explicado por meio da calorimetria. (ANTUNES, 1999) explica o fenômeno da pega das pastas de gesso a partir das curvas do calor de hidratação (Figura8).

Figura 8 – Exemplo de curva de calor de hidratação de uma pasta de gesso.



Fonte: Antunes (1999).

A curva de calor de hidratação de uma pasta de gesso é apresentada em três etapas, em que, na primeira etapa, ocorre uma pequena hidratação, seguida pelo período de indução. Essa etapa é finalizada quando a taxa de elevação da temperatura ultrapassa $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, caracterizando o início de pega. A segunda etapa é caracterizada pela rápida elevação da temperatura, ou seja, a hidratação está evoluindo mais rápido. A terceira etapa é o instante em que a reação atinge a temperatura máxima que corresponde à conclusão da hidratação, sendo assim caracterizado o fim de pega.

2.5.1 Tempo de pega

A pega também pode ser descrita segundo um fenômeno físico. O início da reação corresponde à formação de núcleos de cristais de gipsita que crescem durante o período de indução. Passado esse período, os cristais de dihidrato começam a precipitar ocasionando um aumento na consistência da pasta conhecido como início de pega. Com o aumento da taxa da reação de hidratação a pasta vai adquirindo cada vez mais resistência mecânica até o seu completo endurecimento, diz-se então que se deu o fim de pega (ANTUNES, 1999).

Segundo Ribeiro (2006), o tempo de início de pega é considerado o intervalo de tempo entre a hidratação do gesso e o instante em que começa o processo de endurecimento do material. A partir daí a pasta já não deve ser manuseada. E o fim de pega é o momento em que a hidratação dos componentes anidros alcança o incremento máximo de temperatura das reações de hidratação e coincide com o final da etapa, há o endurecimento da pasta com o aumento da concentração dos cristais (PINHEIRO, 2011).

Durante a pega acontece o endurecimento da pasta de gesso, o material passa ter mais resistência, devido à redução do volume de água, que se combina com o material anidro, formando cristais hidratados, com volume superior ao volume de sólidos originais, adquirindo a forma de um sólido contínuo com porosidade, gradualmente, passando da menor a maior resistência (JOHN; CINCOTTO, 2007).

Quando a maior parte das reações de hidratação do material for processada acontece o fim da pega do gesso, o que pode ter uma duração em torno de duas horas. Porém, devido ao prosseguimento das reações de hidratação o material continua adquirindo resistência até 20 horas. A partir desse momento o ganho de resistência do material ocorre por evaporação devido à secagem da água de amassamento do material (JOHN; CINCOTTO, 2007).

2.5.2 Fatores que influenciam a cinética da reação de hidratação e a pega das pastas de gesso

A cinética da reação de hidratação do gesso é influenciada por vários fatores como: a relação água/gesso; a energia de hidratação do gesso; a temperatura da água de amassamento; a umidade relativa do ar; a presença de impurezas que age como pontos de nucleação e a presença de aditivos (ANTUNES, 1999).

A relação água/gesso influencia a cinética da reação de hidratação e, consequentemente, na pega do gesso. Com o aumento da quantidade de água de amassamento, há um aumento do intervalo de tempo necessário para saturar a solução, causando a ampliação do período de indução retardando o início da precipitação dos cristais de dihidrato e, consequentemente, aumento do tempo de pega (ANTUNES, 1999). Assim sendo, quanto maior a relação água/gesso, menor a taxa da reação e maior o tempo de pega (RIBEIRO, 2006).

O incremento de energia na mistura da pasta de gesso também tem grande influência na cinética da reação de hidratação, pois a energia aplicada na mistura aumenta a dispersão do pó na água de amassamento acelerando o processo de hidratação devido à formação de uma quantidade maior de núcleos de cristalização (BERNHOEFT, 2010).

A temperatura de água de amassamento influencia a solubilidade do gesso. Quando há um aumento da temperatura da mistura, o tempo de pega diminui devido à taxa de difusão dos íons que também aumenta acelerando a taxa de reação. Acima de 50 °C, o efeito torna-se contrário porque a solubilidade de hemidrato comparado com o

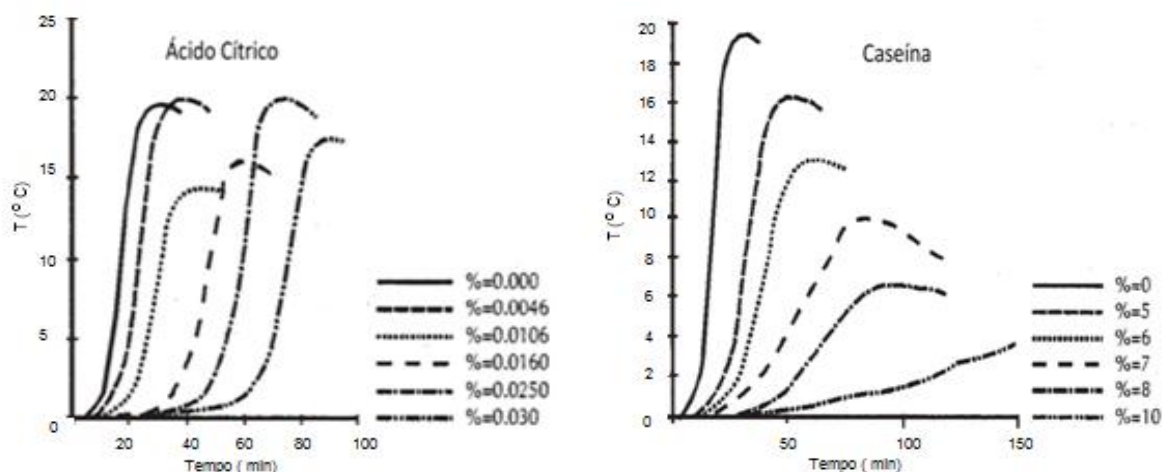
dihidrato diminui. Em temperatura acima de 100 °C a taxa de solubilidade para o hemidrato passa ser a mesma do dihidrato (RIBEIRO, 2006).

O tamanho das partículas também influencia a cinética da reação. Com a diminuição do tamanho das partículas e consequente aumento da área específica do material, há um aumento da taxa de hidratação (RIDGE, 1961; MAGNAN, 1973; KARNI, 1995 *apud* ANTUNES, 1999).

Durante o preparo das pastas, as quantidades de impurezas e de gipsita contidas no gesso atuam como núcleos de cristalização, acelerando a reação de hidratação, e consequentemente, o tempo de pega (ANTUNES, 1999).

Os aditivos controladores de pega interferem acelerando ou retardando a velocidade da reação de hidratação e, consequentemente, no tempo de pega. Os aceleradores interferem aumentando a hidratação por aumentarem a solubilidade do hemidrato. Para os retardadores são observados dois efeitos básicos: o primeiro é que alguns retardadores de pega (Figura 9), como ácido cítrico e a caseína, em certos teores, ampliam o período de indução causando o deslocamento para direita da curva de calor de hidratação e o segundo, descreve que alguns aditivos retardadores além de ampliarem o período de indução e os tempos de início e fim de pega, alteram também a taxa de formação da estrutura cristalina do dihidrato (ANTUNES, 1999).

Figura 9 – Influência da utilização de diferentes tipos e teores de retardadores da pega em pastas de gesso.



Fonte: Adaptado de Pinheiro (2011).

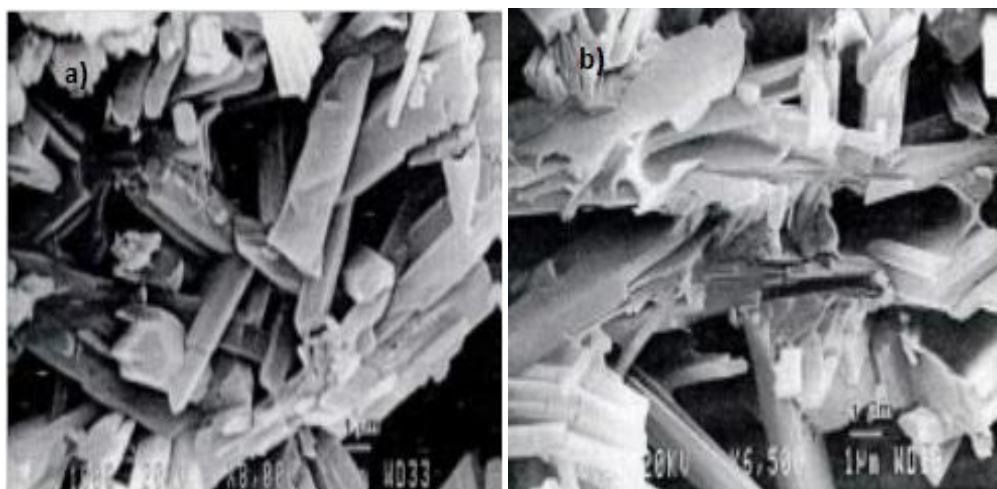
Em função dos fenômenos físicos e químicos que ocorrem durante o processo de hidratação dos hemidratos, as pastas de gesso apresentam diferentes variações de volume. A priori ocorre uma retração de volume que se estende até o início da pega (PINHEIRO, 2011). Em seguida, a pasta de gesso sofre uma intensa expansão, que gradualmente diminui até o final da pega e se encerra após um ou dois dias, quando a massa de gesso alcança a temperatura ambiente (JOHN; CINCOTTO, 2007).

2.5.3 Fatores influenciam as propriedades mecânicas da pasta de gesso endurecida

Segundo ANTUNES (1999), as propriedades físicas e mecânicas do gesso, no estado endurecido, são influenciadas diretamente por fatores, como:

- a) Formação da microestrutura – Os cristais de dihidrato crescem a partir de germes de cristalização ou núcleos. Quando a quantidade de núcleos é numerosa, o crescimento é rápido e há a formação de uma grande quantidade de pequenos cristais por unidade de volume da solução. Quando a quantidade de núcleos é pequena, o crescimento é lento, o que favorece a formação de cristais grandes. Esses fatores influenciam diretamente as propriedades mecânicas da pasta de gesso endurecida, pois microestruturas mais porosas formadas por cristais grandes são menos resistentes do que as mais densas formadas por cristais pequenos.
- b) Fatores influentes internos – A forma do cristal também influencia as propriedades mecânicas da pasta endurecida. Os cristais do dihidrato têm, predominantemente, a forma de agulhas (Figura 10a) e apresentam um bom intertravamento. A presença de impurezas e controladores de pega modifica a forma do crescimento dos cristais de dihidrato (Figura 10b), diminuindo suas propriedades mecânicas.

Figura 10 – Cristais de dihidrato, aumento 8000x (a) e cristais de dihidrato em presença de poliacrilamida, aumento de 6500x (b).



Fonte: Adaptado de Stavet *al.* (1991) *apud* Antunes (1999).

- c) Fatores influentes externos – Quando a pasta sofre um tratamento de choque na superfície, como desempeno, ocorre uma orientação na formação dos cristais provocando nesta região a compactação da camada que ficará com propriedades mecânicas superiores que as do interior da pasta.
- d) Propriedades mecânicas – As propriedades mecânicas das pastas de gesso são influenciadas pela relação água/gesso. De forma que, as propriedades mecânicas decrescem com o crescimento da relação água/gesso. Isto se explica pela relação entre o teor de água da pasta e a porosidade resultante (ANTUNES, 1999).

Segundo Antunes, (1999) as propriedades mecânicas como resistência à compressão, flexão, módulo de elasticidade e dureza das pastas mostraram-se relacionadas à porosidade total da pasta. Mudanças na distribuição dos poros e no tamanho dos cristais tiveram efeito bem inferior ao da porosidade total. Atribuindo à porosidade total da pasta a maior influência sobre a resistência.

A resistência de aderência é a propriedade da argamassa em manter-se fixa ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface argamassa/substrato (MACIEL; BARROS; SABATINI, 1998).

Para Nollhier (1986) *apud* Antunes (1999) o mecanismo de aderência dos revestimentos de gesso à base caracteriza-se um princípio físico. A água de amassamento saturada durante a aplicação da pasta é absorvida por capilaridade pela base possibilitando que os cristais de dihidrato se precipitem em seus poros. A

ancoragem ocorre desde interior do poro (base) até o revestimento pela formação de uma malha de cristais de dihidrato.

Segundo Antunes (1999) existem três fatores principais que podem impedir uma boa aderência:

- Com a utilização de gesso já hidratado não haverá ancoragem nem formação da malha; pois os cristais já estão formados;
- A sucção da base extremamente elevada pode retirar a água necessária à completa hidratação do gesso impedindo a formação da estrutura;
- A sucção da base muito baixa prejudica a ancoragem, pois a pasta não é absorvida.

2.5.4 Outras propriedades

O gesso no estado endurecido apresenta algumas propriedades específicas, como: a resistência ao fogo; o isolamento térmico e a higroatividade (SOUZA, 2009; PINHEIRO, 2011).

- Resistência ao Fogo – O gesso é um material não inflamável, combate a propagação do fogo e estabiliza a temperatura por um determinado tempo. Esta propriedade se deve ao consumo da água de cristalização do produto durante uma situação de incêndio, mantendo uma temperatura que não ultrapassa 40 °C;
- Isolamento Térmico – A capacidade de isolamento do gesso está associada diretamente a estrutura porosa do material que apresenta micro porosidade muito alta, acarretando em um baixo coeficiente de condutividade térmica, que aliada a uma baixa densidade faz com que o calor se propague mais lentamente no interior dos blocos, diminuindo a intensidade e retardando a transmissão de calor entre superfícies;
- Higroatividade – O gesso possui a capacidade de absorver e liberar o excesso de umidade do ambiente. A pasta de gesso endurecida absorve ou libera umidade, de acordo com as condições higrotérmicas e de ventilação do ambiente. Quando há um aumento de temperatura, a quantidade de vapor de água na atmosfera aumenta e o gesso absorve a água. Quando ocorre o inverso, o gesso libera rapidamente a água absorvida, proporcionando conforto ambiental e prevenindo a condensação de vapor d'água sobre a superfície.

2.6 Empregos da gipsita e do gesso

Devido às suas características peculiares, a gipsita, nas formas natural e calcinada, encontra aplicação em uma série de atividades industriais.

Segundo Baltar, Bastos e Luz (2005), a gipsita pode ser utilizada na forma natural ou calcinada. A forma natural é bastante usada na agricultura e na indústria de cimento. Enquanto a forma calcinada, conhecida como gesso, encontra várias utilizações na construção civil, como material ortopédico ou dental etc.

Na indústria cimenteira, a gipsita é adicionada ao clínquer durante a moagem, na proporção de 2 a 5%, para retardar o tempo de pega do cimento.

Na agricultura, a gipsita pode atuar como:

- a) Agente corretivo de solos ácidos, como fonte de cálcio;
- b) Fertilizante em culturas específicas como amendoim, batatas, legumes e algodão;
- c) Condicionador de solos, aumentando a permeabilidade, a aeração, a drenagem, a penetração e retenção da água.

Na forma calcinada, o hemidrato (gesso) é dividido em dois grupos: o gesso da construção civil e o gesso industrial.

O gesso industrial é obtido a partir dos hemidratos α ou β , dependendo da aplicação. A partir do gesso β dos tipos A e B, são produzidos outros tipos de gessos para aplicações específicas: gesso cola; gesso projetado; gesso com pega retardada; gesso cerâmico; argamassa auto nivelante e giz. A partir do gesso α são obtidos, além dos gessos cerâmicos, os gessos ortopédico e dental (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

Segundo Baltar, Bastos e Luz (2005), o gesso empregado na construção civil é obtido a partir da calcinação da gipsita que produz um hemidrato β que, dependendo do processo, pode ser gesso de fundição (tipo A) e de revestimento (tipo B).

O gesso de revestimento de aplicação manual é utilizado para paredes e tetos, geralmente em substituição de rebocos e/ou massas para acabamento. A NBR 13867 (ABNT, 1997) – Revestimento interno de paredes e tetos com pastas de gesso. Esta norma fixa as condições exigíveis quanto aos materiais, preparo, aplicação e acabamento de revestimentos internos de paredes e tetos com pasta de gesso. O gesso a ser empregado deve estar especificado como gesso lento, dentro do prazo de validade e armazenado conforme a NBR 13207 (ABNT, 1994).

O gesso é aplicado direto na parede de bloco de tijolo sem as etapas do chapisco, reboco, massa fina e massa corrida, reduzindo assim, as quatro etapas apenas para uma aplicação do mesmo (Figura 11).

Figura 11–Aplicação do revestimento em pasta de gesso observado em obra visitada em 2012.



Fonte: Autor (2013).

O revestimento em pasta de gesso pode ser aplicado em várias camadas até atingir o nivelamento perfeito. A camada de revestimento com pasta de gesso deve ter espessura a mais uniforme possível e ser cuidadosamente espalhada.

São muitas as vantagens do revestimento em gesso na construção civil: Superfícies mais planas, regulares e com pequenas espessuras; menor custo; maior produtividade no serviço; aumento da competitividade; diminuição do tempo para aplicação do acabamento final, em relação à argamassa produzida com cimento.

O gesso de fundição é utilizado para a confecção de pré-moldados de gesso, como placas para execução de forros suspensos e blocos para divisórias, destinados à construção civil ou para confecção de elementos decorativos como estatuetas e imagens (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

Os blocos de gesso são elementos de vedação vertical, pré-moldados, utilizados na construção de divisórias internas ou paredes não estruturais de edificações. Apresentam ranhuras e linguetas que facilitam seu encaixe e devem ser perfeitamente planos.

A distinção entre os gessos para fundição e os gessos para revestimento é determinada por meio do tempo de pega e pelo módulo de finura (PINHEIRO, 2011).

Dentre as prescrições normativas brasileiras propostas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), é possível encontrar Normas Brasileiras Registradas (NBR), que estabelecem critérios a serem seguidos para execução de testes e ensaios relativos à obtenção de medidas de propriedades do gesso para utilização na construção civil: As normas segundo ABNT estão apresentadas abaixo:

- MB 3468 (ABNT, 1991) Gesso para construção - determinação das propriedades físicas do pó;
- MB 3469 (ABNT, 1991) Gesso para construção - determinação das propriedades físicas da pasta;
- MB 3470 (ABNT, 1991) Gesso para construção - determinação das propriedades mecânicas;
- MB 3471 (ABNT, 1991) Gesso para construção- determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico – métodos de ensaios;
- NBR 13207 (ABNT, 1994) Gesso para construção civil.

O gesso para construção civil (gesso fino para revestimento, gesso fino para fundição, gesso grosso para revestimento, gesso grosso para fundição), deve atender às exigências físicas, conforme a NBR 13207 (ABNT, 1994), indicadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Exigências com relação às propriedades físicas do gesso para uso em construção civil.

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

Fonte: adaptado pelo autor a partir da Norma NBR 13207 (ABNT, 1994).

As características físicas e mecânicas do gesso exigidas pela NBR 13.207 (ABNT, 1994) devem atender às exigências indicadas na Tabela 3. São determinadas pela a resistência à compressão axial, a dureza superficial e a massa unitária.

Os limites propostos para a resistência à compressão axial e a dureza consideram a relação água/gesso (a/g) necessária àquela obtida para uma pasta de consistência normal. A Norma estabelece os mesmos limites para todos os tipos de gesso.

Tabela 3 - Exigências físicas e mecânicas do gesso para construção civil.

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

Fonte: adaptado pelo autor a partir da Norma NBR 13207 (ABNT, 1994).

2.7 Produtos do gesso com aplicação na construção civil

Na construção civil o gesso pode substituir outros materiais como a cal, o cimento, o aço, a alvenaria e a madeira. É também utilizado na confecção de moldes para indústrias cerâmica, metalúrgica e plástica; em moldes artísticos, ortopédicos e dentários; como agente desidratante; como aglomerante do giz e na briquetagem do carvão. Por sua resistência ao fogo, o gesso é empregado na confecção de portas corta fogo; na mineração de carvão para vedar lâmpadas, engrenagens e áreas onde há perigo de explosão de gases. O gesso em mistura com o amianto é ainda isolante térmico para cobertura de tubulações e caldeiras, enquanto isolantes acústicos podem ser produzidos com a adição de material poroso ao gesso (DNPM, 2011).

Os principais usos de gesso na construção civil são os apresentados na Tabela 4 a seguir. Vê-se que o maior volume é usado na pré-fabricação de elementos construtivos de gesso. O uso em revestimentos também é significativo (SINDUSGESSO, 2013).

Tabela 4 – Principais usos de gesso na construção civil.

Produção Anual do Pólo Gesseiro no emprego do gesso na construção civil	
Moldes	3%
Revestimento	35%
Peças pré-fabricadas	61%
Outros	1%

Fonte: SINDUSGESSO (2013).

Entre as normas mais específicas quanto à aplicação do gesso na construção são encontradas as NBR apresentadas a seguir, no entanto, a contextualização abrange somente características físicas da peça e instruções sobre o método de aplicação.

- NBR 12775 (ABNT, 1992) – Placas lisas de gesso para forro – determinação das dimensões e propriedades físicas.
- NBR 13867 (ABNT, 1997) – Revestimento interno de paredes e tetos com pastas de gesso – materiais, preparo, aplicação e acabamento.
- NBR 14715-1(ABNT, 2010) – Chapas de gesso para *drywall* – Parte 1: Requisitos.
- NBR 14715-2 (ABNT, 2010) – Chapas de gesso para *drywall* – Parte 2: Métodos de ensaio.

Particularmente, o gesso, como material de construção, é utilizado para execução de revestimentos, em blocos e painéis de vedação, forros e como elemento de decoração nas edificações pode ser aplicado como sanca, moldura, barrado, rodapé, rebaixamento de teto e como contorno em volta de batentes de portas e janelas. Estes produtos serão descritos a seguir.

No Brasil, a aplicação do gesso para revestimento na forma de pasta é normatizada pela NBR 13867 (ABNT, 1997). O gesso, conhecido como "gesso liso", pode ser aplicado direto na parede de bloco de tijolo substituindo as etapas do chapisco, reboco e massa corrida. Quando aplicado direto na parede fica com um acabamento fino igual ao da massa corrida.

Placas de gesso são utilizadas para a execução de forros e rebaixamento de teto na construção civil. No Brasil, as placas são produzidas nas dimensões de 60 x 60 cm ou 65 x 65 cm e com espessura que varia de 12 a 20 mm. Forros com placas de gesso são executados com elementos pré-moldados, fixados à estrutura de suporte por pendurais - arames de sustentação (Figura 12). As placas são coladas com gesso-cola e rejuntadas com pasta de gesso.

Figura 12 - Forro com placas de gesso observado em obra visitada em 2012.



Fonte: Autor (2013).

A Tabela 5 apresenta as principais propriedades requeridas para as placas de gesso segundo a legislação brasileira

Tabela 5 – Exigências físicas e mecânicas para placas lisas de gesso para forro tipo 65.

Propriedades físicas e mecânicas	Unidade	Valores
Dimensões da placa	mm	$650,0 \pm 2,0$
Espessura do reforço lateral	mm	$30,0 \pm 1,0$
Largura do reforço lateral	mm	$\geq 25,0$
Espessura na região central	Mm	$12,0 \pm 2,0$
Massa específica	Kg/m ²	$\geq 950,0$
Resistência à flexão	MPa	$\geq 3,0$
Resistência do elemento de fixação	N	≥ 300
Peso	Kg	$7,0 \pm 0,5$
Deflexão na diagonal	mm	$\leq 1,0$
Folga nos encaixes macho/fêmea	mm	$\leq 0,5$

Fonte: Adaptado de Ribeiro (2006).

A Figura 13 ilustra os blocos de gesso como elemento de vedação vertical utilizados para a execução de paredes e divisórias internas nas edificações. Blocos de gesso constituídos por peças pré-moldadas em forma de paralelepípedo e um sistema de encaixe macho-fêmea são utilizados para a execução de alvenarias modulares.

Processos de execução das alvenarias com bloco de gesso constam das etapas de: assentamento da alvenaria, rejuntamento e acabamento.

Figura 13 – Execução de paredes internas com blocos de gesso observado em obra visitada em 2012.



Fonte: Autor (2013).

Placas de gesso para *drywall* (Figura 14) são elementos utilizados como divisórias nas edificações com o seu interior de gesso e o seu revestimento feito por um papel cartão especial pronta para o uso na obra para vedação de alvenarias. São produzidas por meio de um processo de laminação contínua de uma mistura de gesso, água e aditivos prensados entre duas lâminas de cartão.

Figura 14 – Execução de divisória interna com placas de gesso para *drywall* observado em obra visitada em 2012.



Fonte: Autor (2013).

As especificações técnicas, características geométricas e físicas das placas são determinadas pelas normas NBR 14715-1(ABNT, 2010) – Chapas de gesso para *drywall* – Parte 1: Requisitos, que especifica os requisitos para as chapas de gesso para *drywall* destinadas à execução de paredes, forros e revestimentos internos não estruturais e a NBR 14715-2 (ABNT, 2010) – Chapas de gesso para *drywall* – Parte 2: Métodos de ensaio, que estabelece os procedimentos laboratoriais para a determinação das características geométricas e físicas, e os métodos de ensaio que devem ser aplicados para ensaiar as chapas de gesso para *drywall*.

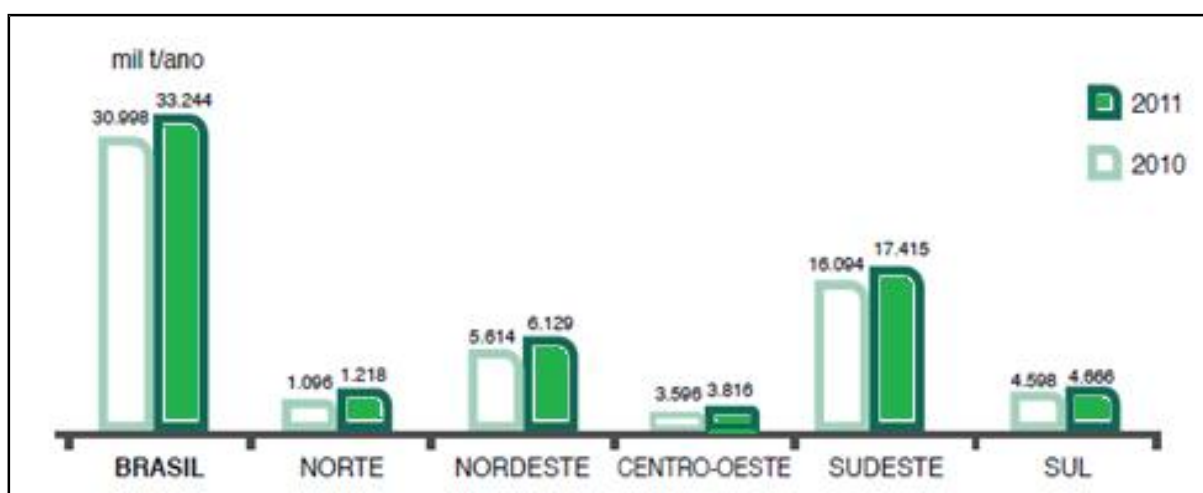
2.8 Geração de resíduo de gesso da construção civil.

Nos termos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PRNS) são considerados resíduos de construção civil os resíduos gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis, os quais são de responsabilidade do gerador dos mesmos (ABRELPE, 2011).

Os resíduos oriundos da construção civil passam a ser atualmente, o grande problema das cidades, pois agredem o meio ambiente, impermeabilizam o solo, entopem galerias, ajudam na proliferação de insetos, doenças. Pedacos de telha, tijolos, concreto, cerâmica, gesso, madeira e outros tipos de materiais são amontoados nas calçadas, ruas, rodovias e até mesmo em Área de Proteção Permanente - APP (MUSTAFA, 2008).

A Figura 15 mostra que os municípios brasileiros nas suas diversas regiões geográficas obtiveram um aumento de 7,2% em comparação entre os dados de coletas de RCD de 2011 com 2010, pois coletaram mais de 33 milhões de toneladas de RCD em 2011. Já evidenciada em anos anteriores as quantidades apresentadas são expressivas, demandando atenção especial na gestão desses resíduos pelos municípios, já que a responsabilidade para com os resíduos de construção civil e demolição (RCD) são dos respectivos geradores, que nem sempre informam às autoridades os volumes de resíduos sob sua gestão, podendo as quantidades reais ser ainda maiores (ABRELPE, 2011).

Figura 15 – Total de RCD coletados por região no Brasil.



Fontes: ABRELPE (2010, 2011).

A quantidade total de RCD coletado pelos municípios no Brasil em 2011 (Tabela 6), em relação aos dados de RCD de 2010, resultou na constatação de um aumento de mais de 7% na coleta dos mesmos.

Tabela 6 – Quantidade total de RCD coletado pelos municípios no Brasil.

Região	2010	2011		
	RCD Coletado (t/dia)/ Índice (Kg/habitante/dia)	População Urbana (habitantes)	RCD Coletado (t/dia)	Índice (Kg/habitante/dia)
BRASIL	99.354/0,612	162.318.568	106.549	0,656

Fonte: ABRELPE (2011).

Em Fortaleza, o entulho da construção civil representa, atualmente, 33% das 3.2 mil toneladas dos resíduos sólidos produzidas por dia. Desse total, 70% são oriundos de geradores de pequeno porte, ou seja, pessoas que fazem pequenas reformas em suas residências, enquanto os demais 30% se originam nos canteiros de obras das maiores construtoras que atuam na capital (ELIAS, 2009).

No ano de 2011 segundo dados da Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental (ACFOR) cerca de 1,758 milhões de toneladas de resíduos sólidos foram depositados no Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia (ASMOC), representando aproximadamente 4,8 mil toneladas/dia de resíduo gerado. Esse valor corresponde somente ao que foi gerado em Fortaleza (PMGIRS, 2012).

Cada amontoado de entulho, localizados em lugares movimentados, na cidade ou no campo, às margens de rios ou avenidas, significa desperdício, pois a maioria dos materiais é reaproveitável. O descaso com o tratamento desse tipo de resíduo apresenta um lado negativo para as cidades, pois a maior parte é destinada a locais não permitidos, causando sérios danos ao meio ambiente e altos custos para sua remoção.

Segundo Pinheiro (2011), o volume dos resíduos de gesso varia em função da cultura local, do uso e dos sistemas construtivos adotados. Em países como os Estados Unidos, onde é intenso o uso de construções com o gesso para *drywall*, o volume de resíduos de gesso é de 20% em relação aos demais constituintes do resíduo de construção civil – RCC (WORLD WASTE, 1994, *apud* MUNHOZ, 2008). No Brasil, este valor é menor e varia entre 1% e 15% em função da região e dos métodos adotados no levantamento, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Volume de resíduos de gesso gerados durante as atividades de construção e demolição no Brasil.

Localidade	Atividade	Resíduo gerado
Londrina PR	Construção	15%
Campina Grande - PB	Construção	15%
São Carlos – SP	Construção/ demolição	1%
Petrolina – PE	Construção/ demolição	3%
Recife – PE	Construção/ demolição	4%
Campinas SP	Construção/ demolição	28%

Fonte: Adaptada de Pinheiro (2011).

Durante a fase de aplicação, existe grande geração de resíduo devido à alta velocidade de endurecimento do gesso de construção, associado à falta de consciência e tecnologia aplicada ao processo de aplicação de pasta de gesso em revestimentos. Estima-se que o índice de desperdício seja equivalente a 45% (NITA *et al.*, 2004 *apud* TAVARES, 2010) de todo o gesso utilizado. Já o gesso aplicado como revestimento, diretamente sobre alvenaria, gera uma quantidade maior de resíduos, em torno de 35% (MUNHOZ, 2008).

Seja por consciência ambiental, ou por exigência da legislação, é crescente a preocupação com a gestão de resíduos no canteiro de obra, pois essa elevada geração de

resíduo causa problemas econômicos e ambientais, devido ao desperdício do material e ao custo elevado para sua correta destinação.

Através medições das perdas típicas de matérias na construção civil feita pelo projeto FINEP HABITARE, estima-se que o desperdício 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 (JOHN; CINCOTTO, 2003).

O problema desta geração de resíduo possui um agravante além da óbvia problemática econômica, que é o impacto ecológico. Afinal, segundo a Resolução N° 431 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) que entrou em vigor em 2011, este resíduo é classificado como Classe B, passível de reciclagem/recuperação. Ou seja, este resíduo quando gerado não poderá ser mais enviado para os aterros e deverá necessariamente ser reutilizado, reciclado ou encaminhado a áreas de armazenamento temporário, permitindo assim sua reutilização futura.

Os resíduos são gerados especialmente devido à velocidade de endurecimento associada à aplicação manual por mão de obra frequentemente de baixa qualificação. Outro fator, é que parte das perdas permanece na parede como excesso de espessura e outra parte serão incorporados aos resíduos da construção, fornecendo um material potencialmente contaminado (JOHN; CINCOTTO, 2007).

Os tipos de resíduos gerados na construção civil estão relacionados abaixo, conforme o gesso empregado na construção civil:

- Resíduo de gesso gerado no revestimento manual de alvenaria e teto;
- Resíduo de gesso gerado na execução de forro com placas;
- Resíduo de gesso gerado na execução de alvenarias com blocos;
- Resíduos de gesso *drywall* na execução de divisórias com chapas;
- Resíduo de gessos gerados na execução dos elementos de decorativos;
- Resíduo de gessos demolição.

A seguir detalharemos estes tipos de resíduos de gesso gerados pelo setor da construção civil.

a) Resíduo de gesso gerado no revestimento manual

Um dos principais usos do gesso é como revestimento de alvenaria. O preparo, aplicação e acabamento do revestimento interno das paredes e tetos com pasta de gesso é especificada pela norma, NBR – 13867 (ABNT, 1997). A pasta de gesso deve ser preparada em quantidades suficiente para ser aplicada antes do início da pega, pois a

pasta ao se encontrar no estado de endurecimento não se tornará novamente trabalhável com adição de água. A aplicação só pode ser feita até o tempo final de utilização, quando a morte do gesso, pois este já não adere ao substrato ou à camada de aplicação.

A geração de resíduos ocorre tanto na operação de aplicação quanto no posterior nivelamento da superfície do revestimento. Os resíduos são gerados devido à perda de material que ocorre no preparo da pasta e do que cai durante a aplicação da pasta na parede e das perdas por conta do endurecimento da pasta. Muitas vezes por causa da qualidade do gesso, outras vezes pela mão de obra não qualificada, gerando um desperdício de até 35% da pasta de revestimento (Figura 16).

Figura 16 – Nivelamento da superfície e resíduos gerados na aplicação.



Fonte: Autor (2013).

b) Resíduo de gesso gerado na execução de forro

O Gesso é utilizado para execução de forros. A geração de resíduos ocorre não só com as quebras, mas também com os ajustes dimensionais exigidos durante a aplicação. Os resíduos de gesso gerados nesta atividade são provenientes de quebra e manuseio no transporte, e da pasta e da cola de gesso utilizados no acabamento durante a execução dos forros de gesso (Figura 17), muitas placas se quebram durante o transporte, manuseio e aplicação gerando os resíduos que são descartados juntamente com outros materiais (entulhos). As placas para forro de gesso devem obedecer às exigências da NBR 12775 (ABNT, 1992).

Figura 17 – Placas de forro gesso e resíduos gerados durante a execução do forro.



Fonte: Autor (2013).

c) Resíduo de gesso em blocos

O Gesso, também, é utilizado para execução alvenaria, em blocos e painéis de vedação. Os resíduos de blocos (Figura 18) são gerados principalmente quando são necessários recortes ou ajustes dimensionais. Os resíduos se constituem da grande quantidade de pedaços de blocos que sobram e se juntam durante a execução da alvenaria e da quebra dos blocos para instalação das tubulações hidráulicas e elétricas.

Figura 18 – Resíduos gerados durante os recortes e ajustes dimensionais dos blocos.



Fonte: Autor (2013).

d) Resíduo de placas de gesso *drywall*

A placa de gesso *drywall* é produzida industrialmente, sendo o seu interior de gesso e o seu revestimento feito por um papel cartão especial pronta para o uso na obra para vedação de alvenarias.

O resíduo é gerado durante a execução das divisórias (Figura 19). No descarte, as peças de gesso *drywall* são mais fáceis de separar na hora da triagem de entulho devido ao seu tamanho e por ficarem isoladas dos demais componentes construtivos. Estima-se que 5% do gesso *drywall* é transformado em resíduos durante a construção no Brasil (JOHN; CINCOTTO, 2003).

Figura 19 – Resíduos gerados durante a execução das divisórias de gesso *drywall*.



Fonte: Autor (2013).

Segundo Nascimento *et al.* (2010). Em estudo feito em empresa na execução de gesso *drywall* foi verificado que a maioria das perdas de gesso estava relacionada com o projeto executivo das paredes de gesso. Também perceberam erros de especificações, pois as placas fornecidas em tamanho padrão eram menores do que o pé-direito onde seriam instaladas. Gerando assim, desperdício de material durante a execução das emendas.

e) Resíduo de gessos gerados durante a execução dos elementos de decoração (Sanca, rodapê, moldura e outros)

O Gesso, como material de construção, é utilizado como peças de gesso em ornamentos cuja instalação é em geral simples. Em sua instalação não exige mão de obra muito qualificada, mas em alguns casos é necessário um trabalho artesanal. Em sua utilização como elemento de decoração nas edificações, o gesso pode ser aplicado como

sanca, moldura, barrado, rodapé, rebaixamento de teto e como contorno em volta de batentes de portas e janelas, nichos em paredes, consolos e até alguns mais clássicos como colunas, abobadas sobre lareiras, etc. As sobras dos elementos que se quebram durante o transporte, manuseio e aplicação constituem os resíduos.

f) Resíduo gerado da armazenagem dos gessos

O local de armazenagem dos resíduos de gesso na obra deve ser seco. Armazenagem pode ser feita em baia com piso concretado ou em caçamba. Em ambos os casos, o local deve ser coberto e protegido das chuvas e outros possíveis contatos com água. Os blocos de gesso devem ser armazenados em pilhas protegidos da chuva e nunca devem ser deixados a céu aberto ou em contato com água (Figura 20).

Figura 20 – Blocos de gesso armazenados em obra visitada em 2012.



Fonte: Autor (2013).

O gesso não deve ser armazenado por um longo período de tempo em altos valores de umidade. Os sacos de gesso devem ser armazenados em locais secos e protegidos, para preservação da qualidade, e de fácil acesso à inspeção e identificação de cada lote. As pilhas devem ser colocadas sobre estrados e não devem conter mais de 20 sacos superpostos (NBR 13207, 1994).

2.9 Gestão de resíduos de gesso da construção civil

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída pela Lei N° 12.305/2010, e regulamentada pelo Decreto N° 7.404/2010, na busca de soluções originadas pelos resíduos sólidos, estabelece que as empresas devam adotar ações que facilitem a coleta, tratamento e reaproveitamento dos resíduos em novos produtos,

insumos ou ciclos produtivos, de maneira a dar a destinação ambientalmente adequada apenas aos rejeitos.

Produzindo mudanças mais profundas e eficazes no setor da construção civil, principalmente na forma de tratar esses resíduos. Essa política criou alguns instrumentos jurídicos relevantes que muito contribuirão para diminuição dos resíduos no País. Dentre esses instrumentos, pode-se destacar a responsabilidade compartilhada e o sistema de logística reversa (DRYWALL, 2012).

Embora os resíduos da construção civil não sejam obrigados ao sistema de logística reversa, ressalta-se que estes possuem uma regulamentação específica elaborada pelo CONAMA.

O CONAMA, órgão normativo das ações relacionadas às atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, explica e determina o que pode e deve ser feito com cada tipo de resíduo gerado na construção civil. A resolução atribui responsabilidades aos geradores, um plano de gestão para cada empreendimento; transportadores e gestores públicos uma política municipal, com relação ao resíduo de construção e demolição.

A Resolução CONAMA 307 (2002) estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos gerados pelo setor, abrangendo desde a caracterização e a classificação desses resíduos, passando por sua coleta e armazenagem, indo até sua destinação final, definindo ainda as respectivas responsabilidades em cada etapa.

O Sistema de gestão de resíduos compõe-se das atividades de caracterização, transporte, triagem ou segregação, reuso, reciclagem e deposição em aterro.

Para tanto, a Resolução CONAMA 307 (2002) determina que tipo de destinação final deva ser dado a cada resíduo, apresentando diversas classificações para os diferentes tipos de resíduos gerados na construção civil, de acordo com o risco que oferecem ao meio ambiente e a viabilidade técnica e econômica de seu reaproveitamento.

As Classes B e C receberam nova redação na Resolução CONAMA 431 (2011), estabelecendo nova classificação para o gesso e a Classe D, recebeu nova redação na Resolução CONAMA 348 (2004), incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Essa classificação é apresentada na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 – Classificação dos resíduos de construção e demolição.

Classe	Definição	Exemplos
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados	Componentes cerâmicos, argamassa, concretos, solos, blocos, tubos, meio-fio e etc.
B	Resíduos recicláveis para outras destinações	Plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso.
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação	Lixas e mantas asfálticas.
D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção	Tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Fonte: Adaptado pelas Resoluções CONAMA 307/02; 348/04 e 431/11.

A Resolução CONAMA 431, de 2011 reclassificou o resíduo de gesso como passível de reutilização e reciclagem. Agora, o gesso de construção, que é composto de sulfato de cálcio ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) e pode conter vários metais pesados, é classificado como Classe B, passível de reciclagem. Isto significa que o resíduo de gesso não poderá ser mais enviado para os aterros e deverá necessariamente ser reutilizado, reciclado ou encaminhado a áreas de armazenamento temporário, permitindo assim sua reutilização futura. Desta forma, estabelecendo critérios para a gestão dos resíduos da construção civil, de forma a minimizar seus impactos ambientais se mal aproveitados ou dispostos de forma inadequada, obrigando os geradores a buscar soluções de reciclagem para os resíduos do setor de construção.

A NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica o gesso como resíduo não inerte devido à sua natureza sulfática e a alta solubilidade. O material deve ter destinação final em áreas apropriadas, de forma a evitar a contaminação do solo e do lençol freático, com

aumento da acidez e sulfurização do ambiente, que contribuem para a proliferação de microrganismos patogênicos.

A Resolução CONAMA 307 (2002) estabelece que os geradores devam ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.

Todos os resíduos de gesso devem ser coletados e armazenados em local específico nos canteiros (Figura 21). Devem ser separados de outros materiais como madeira, metais, papéis, restos de alvenaria (tijolos, blocos, argamassa, etc.) e lixo orgânico.

Figura 21–Container de coleta dos resíduos de gesso.



Fonte: Autor (2013).

Os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei (CONAMA, 2002).

Segundo a Resolução CONAMA 307 (2002), os resíduos da construção civil deverão ser destinados das seguintes formas, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Áreas de destinação para cada classe de resíduos.

CLASSE	DESTINAÇÃO
Classe A	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
Classe B	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
Classe C	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
Classe D	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Fonte: Adaptado pela Resolução CONAMA 307/2002.

A Resolução CONAMA 307 de 2002 atribui a obrigação pela destinação correta dos resíduos ao gerador, que será o responsável pela correta destinação desse resíduo. Assim, para os resíduos da construção civil, entre eles o resíduo de gesso, se aplica a responsabilidade do gerador do resíduo.

A Resolução CONAMA 307 de 2002 também determina a responsabilidade dos municípios de elaborarem o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PIGRCC), estabelecendo, entre outras obrigações, o cadastramento das Áreas de Transbordo e Triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos (ATT), que são as áreas aptas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes de resíduos, para sua destinação posterior ao beneficiamento.

Em vários municípios brasileiros já existem as ATTs, licenciadas pelas respectivas prefeituras para receber resíduos de gesso, entre outros materiais e empresas que respondem pela coleta dos resíduos nas obras, mediante o pagamento de uma determinada taxa por metro cúbico (DRYWALL, 2012).

2.10 Reciclagem de resíduos de gesso da construção civil

Construir um futuro sustentável é o maior desafio deste século, isso significa atender o aumento da demanda por matérias-primas sem esgotar os recursos naturais, conciliando a necessidade de reduzir as pressões sobre o meio ambiente com um desenvolvimento econômico equitativo e justo, capaz de promover qualidade de vida para todos.

No entanto, a quantidade de resíduo da construção civil vem crescendo de forma desordenada pelas cidades (Figura 22), sendo depositado de forma incorreta em bota-fora, etc. Esse cenário se apresenta como grande oportunidade para a reciclagem dos resíduos da construção civil, além de possibilitar a oferta de produtos.

Figura 22 – Destinação inadequada de resíduo de RCD.



Fonte: Autor (2013).

A remoção seletiva do resíduo de gesso no local de demolição é da maior importância. Na prática, o gesso é algumas vezes removido sem os devidos cuidados durante o processo de demolição. Acontece dos demolidores misturarem pequenas quantidades de gesso com outros entulhos para evitar custos de deposição (HENDRIKS *et al.*, 2007).

Segundo a resolução CONAMA 431 (2011), o gesso como resíduo da construção civil é classificado como material da classe B, que abrange os materiais considerados como passíveis de serem reciclados, sem que seja na forma de agregado, permitindo assim sua reutilização ou reciclagem.

A promoção da reciclagem além de minimizar as agressões ao meio ambiente pode gerar uma economia significativa e um novo mercado para o resíduo de gesso. De

acordo com o presidente da Usifort, com o reaproveitamento do material além do benefício ambiental, as obras podem ficar até 30% mais baratas, pois cerca de 70% do lixo gerado nas metrópoles vêm da construção civil. Em Fortaleza são mil toneladas de entulho de construção descartadas todos os dias (PMGIRS, 2012).

Existem diversas formas de aproveitamento dos resíduos de gesso. Em cada caso, o processo envolve o uso de aditivos (agregados, produtos químicos, corantes etc.). Alguns casos na própria área da construção civil como fabricação de pré-moldados de gesso e na indústria de produção de gesso, reprocessando os resíduos dos produtos pré-moldados (NASCIMENTO *et al.*, 2010). Outros casos na agricultura como a correção de cálcio ou da acidez do solo; aditivo para compostagem; forração de animais; absorvente de óleo; controle de odores em estábulos; secagem de lodo de esgoto (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

Segundo Sapatini *et al.* (2011), a reinserção dos RCD no processo produtivo da construção civil evita a extração dos recursos naturais não renováveis.

Em processos de reciclagem simples, constituídos de etapas de moagem associada à calcinação, é possível utilizar o resíduo de gesso de construção como matéria-prima, controlando as impurezas e os contaminantes.

No setor de calcinação, no setor de beneficiamento de componentes e no setor da construção o resíduo de gesso na forma hidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), quando submetido ao processo de moagem, pode ser reintegrado. No setor de calcinação, o resíduo após moagem pode ser utilizado como matéria-prima para a produção de um novo gesso na forma semi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) e, no setor de beneficiamento de componentes e no setor da construção, como adição na produção de pasta (BERNHOEFT; PINHEIRO, 2011).

No setor de beneficiamento de componentes e no setor da construção, o resíduo de gesso na forma calcinada ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), após à moagem e à calcinação, pode ser reintegrado na produção de pasta como aglomerante (BARDELLA; CAMARINI, 2006; PINHEIRO, 2011).

Segundo Pinheiro (2011) os processos de reciclagem utilizados para proporcionar a reintegração do resíduo de gesso em sua cadeia produtiva, na forma hidratada ou calcinada, são localizados e experimentais. Conforme relatado pela *Gypsum Recycling International* (2012), em nível industrial, a reintegração do resíduo de gesso em sua cadeia produtiva foi verificada somente no setor de produção de chapas de gesso *drywall*.

A reversão das reações da forma hidratada/hemi-hidratada e da forma hemi-hidratada/hidratada possibilita a reciclagem do resíduo de gesso. Entretanto, a gestão adequada na produção do resíduo, de forma a reduzir a contaminação e os teores de impureza no resíduo, e o desenvolvimento de processos de moagem e calcinação que proporcionem ao material reciclado as características necessárias para um uso específico devem ser considerados nesse processo (JOHN; CINCOTTO, 2003; PINHEIRO, 2011).

Atualmente, em Fortaleza, existe uma Unidade de Reciclagem de Entulhos da Construção Civil, de propriedade da Usina de Reciclagem de Fortaleza (USIFORT), que recebe em média 5% do RCD gerado no município. Uma segunda usina, Usina de Reciclagem do Nordeste (USINE), situa-se em Itaitinga, fora do perímetro urbano de Fortaleza, encontrando-se em fase de licenciamento (PMGIRS, 2012).

Em *Vancouver*, Canadá, a *New West Gypsum Recycling Inc.* (NWGR, 2012) do setor de beneficiamento de componentes possui um sistema de reciclagem de resíduos onde o resíduo tratado é incorporado ao processo produtivo na etapa de beneficiamento. Os resíduos de gesso passam por uma esteira, onde um eletroímã remove fragmentos de metais ferrosos. Em seguida é transportado para uma área fechada de processamento que separa o forro de papel do núcleo da gipsita.

No sistema a companhia recebe resíduos de gesso pré e pós-consumo, reconstitui os materiais em produtos úteis e fornece a matéria-prima para uma nova fabricação. No processo de reciclagem 25% de gesso reciclável é combinado com rocha virgem ou gesso sintético para formar uma nova placa a níveis de consistência desejável.

2.11 Aspectos da literatura sobre a utilização do gesso reciclado na construção civil

A utilização da reciclagem do gesso na construção civil vem sendo estudada por diversos autores.

Cavalcanti (2006) visando à produção de um gesso com características apropriadas para reciclagem elaborou e confeccionou um reator batelada em escala de laboratório para produção de gesso beta a partir de material de confecção de pré-moldados de gesso hidratado (placas e/ou blocos), a uma temperatura de 170 °C e sob pressão 0,65 atm. Os resultados desse trabalho demonstram que é possível, a partir de tecnologia simples e de baixo custo, tornar o gesso obtido da desidratação térmica da gipsita um material reciclável.

Pinheiro (2011) ao analisar condições apropriadas para o processo de reciclagem dos resíduos de gesso de fundição utilizados na produção de componentes de gesso da

construção civil calcinado em temperaturas de 120 °C, 150 °C e 200 °C com os tempos de permanência de 1 h, 2 h, 5 h, 8 h, 16 h e 24 h, observou o comportamento físico e mecânico dos gessos reciclados e a influência em suas propriedades na presença de superplastificante a base de policarboxilato, concluindo que os gessos reciclados apresentaram características técnicas e de consumo energético similar ao gesso comercial.

Resultados semelhantes a esse trabalho foram encontrados por Bardella e Camarini (2006), os quais em um estudo realizado com gesso calcinado as temperaturas de 160 e 200 °C e tempo de queima de 24 h observaram maiores resistências mecânicas para o gesso reciclado em comparação com o gesso comercial, concluindo que o resíduo pode ser aproveitado como gesso comum.

Ribeiro (2006) estudou a possibilidade de obtenção do gesso a partir de resíduos de revestimento, de forro, de decoração e de moldes cerâmicos gerados na indústria da construção civil. Os ensaios de calcinação foram realizados nas temperaturas de 140, 175, 184, 189 e 200 °C. O trabalho desenvolvido mostrou que a obtenção de gesso a partir dos resíduos reciclados é relativamente simples e que os resultados satisfizeram a resistência à flexão para todos os tipos de resíduos. Já a resistência à compressão foi satisfatória quando se utilizaram resíduos de forro e revestimento.

Harada e Pimentel (2009) que ao estudarem a viabilidade da reciclagem do resíduo de gesso às temperaturas de 160 °C, 180 °C e 200 °C durante 24 h observaram que as características mecânicas e físicas apresentadas do material apontam para viabilidade técnica do reaproveitamento do material como gesso para fundição.

Nascimento e Pimentel (2010) observaram comportamentos similares ao analisarem as condições de queima de gesso desperdiçados em obras civis para a obtenção de gesso reciclado a temperaturas entre 160 °C, 180 °C e 200 °C e tempo de queima de 6 h. Os autores verificaram a partir das propriedades físicas e mecânicas a viabilidade da utilização do gesso reciclado para sistemas de moldagem.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais utilizados e ambientes de caracterização

A pesquisa experimental envolve a coleta de material em obras visitadas no setor da construção civil da cidade de Fortaleza. O gesso proveniente do comércio local do município de Fortaleza foi devidamente caracterizado, conforme a NBR 13207 – Gesso para construção civil. Esta Norma fixa as condições exigíveis para o recebimento do gesso a ser utilizado em fundição e revestimento.

Resíduos de gesso de revestimento de alvenaria de vedação, colhidos separadamente dos outros resíduos de construção em obras da cidade de Fortaleza são devidamente caracterizados pela mesma norma.

A água utilizada foi fornecida pelo sistema de abastecimento de água do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, Campus Fortaleza, que passou por um processo de destilação, com qualidades ideais para o uso na construção civil. No ensaio de consistência foi ainda empregado o citrato de sódio a 20 g/L como aditivo.

A quantidade dos resíduos foi determinada de acordo com o objetivo do trabalho, tendo-se o cuidado de separar na obra esse material de contaminações com outros resíduos de construção. O material obtido foi submetido a ensaios de caracterização de suas propriedades físicas, químicas e mecânicas nos laboratórios do IFCE no Campus Fortaleza.

Nos Laboratório de Materiais de Construção e de Mecânica de Solos foram realizados os estudos de desidratação térmica, ensaios físicos e mecânicos das amostras de gesso e do resíduo de gesso. No Laboratório de Tecnologia Química as amostras de gesso e do resíduo de gesso desidratado em temperaturas diferentes foram submetidas às análises de caracterização química.

3.2 Procedimentos de campo

Como forma de minimizar as agressões ao meio ambiente fez-se necessário estudar a promoção da reciclagem do resíduo de gesso utilizando-se de um processo de reaproveitamento das sobras do gesso de revestimento de alvenaria, sendo o mesmo adicionado na pasta de gesso depois de triturado e desidratado.

Neste contexto durante a pesquisa foi realizada visita a uma obra vertical de edifício residencial, composto por duas torres, com 21 andares cada e com quatro apartamentos por andar com área de 70 m², localizado no Loteamento Parque Del Sol em Fortaleza-Ceará, no período de aplicação de gesso nas paredes de alvenaria. Desta obra foi coletado material para os ensaios, os quais foram devidamente captados em lona plástica. Após coleta, o material foi beneficiado (trituração) para realização do trabalho experimental.

3.3 Coleta do material

Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) para destinar o resíduo de gesso à reciclagem é necessário estabelecer um programa de gestão nos canteiros de obra com regras como, por exemplo, condicioná-lo em recipientes específicos (CBIC, 2013).

Como a empresa não tem o cuidado de separar os resíduos produzidos, primeiramente tomou-se o cuidado de preparar o ambiente com a colocação de lona plástica no local do serviço, visando à coleta das sobras com o mínimo de impurezas agregadas ao produto durante o processo de aplicação.

No local foram observados e registrados através de fotografias os procedimentos de aplicação da pasta de gesso executados no canteiro de obras, verificando-se que o empreendimento apresentava um volume significativo de aplicação de revestimento de gesso e considerada geração de resíduos.

Os resíduos gerados na aplicação de revestimento de gesso em alvenaria de elevação foram coletados na obra, devidamente captados em lona plástica, e em seguida ensacados, tomando-se cuidado para evitar sua contaminação. Em seguida foram levados para os laboratórios de Materiais de Construção do Instituto Federal do Ceará onde ficaram devidamente acondicionados até o momento da realização do trabalho experimental.

3.4 Metodologia experimental

Após coleta dos resíduos na obra, o material foi beneficiado para realização do trabalho experimental. O resíduo de gesso colhido na obra passou pelo processo de moagem e posteriormente foi enquadrado quanto à granulometria máxima através da passagem em peneira de 2,0 mm de abertura.

Para garantir a homogeneidade das amostras em todos os resultados foi estocado resíduo de gesso, assim como o hemidrato adquirido (marca utilizada na obra) suficiente para execução de todo o plano experimental.

O plano experimental desenvolvido na pesquisa envolveu ensaios físicos, mecânicos e químicos apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Relação de ensaios realizados durante o desenvolvimento da pesquisa.

Caracterização	Ensaio	Método	Amostras	
			Tipo	Quantidade
Física do pó	Granulometria	MB 3468 - (ABNT, 1991)	Gesso Natural	02 amostras
			Gessos	02 amostras
			Reciclados	
	Massa unitária	MB 3468 - (ABNT, 1991)	Gesso Natural	02 amostras
			Gessos	02 amostras
			Reciclados	
Física da pasta	Consistência	MB 3469 - (ABNT, 1991)	Gesso Natural	02 amostras
			Gessos	02 amostras
			Reciclados	
	Tempo de Pega	MB 3469 - (ABNT, 1991)	Gesso Natural	02 amostras
			Gessos	02 amostras
			Reciclados	
Mecânica	Resistência à compressão	MB 3470 - (ABNT, 1991)	Gesso Natural	03 corpos de prova
			Gessos	03 corpos de prova
			Reciclados	
	Resistência à aderência	NBR 13528 - (ABNT, 1995)	Gesso Natural	06 pontos
			Gessos	06 pontos
			Reciclados	
Química	Água livre	MB 3471 - (ABNT, 1991)	Gesso Natural	02 amostras
			Gessos	02 amostras
			Reciclados	
	Água de cristalização	MB 3471 - (ABNT, 1991)	Gesso Natural	02 amostras
			Gessos	02 amostras
			Reciclados	
	Teores de oxido de cálcio	MB 3471 - (ABNT, 1991)	Gesso Natural	02 amostras
			Gessos	02 amostras
			Reciclados	
	Teor de anidrido sulfúrico	MB 3471 - (ABNT, 1991)	Gesso Natural	02 amostras
			Gessos	02 amostras
			Reciclados	

Fonte: Autor (2013).

3.4.1 Beneficiamento

No laboratório foi executado o beneficiamento dos resíduos coletados em obra para realização dos ensaios. Primeiramente foi usada uma marreta para diminuição das dimensões do resíduo de revestimento, como observado na Figura 23.

Figura 23 - Resíduo de gesso triturado manualmente.



Fonte: Autor (2013).

Em seguida a etapa de moagem foi realizada por meio do equipamento de Abrasão Los Angeles opera 1000 rpm com carga de 24 de esferas de aço de 28,5 kg de resíduo de gesso no período de 1 hora, diminuindo o tamanho dos grãos (Figura 24) e posteriormente o material foi pesado e posteriormente enquadrado quanto a granulometria máxima, sendo passado em peneira de 2,00mm (Figura 25).

Figura 24 – Equipamento de Abrasão Los Angeles.



Fonte: Autor (2013).

Figura 25 – Resíduo de gesso após moagem em equipamento de Abrasão Los Angeles e peneiramento (2 mm).



Fonte: Autor (2013).

A etapa seguinte de obtenção do hemidrato depende das condições de calcinação do dihidrato, cujo ambiente deve apresentar uma pressão de vapor de água inferior a 1atm e um intervalo de temperatura entre 140 e 200 °C (PINHEIRO, 2011).

Nesse sentido, adotaram-se para o estudo as condições de desidratação do resíduo de gesso, as temperaturas e tempos de residência relacionados na Tabela 11. Operacionalmente foi utilizada uma estufa com circulação de ar forçada

Tabela 11 – Parâmetros de desidratação térmica do resíduo de gesso.

Gesso reciclado	Temperatura (°C)	Tempo de residência (h)
GR1	140	08
GR2	140	12
GR3	140	24
GR4	160	08
GR5	160	12
GR6	160	24
GR7	180	08
GR8	180	12
GR9	180	24
GR10	200	08
GR11	200	12
GR12	200	24

Fonte: Autor (2013).

O interesse é avaliar o material quanto aos objetivos específicos visando atender às especificações químicas para uso de gesso na construção de acordo com a NBR-13207, apresentada na Tabela 12.

Tabela 12 – Prescrições recomendados pela NBR 13207 - Gesso para construção civil.

Determinações	Limites (%)
Água livre	1,3 (máx.)
Água de cristalização	4,2 – 6,2
Óxido de cálcio (CaO)	39,0 (mín)
Anidrido sulfúrico (SO ₃)	53,0 (mín)

Fonte: adaptada a partir da NBR 13207 (ABNT, 1994).

Experimentalmente será determinado a perda de massa dos resíduos de gesso oriundos da execução de revestimento de gesso na construção civil para as temperaturas de 140, 160, 180 e 200 °C e tempos de residência de 8, 12 e 24 h.

A partir dos ensaios de caracterização do resíduo de gesso e partindo dos resultados encontrados nos ensaios de desidratação térmica será escolhida a amostra com tempo de desidratação compatível com a formação de gesso hemidrato.

As amostras escolhidas de gesso reciclado e de gesso comercial serão submetidas a ensaios de caracterização física, mecânica e química, conforme a NBR 13207 (ABNT, 1994) e a ensaios de resistência de aderência de acordo com a NBR 13528 (ABNT, 1995). Oportunamente deve ser determinada a relação água/gesso conforme a NBR 12128, para as amostras de gesso comercial e de gesso reciclado a ser utilizada em todos os ensaios.

As Tabelas 13 e 14 apresentam as especificações relacionadas às propriedades físicas e mecânicas.

Tabela 13 – Exigências com relação às propriedades físicas e mecânicas do gesso para uso em construção civil.

Determinações físicas e mecânicas	Norma	Limite
Resistência à compressão (MPa)	NBR-12129 (ABNT, 1991)	> 8,40 MPa
Resistência à aderência	NBR-13528 (ABNT, 1995)	> 0,2 MPa
Massa unitária (kg/m ³)	NBR-12127 (ABNT, 1991)	> 700 kg/m ³

Fonte: Adaptada a partir das Normas NBR 12307 (ABNT, 1994) e NBR 13528 (ABNT, 1995).

Tabela 14 – Exigências com relação às propriedades físicas do gesso para uso em construção civil.

Classificação do gesso	Tempo de pega (min.) (NBR – 12129)		Módulo de finura (NBR – 12127)
	Início	Fim	Limite
Gesso fino para revestimento	> 10	> 45	< 1,10
Gesso grosso para revestimento	> 10	> 45	> 1,10
Gesso fino para fundição	4-10	20-45	< 1,10
Gesso grosso para fundição	4-10	20-45	> 1,10

Fonte: Adaptada a partir da NBR 12307 (ABNT, 1994).

3.5 Propriedades físicas do pó dos resíduos de gesso desidratado

Nesta etapa foram realizados os ensaios de:

a) Granulometria

Os ensaios de caracterização foram realizados para a avaliação em laboratório da granulometria da amostra de gesso comercial a ser usado como referência e das amostras de gesso reciclado em estudo. A classificação das partículas quanto ao tamanho seguiu uma série de peneiras em tela de tecido metálico padronizadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) do tipo: peneiras de 0,840 mm; peneiras de 0,420 mm; peneiras de 0,210 mm e peneiras de 0,105 mm (Figura 26).

Figura 26 – Jogo de peneiras relacionadas pela NBR 12127 (ABNT, 1989).



Fonte: Autor (2013).

b) Massa unitária

Para realização do ensaio de massa unitária do gesso comercial e do gesso reciclado na forma de pó foi adotado o procedimento da NBR 12127 (ABNT, 1991). Operacionalmente foi utilizando a aparelhagem da Figura 27, a qual é constituída de um funil cônico sobre tripé com peneira de 2,0 mm de diâmetro. Os torrões que não foram desfeitos e que ficaram retidos na peneira devem ser descartados, porém, antes os dados mássicos devem ser registrados.

Figura 27– Aparelho para determinação da massa unitária.



Fonte: Autor (2013).

Para cada amostra devem-se fazer duas determinações, considerando-se o valor médio das duas, desde que a diferença entre elas seja menor do que 5%.

O cálculo da massa unitária é feito a partir da equação

$$M_u = \frac{M}{V} \times 1000 \quad (3)$$

Onde: M_u = massa unitária, em quilogramas por metro cúbico.

M = massa do gesso, em gramas.

V = volume do recipiente, em centímetro cúbico.

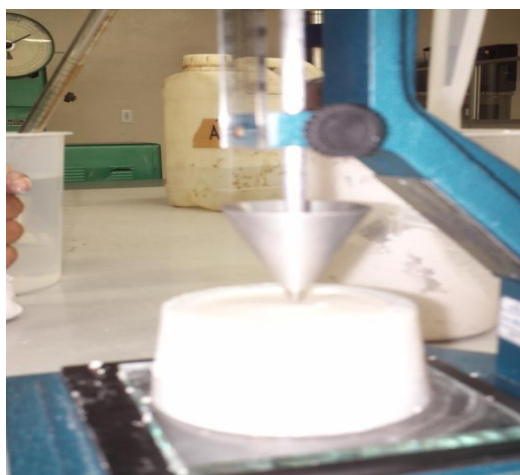
3.6 Propriedades físicas da pasta dos resíduos de gesso desidratado.

A consistência normal e tempo de início e fim de pega dos gessos reciclados e do gesso comercial foram obtidos conforme a NBR 12128 (ABNT, 1991).

a) Consistência normal

Nesta determinação utilizou-se o aparelho de Vicat Modificado (Figura 28) sendo determinada a relação água/gesso como descrito na Norma NBR 12128 (ABNT, 1991). Por esta análise é possível se obter a fluidez da pasta adequada à manipulação em cada amostra, visto que a relação água/gesso exerce influência na taxa de precipitação dos cristais de dihidrato.

Figura 28– Determinação da consistência segundo aparelho de Vicat modificado.



Fonte: Autor (2013).

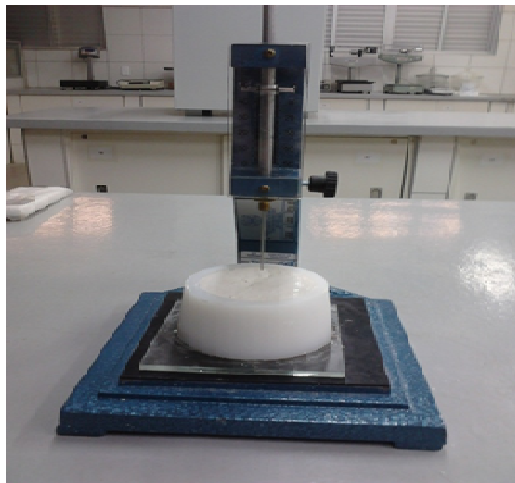
Nesta determinação as amostras de gesso após peneiramento em peneira de 2,00 mm são misturadas em recipiente adequado, a 10 mL da solução de citrato de sódio 20 g/L e água destilada (150 g). Em tempo são executadas várias tentativas com massas diferentes até se obter uma fluidez da pasta adequada à manipulação. O hemidrato é então polvilhado durante um minuto na água, passando por repouso de 2 minutos, e por fim, misturado por 1 minuto para posterior colocação no molde do aparelho de Vicat modificado.

b) Tempo de início e fim de pega

Nesta determinação preparou-se uma pasta com as respectivas consistências para as amostras de gesso comercial e de gesso reciclado, desta vez sem aditivo, conforme

descrito na NBR 12128 (ABNT, 1991), sendo utilizando o aparelho de Vicat para caracterizar o início e final do processo de pega (Figura 29).

Figura 29 – Determinação do tempo de pega em Aparelho Vicat.



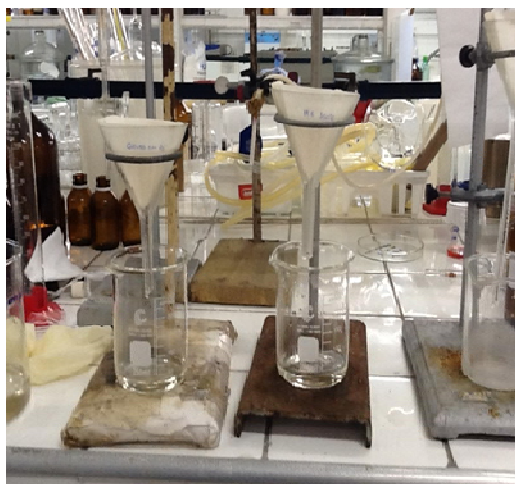
Fonte: Autor (2013).

O tempo de início de pega deve está situado entre a mistura do gesso com água e o instante em que começa o processo de endurecimento do material. A partir daí, a pasta já não deve ser mais manuseada e o fim de pega com o endurecimento do material.

3.7 Caracterização química

Na análise química dos gessos reciclados e do gesso comercial foram utilizados os aparatos da Figura 30, conforme a NBR 12130 (ABNT 1991).

Figura 30 – Aparato experimental para as análises química dos gessos.



Fonte: Autor (2013).

Na determinação da água livre pesou-se com precisão de 0,01 g, cerca de 50 g da amostra como recebida em pesa-filtro, previamente tarado, espalhando o material em camada fina. Depois se seca em estufa a $(40 \pm 4) ^\circ\text{C}$ até massa constante. O material é esfriado em dessecador e pesado até peso constante.

Na determinação da água de cristalização pesou-se com precisão de 0,0001 g, cerca de 2 g de amostra seca. Em seguida espalha-se a amostra em pesa-filtro, previamente tarado formando-se uma camada bem fina. Seca-se a $230 \pm 10 ^\circ\text{C}$ até a massa constante se esfriar em dessecador e pesa-se.

Finalmente os teores de óxido de cálcio (CaO) e anidrido sulfúrico (SO_3) foram analisados os extratos ácidos dos gessos por permanganimetria ($\text{KMnO}_4 0,1\text{N}$) e precipitação com cloreto de bário, respectivamente, conforme a NBR 12130.

3.7 Preparação dos corpos de prova e avaliação das propriedades mecânicas dos resíduos de gesso desidratados reciclados e endurecidos

Nesta fase dos experimentos foram realizados os seguintes procedimentos:

a) Seleção dos teores de adição de resíduo

No processo de preparação dos corpos de prova para cada amostra deverá ser moldados corpos de prova com o gesso reciclado adicionando a gesso comercial, nas proporções de 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% da massa de gesso comercial, conforme apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 – Teores de adição de resíduo.

Tipo da amostra	Proporções de gesso	
	Gesso comercial	Gesso reciclado
G00	100%	0
G20	80%	20%
G40	60%	40%
G60	40%	60%
G80	20%	80%
G100	0	100%

Fonte: Autor (2013).

b) Preparação dos corpos de prova

Para se avaliar o comportamento do gesso, alguns variáveis que influenciam as suas propriedades devem ser controladas. Assim, na produção da pasta de gesso com adição de resíduo, os parâmetros temperatura da água de amassamento e a energia cinética foram mantidos iguais em todos os ensaios.

Na preparação dos corpos de prova foram moldados corpos de prova com gesso reciclado adicionado a gesso comercial. O material utilizado foi escolhido a partir dos resultados encontrados nos ensaios de desidratação térmica com tempo de desidratação compatível com a formação de gesso hemidrato e com a produção industrial do gesso.

Experimentalmente foram confeccionados três corpos-de-prova cúbicos de 50,00 mm aresta para cada amostra. O molde tem três compartimentos para permitir a moldagem simultânea de três corpos-de-prova. A Figura 31 apresenta a preparação e moldagem da forma metálica para confecção dos corpos de prova ensaiados.

Figura 31 – Preparação e moldagem dos corpos de prova.



Fonte: Autor (2013).

Para cada amostra de gesso reciclado proposto e gesso comercial foram moldados corpos de prova com gesso reciclado adicionando a gesso comercial, nas proporções de 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% da massa de gesso comercial.

Os corpos de prova confeccionados de gessos reciclados e o gesso comercial foram submetidos a ensaios de caracterização mecânica, conforme a NBR 13207, (ABNT 1994) – Gesso para Construção Civil. Para este procedimento foram fixados valores de relação água/gesso a ser utilizado nos ensaios experimentais: determinado

conforme a NBR 12128 (ABNT, 1991), utilizados em obra e recomendados pelo fabricante.

c) Resistência à compressão

A resistência à compressão deve ser calculada em função da carga de ruptura em corpos de prova cúbicos de 50 mm de aresta, segundo o procedimento descrito na NBR 12129 (ABNT 1991).

Para determinação da resistência à compressão, seguindo as recomendações da Norma, foi utilizada a máquina universal de ensaios da Emic modelo DL 30.000 (Figura 32) constituído de uma prensa com capacidade de carga superior a 20000 N, exatidão mínima de 200 N de ensaio, placas de aplicação mínima de 2500 mm² e curso mínimo de 100 mm. Em uma das faces não selecionada no ensaio de penetração foi aplicada uma carga continuamente numa razão de 250 N/s a 750 N/s até a ruptura da amostra.

Figura 32 – Máquina universal de ensaios utilizada nos experimentos.



Fonte: Autor (2013).

Os corpos de provas foram ensaiados conforme NBR 12129 (ABNT, 1991), estimando suas resistências a compressão, as quais foram comparadas com as características mecânicas de corpos de provas moldados com pasta de gesso comercial, verificando se atendem ou não o que determina a NBR 13207 (ABNT, 1994).

d) Resistência de aderência à tração.

As resistências de aderência de resistência à tração das pastas de gesso comercial e de gesso reciclado foram determinadas segundo o procedimento descrito na NBR 13528 (ABNT, 1995) denominada “Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração”, o qual apresenta como limite para revestimentos internos uma resistência de aderência igual ou superior a 0,20 MPa, como pode ser observado na Tabela 16.

Tabela 16 – Limites de resistência de aderência à tração.

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥ 0,2
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,3
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥ 0,3
		Cerâmica	≥ 0,3
Teto			≥ 0,2

Fonte: Adaptada a partir da NBR 13528 (ABNT, 1995).

Segundo esta norma a aderência é a propriedade do revestimento de resistir às tensões atuantes na interface com o substrato.

Na prática o teste de resistência de aderência é usado para se saber às tensões máximas suportadas pelo revestimento aplicado em substrato quando submetido a um esforço normal de tração (NBR 13528/95).

Para o ensaio de resistência de aderência utilizou-se componente de alvenaria tipo tijolos cerâmicos como substrato ou base, o qual recebeu aplicação de revestimento com 2 cm de espessura em pasta de gesso. O substrato foi dividido em 06 partes, sendo aplicada em cada uma, respectivamente, pasta de gesso contendo gesso reciclado adicionando a gesso comercial nas proporções de 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% da massa de gesso comercial, para uma dada relação água/gesso fixa.

Para diminuir as variáveis do ensaio, as pastas foram preparadas e aplicadas pelo mesmo profissional técnico. A forma de mistura ocorreu mediante a introdução de água na masseira com fator de água/gesso fixo, seguido de polvilhamento do gesso com adição do resíduo de gesso, conforme as proporções indicadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Polvilhamento do gesso com adição do resíduo de gesso.

Tipo da amostra	Proporções de gesso reciclado	
	Gesso comercial	Gesso reciclado
GR00	100%	0
GR 20	80%	20%
GR 40	60%	40%
GR 60	40%	60%
GR 80	20%	80%
GR 100	0	100%

Fonte: Autor (2013).

Após 10 dias para secagem do substrato (6 partes) foram produzidos seis corpos de prova, para cada parte, espaçados entre si e dos cantos ou quinas em no mínimo 50 mm, com corte a seco do revestimento estendido até aproximadamente 5 mm dentro do substrato. Para colagem das pastilhas foi escovada a superfície do corpo de prova sobre a qual foram coladas as pastilhas, para a remoção das partículas destacáveis. Completando a limpeza com a retirada de partículas soltas com o auxílio de fita crepe. Em seguida foram coladas no revestimento placas metálicas de seção circular, com 50 mm de diâmetro, usando para fixação cola epóxi, aplicada com espátula sobre o revestimento, durante cerca de 30 s. Após a cura/endurecimento da resina epóxi foi feito o ensaio de resistência de aderência empregando aparelho para arrancamento Solotest referência 1.129.010 com manômetro eletrônico digital e módulo extrator acoplado aos suportes metálicos (Figura 33), sendo aplicada uma carga crescente, normal à superfície do corpo de prova com taxa de carregamento de 25N/s, até a ruptura do corpo de prova.

Figura 33 – Execução de ensaio de resistência de aderência à tração.



Fonte: Autor (2013).

A resistência de aderência à tração é calculada por:

$$R_a = P/A \quad (4)$$

Onde:

R_a = resistência de aderência a tração, em MPa.

P = carga de ruptura, em N.

A = área da pastilha, em mm².

O cálculo da média e do coeficiente de variação de resistência de aderência à tração somente pode ser feito para as pastilhas que apresentarem a mesma forma de ruptura. Podendo se apresentar nas várias formas, como:

- a) Ruptura na interface argamassa substrato;
- b) Ruptura da argamassa de revestimento;
- c) Ruptura do substrato;
- d) Ruptura na interface revestimento/cola;
- e) Ruptura na interface cola/ pastilha.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta parte do trabalho estão apresentados os resultados experimentais de contribuição ao conhecimento tecnológico e ambiental da reciclagem dos resíduos de gesso.

4.1 Ensaios de desidratação dos resíduos de gesso

Na Tabela 18 estão apresentados valores das perdas de massa nos ensaios de desidratação realizados com resíduos de gesso oriundos da execução de revestimentos da obra de construção. Esse resíduo de gesso foi submetido a um processo de reciclagem em ambiente de laboratório constituído das etapas de moagem e desidratação.

Para o estudo o resíduo de gesso coletado foi inicialmente dividido em 12 porções heterogêneas, as quais foram dispostas em doze bandejas e desidratadas a diferentes temperaturas e nos diferentes tempos de residência para a obtenção de diversos tipos de gessos reciclados.

Tabela 18 – Ensaios de desidratação dos resíduos de gesso de revestimento para obtenção do gesso reciclado.

Grupo	Gesso reciclado	Temperatura de desidratação (°C)	Tempo de residência (h)	Peso inicial (Kg)	Peso final (Kg)	Perda de massa (%)
GR140	GR1	140	8	1.500,5	1.303,4	13,1
	GR2	140	12	1.500,1	1.211,1	19,3
	GR3	140	24	1.500,6	1.045,6	30,3
GR160	GR4	160	8	1.500,3	1.471,7	1,91
	GR5	160	12	1.500,2	1.474,6	1,71
	GR6	160	24	1.500,5	1.498,7	0,12
GR180	GR7	180	8	1.500,4	1.478,8	1,44
	GR8	180	12	1.500,3	1.477,6	1,51
	GR9	180	24	1.556,7	1.530,2	1,71
GR200	GR10	200	8	1.500,2	1.177,2	21,5
	GR11	200	12	1.496,8	1.218,1	18,6
	GR12	200	24	1.498,6	1.214,9	18,9

Fonte: Autor (2013).

Na Tabela 18 observa-se que para as temperaturas de 160 °C e 180 °C os valores da perda de massa são baixos, compatíveis com a formação de gesso hemidrato, enquanto para as temperaturas de 140 °C e 200 °C a perda de massa aponta para uma desidratação total indicando a formação de um gesso anidro. Adicionalmente observa-se ainda, que as amostras são heterogêneas em função do histórico e composição variada. Uma possível explicação para isto está relacionada às diferentes variáveis associadas às condições de produção do gesso: tipo de gipsita, tipo de forno, condições de calcinação e tratamento posterior (BALTAR *et al.*, 2004), bem como àquelas associadas à manipulação e preparação da pasta (relação água/gesso, tempo de pega, incremento de energia), as quais podem influenciar as características físicas das amostras de gesso (ANTUNES, 1999). Outra explicação é que a matéria prima, os diferentes processos e as condições de produção do gesso, incluindo parâmetros como: condições de moagem, relação água/gesso, incremento de energia, forma de mistura, temperatura da água, a presença de controladores de pega (componentes voláteis) e impurezas contidas no material podem afetar os gessos produzidos apresentando reatividade diferente (ANTUNES, 1999; BALTAR *et al.*, 2004; RIBEIRO, 2006).

4.2 Composição química do gesso reciclado

A Tabela 19 apresenta os resultados de avaliação da composição química das amostras de gessos usadas na pesquisa.

Tabela 19 – Análise química do gesso reciclado e gesso comercial em função de sua origem a partir da NBR 12130 (ABNT, 1991).

Amostra	Água Livre	Água de Cristalização	Óxido de Cálcio	Anidrido Sulfúrico
Norma	Máx. 1,3 %	4,2 a 6,2 %	Mín. 38,0 %	Mín. 53,0 %
Gesso comercial	1,45	5,02	40,40	53,13
140 °C	8h 0,28	4,27	42,18	53,40
	12h 0,04	4,78	37,84	57,34
	24h 0,19	4,89	37,58	57,53
160 °C	8 h 1,25	6,14	38,76	53,85
	12h 1,15	4,84	42,84	51,17
	24 h 1,14	4,57	42,33	51,96
180 °C	8 h 0,03	4,24	39,81	55,92
	12 h 0,03	4,21	38,45	57,31
	24h 0,05	4,20	38,21	57,54
200 °C	8 h 0,46	4,17	38,99	56,38
	12 h 0,02	4,14	37,83	58,01
	24 h 0,08	4,06	38,16	57,78

Fonte: Autor (2013).

Na Tabela 19 os valores encontrados estão muito próximos daqueles que atendem às especificações químicas para uso de gesso na construção de acordo com a NBR-13207. Os gessos obtidos a partir dos resíduos de revestimento apresentam uma pureza de 99,97%, acima dos valores (98%) encontrados na literatura para gesso comercial produzido nacionalmente, reconhecidamente um gesso de alta pureza (BALTAR *et al.*, 2004).

Na escolha da temperatura e o tempo de residência para desidratação térmica foi escolhida a amostra com tempo de desidratação compatível com a formação de gesso hemidrato. Assim observa-se que o tratamento na temperatura de 160 °C por um tempo de 8 horas é suficiente para a gipsita residuária desidratar-se parcialmente, transformando-se em um hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), obtendo propriedades semelhantes à da matéria-prima original. Nesta condição o consumo energético no processo de desidratação térmica ainda pode ser considerado baixo.

Nesse sentido, objetivando viabilizar a produção de um gesso reciclado com baixo consumo energético, o estudo permitiu selecionar para o processo de reciclagem na condição de temperatura de e um tempo de permanência de relacionado acima.

4.3 Análise granulométrica

A análise granulométrica foi efetuada de acordo com a norma brasileira NBR 12 127 (ABNT, 1991). No laboratório foi realizada avaliação da granulometria do gesso comercial e resíduo de gesso utilizado após a moagem e desidratação a 160 °C por 8 horas. Classificando as partículas quanto ao tamanho, segundo uma série de peneiras padronizadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas): peneiras de 0,840mm, peneiras de 0,420mm, peneiras de 0,210mm e peneiras de 0,105mm, conforme a EB-22.

Nas Tabelas 20 e 21 são apresentados os resultados das análises granulométricas realizadas com o gesso comercial e com gesso reciclado.

Tabela 20 – Análise granulométrica do gesso comercial.

Peneira (mm)	% retido	% acumulado	Módulo de finura
0,84	0,21	0,21	0,93
0,42	0,88	1,09	
0,21	12,67	13,76	
0,105	79,75	93,51	
Fundo	6,49	100,00	

Fonte: Autor (2013).

Tabela 21 – Análise granulométrica do gesso reciclado.

Peneira (mm)	% retido	% acumulado	Módulo de finura
0,84	18,10	18,10	0,98
0,42	14,77	32,87	
0,21	60,57	93,44	
0,105	4,58	98,02	
Fundo	1,98	100,00	

Fonte: Autor (2013).

Os resultados de distribuição granulométrica revelam que o gesso comercial e o gesso reciclado em estudo apresentam distribuições distintas, que possivelmente podem influenciar na superfície específica e no módulo de finura, e consequentemente na massa específica e no tempo de pega. Quanto mais fino for o material maior será a sua superfície específica, que é inversamente proporcional ao tamanho das partículas, o que constitui uma das razões das diferenças entre as propriedades físicas dos materiais finos e grossos.

Na Tabela 20 observa-se que o resultado das análise granulométrica realizada com o gesso comercial apresentou módulo de finura menor que 1,10; conforme limite especificado pela NBR 13207 (ABNT, 1994), por tanto caracterizando o material como gesso fino para revestimento. A distribuição de tamanhos mostra um predomínio de partículas pequenas com cerca de 80% das mesmas apresentando diâmetro entre 0,21 e 0,105 mm.

Ao analisar o módulo de finura do gesso reciclado (Tabela 21) foi possível verificar que o módulo de finura também se encontra em conformidade com o limite especificado pela norma ($MF < 1,10$) para a produção de um gesso reciclado com granulometria fina. No entanto, o material obtido apresenta-se mais grosso com cerca de 60% das mesmas apresentando diâmetro entre 0,42 e 0,21 mm, que, por sua vez, está diretamente relacionada com a superfície específica, que será menor para o gesso reciclado, confirmando a inadequação do sistema de moagem.

4.4 Massa unitária

Os valores obtidos referentes à massa unitária do gesso comercial e do gesso reciclado observados na Tabela 22 se encontram inferiores, porém próximos à indicação normativa da NBR 13207 (ABNT, 1994), que deve ser superior a 700 kg/m³.

Tabela 22 - Resultado referente à massa unitária do gesso comercial e do gesso reciclado.

	Gesso comercial	Gesso reciclado
Massa Unitária kg/m ³ (Valor médio)	681,33	557,00

Fonte: Autor (2013).

4.5 Determinação da relação água/gesso

O aparelho de Vicat Modificado foi usado para se obter uma fluidez da pasta adequada à manipulação foi determinada a relação água/gesso como descrito na NBR 12128 (1991), para cada amostra de gesso comercial e resíduo de gesso, visto que a relação água/gesso é o parâmetro de maior influência na cinética da reação de hidratação e conseqüentemente, na pega do gesso (ANTUNES, 1999).

A relação água/gesso tem a maior influência nas reações de hidratação do gesso, pois quanto maior a quantidade de água de amassamento, maior será o tempo para saturar a solução. Isto causa a ampliação do período de indução retardando o início da precipitação dos cristais de dihidrato (início de pega) e, por conseguinte, aumenta o tempo de pega (ANTUNES, 1999). Por outro lado, a diminuição da relação água/gesso tem como desvantagem seu efeito acelerador nos tempos de início e fim de pega, o que poderia levar à redução do tempo disponível para aplicação do revestimento em gesso.

Como se pode observar na Tabela 23, a relação água/gesso comercial para a penetração ideal para cada amostra com consistência no intervalo de penetração de (30 ± 2) mm foi obtida com o valor de 385g de massa de gesso comercial, ou seja, para uma relação água/gesso de 150/385, ou seja, 0,39.

Tabelas 23 - Ensaio para obtenção da relação água/gesso para o gesso comercial correspondente a consistência determinada pela norma NBR 12128 (ABNT, 1991).

	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
Massa de água (g)	150	150	150	150	150
Massa de gesso (g)	290	300	320	350	385
X ₁ (cm)	39	41,5	41	41	42
X ₂ (cm)	-	1,5	1	1	10,5
Penetração (X ₁ – X ₂)	39	40	40	40	31,5
Relação água/gesso	0,52	0,5	0,47	0,43	0,39

Fonte: Autor (2013).

A Tabela 24 apresenta os resultados nos ensaios de consistência para o gesso reciclado.

Tabela 24 - Ensaio para obtenção da relação água/gesso para o gesso reciclado correspondente a consistência determinada pela norma NBR 12128 (ABNT, 1991).

	Teste 1	Teste 2 (duplicata)
Massa de água (g)	150	150
Massa de gesso (g)	270	270
X ₁ (cm)	40	41
X ₂ (cm)	11	11
Penetração (X ₁ – X ₂)	29	30
Relação água/gesso	0,56	0,56

Fonte: Autor (2013).

Na Tabela 24 observa-se que para o gesso reciclado desidratado a 160 °C durante 8 horas, a relação água/gesso para penetração ideal (30 ± 2) mm foi obtida já na primeira tentativa para 270 gramas de resíduo de gesso, ou seja para uma relação água/gesso de 0,56 (150/270). Estes resultados confirmam, considerando a consistência normalizada, uma possibilidade de reciclagem de até 70% da massa de gesso comercial

na forma de gesso reciclado produzido neste estudo, o que é um importante aspecto de economia e aplicabilidade ambiental voltada ao reciclo e a sustentabilidade.

4.6 Tempo de pega

Na determinação do tempo de pega das pastas de gesso comercial e de gesso reciclado observando-se o procedimento da MB 3469 (ABNT, 1991) foram ensaiadas amostras correspondentes ao gesso comercial na relação água/gesso determinada no trabalho e em condições de água/gesso usada comumente na obra e indicada pelo fabricante (Tabela 25).

Tabela 25 – Ensaio de tempo de pega para as amostras de gesso comercial.

Gesso comercial (GC)	(a/g)	Tempo inicial	Tempo final	Intervalo	Aplicação na construção civil
GC	0,39 ^a	9'00"	15'00"	6'00"	<i>Não recomendado</i>
GC	0,70 ^b	14'33"	21'10"	7'17"	<i>Possivelmente em fundição</i>
GC	0,75 ^c	18'00"	28'00"	10'00"	<i>Possivelmente em fundição</i>
NBR12128		> 10'	> 45'	35'	<i>Revestimento</i>
NBR12128		4 - 10'	20 - 45'	16 - 35'	<i>Fundição</i>

^aEste trabalho. ^busada na obra. ^crecomendada pelo fabricante.

Fonte: Autor (2013).

Nos resultados apresentados na Tabela 25 observa-se que com o aumento da quantidade de água utilizada na preparação da pasta há uma tendência de aumento do tempo de pega para o gesso comercial. O tempo de pega da amostra de gesso comercial (GC) obtido na determinação da consistência apresenta-se aquém dos limites recomendados pelas normas brasileiras. Já os tempos de pega das amostras (GC) empregada na obra e recomendada pelo fabricante apresentaram resultados relativamente aceitáveis aos limites preconizados pela norma para gesso de fundição. Segundo as recomendações da NBR 12128 (ABNT, 1991), os limites de início e fim de pega devem atender às exigências para o gesso da construção civil, sendo respectivamente, maiores que 10 e 45 minutos para o gesso fino e gesso grosso para

revestimento, e entre 4 a 10 minutos para o início de pega e 20 a 45 minutos para o fim de pega para o gesso fino e grosso para fundição.

Uma observação atípica pode ser feita neste momento quando da utilização ou aplicação real do gesso comercial nas condições de a/g de 0,70 e 0,75; não comprovadas neste estudo e que suscitam discussões mais detalhadas. Neste caso, provavelmente o uso de retardador de pega seja uma necessidade obrigatória à utilização.

Na Tabela 26 apresentam-se os ensaios de tempo de pega para o gesso reciclado desidratado a 160 °C por 8 horas.

Tabela 26 – Ensaios de tempo de pega para as amostra de gesso reciclado produzido neste trabalho.

Gesso reciclado (GR)	(a/g)	Tempo inicial	Tempo final	Intervalo	Aplicação na construção civil
GR4	0,56 ^a	6'25"	7'55"	1'30"	<i>Não recomendado</i>
GR4	0,70 ^b	6'23"	10'00"	4'17"	<i>Não recomendado</i>
GR4	0,75 ^c	7'30"	11'10"	4'20"	<i>Não recomendado</i>
NBR12128		> 10'	> 45'	35'	<i>Revestimento</i>
NBR12128		4 - 10'	20 - 45'	16 - 35'	<i>Fundição</i>

^aEste trabalho. ^busada na obra. ^crecomendada pelo fabricante.
Fonte: Autor (2013).

Na Tabela 26 verifica-se que houve um discreto aumento do tempo de pega à medida que se aumenta a quantidade de água utilizada na preparação da pasta, porém não foram atingidos os limites de início e fim de pega recomendados pelas normas brasileiras para o gesso da construção civil. Em geral a redução do tempo de pega se deu tanto para o início como para o fim de pega, o que pode está relacionado a adição de resíduos, a formação de pontos de nucleação gerados pelo dihidrato ou a presença de impurezas contidas no resíduo (ANTUNES, 1999; BERNHOEFT, 2010).

Os tempos de pega que mais se aproximaram dos limites preconizados pela norma de referência foram os tempos de pega obtidos na relação água/gesso de 0,70

utilizada no canteiro de obra e de 0,75; a recomendada pelo fabricante do gesso comercial utilizado no experimento. Assim como observado no gesso comercial (Tabela 24) o uso de aditivos químicos também se apresenta como condição obrigatória quando se pensa em futura aplicação do material reciclado.

Nas Tabelas 27 e 28 são apresentados ensaios de tempo de pega para as pastas com material reciclado adicionado ao gesso comercial nas proporções de: 0% (G00), 20% (G20), 40% (G40), 60% (G60), 80% (G80) e 100% (G100) da massa de gesso comercial, para as relações água/gesso de 0,75 e 0,70.

Tabela 27 – Ensaio de tempo de pega para amostras de gesso comercial com adição de resíduo de gesso desidratado a 160 °C por 8 h usando relação água/gesso de 0,75.

Tipo de Pasta	(a/g)	Tempo inicial	Tempo final	Intervalo
G00	0,75	18'00"	28'00"	10'00"
G20	0,75	11'16"	19'00"	8'24"
G40	0,75	10'42"	17'00"	6'58"
G60	0,75	8'10"	12'30"	4'20"
G80	0,75	8'10"	12'35"	4'25"
G100	0,75	7'30"	11'10"	4'20"

Fonte: Autor (2013).

Tabela 28 – Ensaio de tempo de pega para amostras de gesso comercial com adição de resíduo de gesso desidratado a 160 °C por 8 h usando relação água/gesso de 0,70.

Tipo de Pasta	(a/g)	Tempo inicial	Tempo final	Intervalo
G00	0,70	14'33"	21'10"	7'17"
G20	0,70	8'40"	14'28"	6'28"
G40	0,70	8'21"	13'17"	5'36"
G60	0,70	6'56"	10'46"	4'30"
G80	0,70	6'22"	10'10"	4'28"
G100	0,70	6'23"	10'00"	4'17"

Fonte: Autor (2013).

Os resultados apresentados nas Tabelas 27 e 28 mostram que há uma diminuição do intervalo entre o início e fim de pega da pasta de gesso, para as todas as amostras de gesso com adição de resíduos, ficando todos abaixo da indicação normativa. Experimentalmente, como observado nos estudos individualizados com o gesso comercial e gesso reciclado, os tempos de pega ficaram aquém dos limites

normatizados, mesmo que o início de pega ficando dentro dos limites da norma. É preciso atenção na diminuição do tempo de pega, pois isto pode provocar o rápido endurecimento da argamassa com resíduo.

Como já foi discutida anteriormente, a causa da diminuição do tempo de pega pode estar ligada à presença dos pontos de nucleação gerados pela adição de resíduo ou eventuais impurezas presentes na composição (BERNHOEFT, 2010). As impurezas contidas na matéria prima e as condições de produção do gesso influenciam na cinética da reação de hidratação do gesso, podendo afetar o tempo de pega e fazer com que os gessos produzidos apresentem reatividades diferentes (SANTOS, 1998 *apud* ANTUNES, 1999; CINCOTTO e JOHN, 2003).

Contextualmente, o fato do material utilizado na pesquisa ser caracterizado como resíduo de gesso coletado em obra sem nenhum cuidado na separação dos resíduos, torna-se grande a possibilidade de conter impurezas, justificando-se a influência negativa deste fator sobre o tempo de pega. A diminuição do tempo de pega também pode estar associada a algumas variáveis que podem ser corrigidas por ajuste da granulometria, pois o tamanho das partículas influencia a cinética da reação. Com a diminuição do tamanho das partículas há um aumento da taxa de hidratação e em consequência o aumento da área específica (KARNI; KARNI, 1995 *apud* ANTUNES, 1999). Assim, quanto menores forem as partículas, mais rápido será a pega, pois a superfície de contato será maior e conseqüentemente mais saturada será a mistura, o que favorece a cristalização (OLIVEIRA, 2010).

Outra maneira de correção para diminuição do tempo de pega seria aumentar ainda mais a relação água/gesso, produzindo-se uma solução menos saturada, porém menor seria sua resistência final, o que pode interferir negativamente na utilização para construção civil. Segundo Yu e Brouwers (2011) *apud* Trovão (2012), a velocidade de hidratação é reduzida conforme há o aumento da quantidade de água, pois quanto maior a relação a/g maior a distância entre as moléculas, aumentando-se o tempo de indução. Isso acontece porque é necessário maior tempo para ocorrer à supersaturação da solução, devido às moléculas se apresentar muito dispersas, sendo que a microestrutura é alterada como também são prejudicadas as propriedades mecânicas dos produtos. O uso de aditivos químicos, outra alternativa técnica, não foi empregada neste trabalho.

4.7 Resistência à compressão

A Tabela 29 apresenta os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão para as amostras de gesso comercial e gesso reciclado. Para cada relação de água/gesso empregada no trabalho foi realizado a moldagem simultânea de três corpos de prova cúbicos de 50 mm de aresta e calculada a resistência média.

Tabela 29 – Características mecânicas do gesso comercial e do gesso reciclado.

Amostra de gesso	Relação água/gesso	Resistência à compressão (MPa)
GC	0,70 ^b	8,73
GC	0,75 ^c	6,70
GR4	0,70	8,96
GR4	0,75	8,70

^busada na obra. ^crecomendada pelo fabricante.

Fonte: Autor (2013).

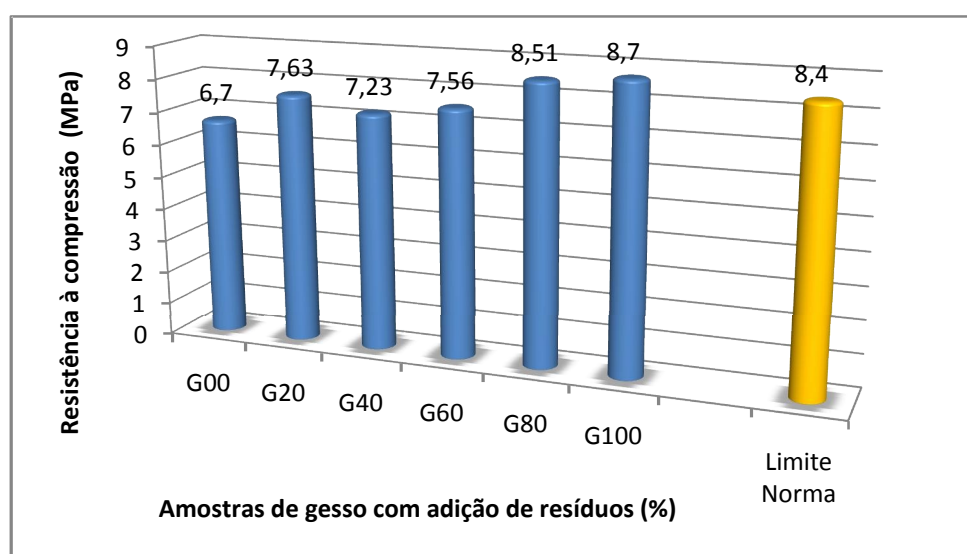
A NBR 13207 (ABNT, 1994) especifica a resistência mínima de 8,4 MPa para o gesso da construção civil. Na Tabela 29 observa-se então que as amostras de gesso comercial (GC) com relação água/gesso 0,70 atende a resistência mínima especificada pela norma, porém a amostra de gesso comercial (GC) com relação água/gesso 0,75 não atinge a resistência especificada pela norma, mesmo sendo utilizada a relação recomendada pelo fabricante, o que nos leva a indagar sobre o controle de qualidade dos produtos comercializados. Assim, o gesso comercial usado em construções não é 100% homogêneo sendo composto por hemidrato e anidrita devido à variação de temperatura no interior do forno (DE MILITO, 2001 *apud* BARDELLA *et al.*, 2004). Sendo assim, deve-se controlar a quantidade de anidrita no gesso não aumentando a temperatura de desidratação para valores acima de 160 °C, pois o excesso de calor de hidratação pode provocar micro fissuras e alteração no tempo de pega com o endurecimento rápido do gesso acabado (HINCAPIE *et al.*, 1996 *apud* CAMARINI, 2013).

Os resultados médios das resistências para as amostras (GR4) de gesso reciclado na proporção de 100% com relação água/gesso 0,70 e 0,75 apresentaram valores médios de 8,96 MPa e 8,70 MPa, respectivamente, ficam acima do valor mínimo especificado pela norma.

As Figuras 34 e 35 apresentam os resultados, conforme MB 3469 (ABNT, 1991), das resistências para as amostras de gesso reciclado adicionado a gesso comercial

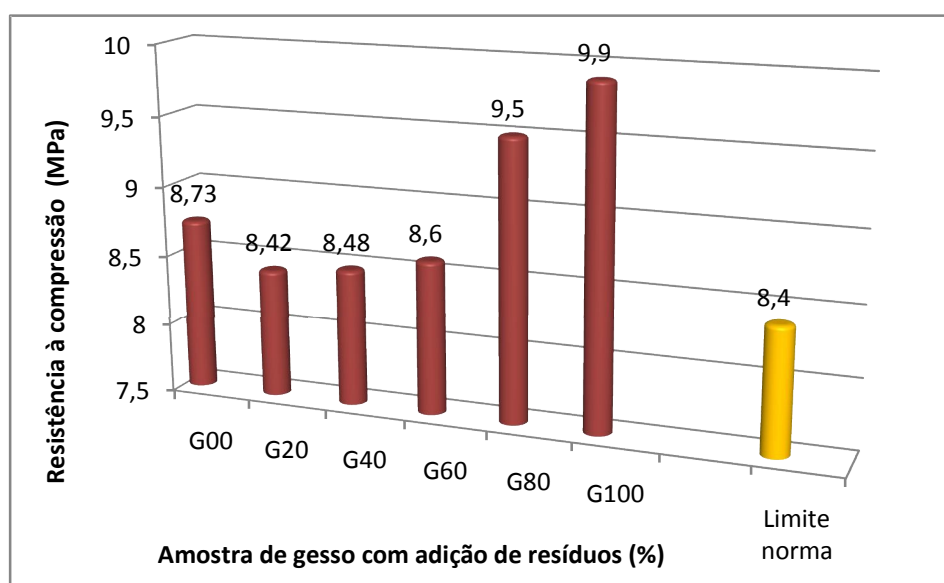
nas proporções de 00%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100% com as relações água/gesso fixadas em 0,75 e 0,70.

Figura 34 - Resultados das resistências à compressão para as amostra de gesso reciclado adicionado a gesso comercial desidratado a 160 °C por 8 h com a relação água/gesso fixada em 0,75.



Fonte: Autor (2013).

Figura 35 - Resultados das resistências à compressão para as amostra de gesso reciclado adicionado a gesso comercial desidratado a 160 °C por 8 h com a relação água/gesso fixada em 0,70.



Fonte: Autor (2013).

Na Figura 34 para uma relação água/gesso fixada em 0,75 observa-se que somente os resultados das amostras (G80) e (G100), com as respectivas resistências de 8,51 MPa e 8,70 MPa satisfazem as condições da normalização. Segundo a NBR 13207 (ABNT 1994) a resistência à compressão deve ser superior a 8,4 MPa. Os resultados médios das demais amostras foram baixos quando comparados ao limite preconizado pela norma, inclusive no gesso comercial sem nenhuma adição de resíduo, onde foi observado um valor médio de 6,70 MPa.

Para os estudos com relação água/gesso fixada em 0,70 (Figura 35) observa-se um crescente aumento da resistência das pastas com o aumento da adição de gesso reciclado, indicando a viabilidade da adição de resíduos em argamassa de gesso para aplicação em revestimentos internos ou fundição, com consequentes ganhos econômicos, redução do impacto ambiental e sustentabilidade do material produzido em aplicações na indústria da construção civil.

Vale salientar que o melhor desempenho foi encontrado na amostra contendo somente gesso reciclado na proporção de 100% da massa de gesso comercial (G100), com valor de 9,90 MPa, superando o limite da norma estabelecida para o uso na construção civil ($>8,40$ MPa) e garantindo o uso integral do gesso reciclado em diversas aplicações comerciais.

Segundo Antunes (1999), a relação água/gesso influencia as propriedades mecânicas das pastas de gesso. De modo que o aumento da relação água/gesso provoca a queda nas propriedades mecânicas. Assim, as propriedades mecânicas das pastas decrescem com o crescimento da relação água/gesso, por tanto as amostras com a relação de água/gesso de 0,70 apresentaram melhor desempenho mecânico do que as amostras com a relação de água/gesso de 0,75.

Os resultados obtidos foram satisfatórios para todas as amostras, porém analisando sob o ponto de vista ambiental, a opção pelo G100 seria a mais recomendada, pois estaríamos reduzindo o impacto causado pelo resíduo no meio ambiente, facilitando também a produção por trabalhar com apenas um único material, além de diminuir o desperdício de material na obra a partir da reciclagem do mesmo.

Para as amostras com a relação de água/gesso fixada em 0,75; somente as amostras (G80) e (G100), com adição de resíduos de 80% e 100%, respectivamente, a massa de gesso comercial satisfazem as condições da normalização e garantem o uso sustentável do material reciclado. Os valores obtidos pelos tempos de pega estão abaixo da norma da construção civil, mas requer saber para qual uso será dado ao gesso. Assim,

por exemplo, adicionar um dado retardador de pega a composição contendo material reciclado pode ser condição suficiente para utilização em sistemas de revestimento (com base na análise gravimétrica) ou fundição na construção civil.

Resultados semelhantes a esse trabalho foram observados por Bardella, Ferreira e Camarini (2003), os quais em um estudo realizado com gesso reciclado desidratado em temperaturas de 160 °C e 200 °C observaram maiores resistências mecânicas para o gesso reciclado em comparação com o gesso comercial. Entretanto, os autores constataram que os gessos reciclados à temperatura de 160 °C apresentaram melhores desempenhos mecânicos, concluindo que o resíduo pode ser aproveitado como gesso comum.

Gomes (2012) analisando os resultados de caracterização mecânica observou uma maior resistência de compressão para a temperatura de 160 °C, com valores maiores do que exigido pela norma da construção civil. Nestas condições o consumo energético no processo de desidratação térmica usado neste trabalho pode ser considerado baixo quando comparado a outros trabalhos, como o de Harada *et al.* (2009) que ao estudarem a viabilidade da reciclagem do resíduo de gesso às temperaturas de 160 °C, 180 °C e 200 °C em períodos de 4 h, 8 h e 24 h, observaram que as características mecânicas e físicas apresentadas apontam para viabilidade da utilização do gesso reciclado para processos de moldagem. Em geral, os melhores resultados foram obtidos à temperatura de 180 °C durante 24 horas.

Comportamentos similares também foram obtidos por Fiano e Pimentel (2009) que ao analisarem a viabilidade do reaproveitamento do gesso às temperaturas de 160 °C, 180 °C e 200 °C nos tempos de 4 h e 8 h obtiveram resultados satisfatórios para o gesso reciclado obtido pela requeima a temperatura de 200 °C por 8 horas verificando-se com esse estudo a possibilidade de redução do consumo de energia para reciclagem do resíduo de gesso.

4.9 Resistência de aderência à tração

As Tabelas 30 e 31 mostram os resultados do ensaio de resistência à aderência dos revestimentos em pastas de gesso, respectivamente, com 100% da massa de gesso comercial (G00) e 100% da massa de gesso reciclado (G100) em substrato de tijolos cerâmicos.

Tabela 30 - Ensaios de resistência de aderência para o gesso comercial.

Corpo de prova	Carga (N)	Seção (mm ²)	Tensão (MPa)	Forma de ruptura
1	1138	1963	0,58	<i>b</i>
2	1589	1963	0,81	<i>a</i>
3	392	1963	0,20	<i>d</i>
4	1628	1963	0,83	<i>a</i>
5	951	1963	0,48	<i>b</i>
6	-	-	-	-

a: Ruptura na interface argamassa/substrato. *b*: Ruptura da argamassa de revestimento. *c*: Ruptura do substrato. *d*: Ruptura na interface revestimento/cola. *e*: Ruptura na interface cola/pastilha.

Fonte: Adaptada a partir da NBR 13528 (ABNT, 1995).

Tabela 31 - Ensaio de resistência de aderência para o gesso reciclado.

Corpo de prova	Carga (N)	Seção (mm ²)	Tensão (MPa)	Forma de ruptura
1	422	1963	0,21	<i>b</i>
2	481	1963	0,25	<i>b</i>
3	618	1963	0,31	<i>b</i>
4	196	1963	0,10	<i>d</i>
5	167	1963	0,10	<i>d</i>
6	892	1963	0,45	<i>a</i>

a: Ruptura na interface argamassa/substrato. *b*: Ruptura da argamassa de revestimento. *c*: Ruptura do substrato. *d*: Ruptura na interface revestimento/cola. *e*: Ruptura na interface cola/pastilha.

Fonte: Adaptada a partir da NBR 13528 (ABNT, 1995).

Segundo os critérios estabelecidos pelas normas de referência ($\geq 0,20$ MPa) os resultados apresentados para a pasta de gesso comercial, caracterizadas como superfícies que apenas receberão pintura, podem ser considerados satisfatórios, pois o valor médio registrado de tensão foi de 0,82 MPa para as amostras com forma de ruptura na interface argamassa/substrato (*a*) e de 0,53 MPa para as amostras com forma de ruptura da argamassa de revestimento (*b*). O resultado da amostra com ruptura na interface revestimento/cola (*d*) foi desprezado, pois indica imperfeição na colagem da pastilha a argamassa.

Nos resultados obtidos para a pasta de gesso reciclado, a média dos valores obtidos são plenamente compatíveis com os resultados apresentados pela norma brasileira, apresentando valor médio de 0,26 MPa para as amostras com forma de ruptura da argamassa de revestimento (*b*) e de 0,45 para a amostra com forma de ruptura na interface argamassa/substrato, ambos superiores ao valor de 0,20 MPa preconizado pela norma. O resultado de 0,21 MPa para as amostras com forma de ruptura na interface revestimento/cola foi desprezado por se tratar de imperfeição da colagem da pastilha/argamassa.

Em geral, os resultados do ensaio do revestimento indicam que a adição de 100% de resíduos formando argamassa de gesso para aplicação em revestimento interno tem influência positiva, pois apresentaram resistência de aderência em média 30% acima do especificado pela NBR 13528 (ABNT, 1995), tornado essa prática possível.

5 CONCLUSÕES

No desenvolvimento de novos materiais a partir de composições envolvendo o gesso comercial e o gesso reciclado para o uso e aplicação na construção civil, o estudo permitiu selecionar para o processo de reciclagem: a temperatura de desidratação de 160 °C, o tempo de residência de 8 horas e a relação água/gesso de 0,70 como condições adequadas a produção de um novo material reciclado compatível com o gesso comercial, porém com baixo consumo energético e com possibilidade de minimizar os impactos ambientais de sua produção.

O gesso reciclado apresenta reduções de 20,4% da massa unitária em relação à indicação normativa e módulo de finura em conformidade com o limite especificado pela norma padronizada para a produção de um gesso reciclado com granulometria fina.

Os tempos de início e fim de pega para as pastas de gesso reciclado, obtidos com as relações água/ gesso de: 0,56 determinada pela consistência, 0,70 utilizada no canteiro de obra e 0,75 recomendada pelo fabricante apresentaram diminuições, não atendendo às exigências para o gesso da construção civil conforme as recomendações normatizadas.

Na análise química dos gessos reciclados os valores encontrados para os teores de água livre, água de cristalização e teores de óxidos de cálcio e anidrido sulfúrico foram compatíveis com a formação de gesso hemidrato, atendendo às especificações químicas para uso de gesso na construção civil.

No estado endurecido, as amostras das pastas de gesso comercial com adição de gesso reciclado mostraram um crescente aumento da resistência à compressão das pastas, apresentando assim bom desempenho mecânico, em alguns casos superior a 15% do valor mínimo especificado em norma. Estas características garantem o uso integral do gesso reciclado nas aplicações em fundição, mostrando que já é possível construir de forma sustentável com produtos reciclados e em conformidade com as normas técnicas vigentes. A adição de aditivos pode também expandir os usos ou aplicações em sistemas de revestimento.

Os valores da resistência de aderência à tração indicam que a adição de 100% de resíduos em argamassa de gesso satisfazem as condições da normalização, sendo viável a aplicação em revestimentos internos, podendo desta maneira promover a sua reintegração ao processo produtivo, fornecendo destinação adequada ao resíduo de gesso, e assim minimizando os impactos ambientais de sua produção.

A reciclagem dos resíduos de gesso da construção civil pode minimizar os impactos ambientais gerados pela disposição dos resíduos, além da diminuição de poluentes no meio ambiente, permitindo a redução dos gastos energéticos e também prolongar a vida útil das jazidas fornecedoras da matéria-prima para fabricação do gesso.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar estudos combinados da adição de resíduo e da utilização de aditivos para alteração de pega em benefícios da reciclagem das sobras de revestimento de gesso.
- Realizar estudos da mineralogia dos gessos reciclados através de difratometria de raios X (DRX) a fim de avaliar seu potencial de reciclagem.
- Realizar estudos termogravimétricos (TG) para melhor avaliação da composição e estabilidade do resíduo de gesso.
- Realizar estudos de incorporação de outros materiais, como a fibra de coco, visando melhorar propriedades relacionadas à resistência do gesso reciclado e potencialização das aplicações.

REFERÊNCIAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) - **NBR 10004**.

Resíduos sólidos - classificação: Rio de Janeiro, 2004.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) - **NBR 12127**.

(MB 3468). Gesso para construção - determinação das propriedades físicas do pó – métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 1991.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) - **NBR 12128**.

(MB 3469). Gesso para construção- determinação das propriedades físicas da pasta. Rio de Janeiro. 1991.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) - **NBR 12129**.

(MB 3470). Gesso para construção- determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro. 1991.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) - **NBR 12130**.

(MB 3471). Gesso para construção- determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico – métodos de ensaios. Rio de Janeiro. 1991.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) - **NBR 12775**.

Placas lisas de gesso para forro – determinação das dimensões e propriedades físicas. Rio de Janeiro. 1992.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) - **NBR 13207**.

Gesso para construção civil. Rio de Janeiro. 1994.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) - **NBR 13867**.

Revestimento interno de paredes e tetos com pastas de gesso – materiais, preparo, aplicação e acabamento. Rio de Janeiro. 1997.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) - **NBR 14715-1**:

Chapas de gesso para drywall – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro. 2010.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) - **NBR 14717-2**. Chapas de gesso para drywall – Parte 2: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 2010.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) - **NBR 13528**. Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 1995.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2011**. Disponível em: www.abrelpe.gov.br.

ANTUNES, R. P. N. **Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

BALTAR, C. A. M., BASTOS, F. F., LUZ, A. B. **Gipsita Capítulo 21** – CCT2005-122-00. CETEM - Comunicação Técnica elaborada para Edição do Livro Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações. Pág. 449 a 470. Rio de Janeiro. 2005.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; BORGES, L. E. P. **Diagnóstico do pólo gesseiro de Pernambuco (Brasil) com ênfase na produção de gipsita para fabricação de cimento**. 2005.

<%20COMUNICACIONES/MAGALHAES%20Carlos_IV%20IBERMAC.pdf>. Acesso 05/10/2010.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. L. **Diagnóstico do pólo gesseiro de Pernambuco (Brasil) com ênfase na produção de gipsita para fabricação de cimento**. 2009. IV BIERMAC.

BARDELLA P. S.; SANTOS, F. M. DOS, CAMARINI, G. **Reciclagem de Gesso de Construção**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. ICTR. Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Faculdade de Engenharia Civil – Departamento de Arquitetura e Construção, Florianópolis, Santa Catarina, 2004.

BARDELLA, P. S.; CAMARINI, G. **Propriedades de gesso reciclado para utilização na construção civil**. In: Anais do 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, Foz do Iguaçu, 2006.

BARDELLA, P. S.; CAMARINI, G. **Calor de hidratação de gesso reciclado para construção**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS. São Paulo. 2004. Anais. São Paulo: Cbecimat, 2004. p. 1-18.

BARDELLA, P.S., FERREIRA JR, E.L., CAMARINI, G. **Air Permeability, Physical and Mechanical Properties from Recycled Plaster**. In. Interamerican Conference on Non-Conventional Materials and Technologies in the Eco-Construction and Infrastructure – IACNOCMAT 2003. João Pessoa, 2003.

BAUER. L. A. F.. **Materiais de construção - V.2** Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos, 1992.

BERNHOFET, L. F. **Caracterização das propriedades físicas de mecânicas de argamassa com gesso reciclado**. Dissertação de Mestrado. Universidade De Pernambuco. Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, 2010.

CAMARINI, G. **Avaliação das propriedades do gesso reciclado com uso de aditivos**. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC). Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, SP, Brasil. 2013.

CAVALCANTI, L. B. **Determinação de condições operacionais adequadas na desidratação do minério de gipsita para obtenção de um gesso beta reciclável**. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica De Pernambuco. Recife, 2006.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Reciclagem obrigatória do gesso muda hábitos da construção civil**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.cbic.org.br/>.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 307**, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção. Diário Oficial da República Federativa do Brasil.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 431/2010** – Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. Publicada no DOU nº 99, de 25/05/2011, seção 1, pág. 123.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 348/04** – Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10º, 11º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Publicada no DOU nº 14, de 19/01/2012, seção 1, pág. 76.

CUNHA, L. M.; SILVA, A. J. C. **Avaliação do desempenho mecânico de pastas de gesso para revestimento em contato permanente com a água**. In: CONDER, 2007, Caruaru-PE. Congresso Nacional de Desenvolvimento Regional, 2007.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral – **Sumário Mineral 2011** – ISSN 0101 – 2053. Brasília. Volume 31. 2011.

DRYWALL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FABRICANTES DE CHAPAS DE DRYWALL. **Resíduos de gesso na construção civil** – coleta, armazenagem e reciclagem. Junho de 2012.

DTTM. Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral – Setor de Transformação de Não-Metálicos - **Anuário Estatístico 2009**.

<http://www.macropolitica.com.br/docs/Anuario_Estatistico_do_Setor_de_Transformacao_de_nao_metalicos_2009.pdf>Acesso: 09/09/2010.

DTTM. Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral – Setor de Transformação de Não-Metálicos - **Anuário Estatístico 2011.**

<http://www.macropolitica.com.br/docs/Anuario_Estatistico_do_Setor_de_Transformacao_de_nao_metalicos_2011.pdf>.

DTTM. Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral – Setor de Transformação de Não-Metálicos - **Anuário Estatístico 2012.**

<http://www.macropolitica.com.br/docs/Anuario_Estatistico_do_Setor_de_Transformacao_de_nao_metalicos_2012.pdf>.

ELIAS, M. D. **Análise da gestão de resíduos da construção civil no município de Fortaleza-CE**, Fortaleza. 2009.

FIANO, M. B. S.; PIMENTEL, L. L. **Estudo da Viabilidade do Reaproveitamento do Gesso – Queima Rápida**. Anais do XV Encontro de Iniciação Científica da PUC. Campinas, 2009.

GEDO GUILHERME. **A História do Gesso**. Disponível em: www.gessoguilherme.com.br. Acessado em 15 de julho de 2012.

GOMES, M. F. **Otimização do tempo e temperatura no processamento da gipsita oriunda dos cristalizadores da produção de sal para obter gesso de uso na construção civil**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Química, UFRN, Natal-RN, Área de Concentração: Engenharia Química, 2012.

GYPSUM RECYCLING INTERNATIONAL. **The recycling technology**. Dinamarca. Disponível em: <<http://www.gypsumrecycling.biz/>>. Acesso em: 10 out. 2012.

HARADA, E.; FIANO, M. B.; SÁ, N. H. R.; PIMENTEL, L. L. **Estudo Da Viabilidade da Reciclagem de Resíduo do Gesso Aplicado como Revestimento de Alvenaria**. Encontro Nacional sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção. Feira de Santana. 2009.

HENDRIKS, C. F.; NIJKERK, A. A.; KOPPEN, A. E. V. **O Ciclo da Construção**. Editora Universidade de Brasília, 2007. 250 p.

HINCAPIÉ, A. M. **Efeito de substâncias retardadoras de pega nas propriedades do gesso de construção**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997. Disponível em: www.infohab.org.br.

IBDA. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura. **Sistema Construtivo: a Universidade Federal da Paraíba desenvolve proposta modular à base de blocos de gesso**. Disponível em: www.forumdaconstrucao.com.br. Acesso em 22 de junho de 2013.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **Alternativas de gestão dos resíduos de gesso**. São Paulo. 2003. 9 p. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br>. Acesso em: 30 jun. 2008.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **Gesso de construção civil**. In: ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil**. São Paulo: IBRACON, 2007. p. 727-760.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos**. São Paulo: PCC/EPUSP, 1998. Projeto EPUSP/SENAI.

MOURA, F. S. **Bloco de gesso na construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Sergipe, 2009.

MUNHOZ, F. C. **Utilização do gesso para fabricação de artefatos alternativos, no contexto de produção mais limpa**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista, Bauru Agosto/2008.

MUNHOZ, F. C.; RENÓFIO, A. **Uso da Gipsita na Construção Civil e Adequação para a P+L**. XIII SIMPEP - BAURU, SP, 2006.

MUSTAFA, D. **Construção Civil** - Entulho é o vilão das cidades. CIDADES DIÁRIO DO NORDESTE 31.03.2008. Fortaleza. 2008. Disponível em: <http://diariodonordeste.globo.com/materia.asp?codigo=524988>. Acesso em: 03.07.2012.

NASCIMENTO, F. J. F.; PIMENTEL, L. L. **Reaproveitamento de resíduo de gesso**. Anais do XV Encontro de Iniciação Científica da PUC. Campinas, 2010.

NETO, J. C.M. **Diagnóstico para estudo de gestão de resíduos de construção e demolição do município de São Carlos**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos. 2003.

NWGR. **New West Company Recycling Inc**. Canadá. Disponível em: <http://www.nwgypsum.com/>. Acesso em: 10out. 2012.

OLIVEIRA, A. F. **Materiais de construção aglomerantes**. Arquitetura Urbanista, 2010. Disponível em: Aula-mc-03_cal_gesso_cimento.pdf.

PINHEIRO, S. M. M. **Gesso reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes**. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2011. 352p. Tese (Doutorado). Departamento de Arquitetura e Construção, UNICAMP, 2011.

PMGIRS. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Fortaleza - Estado do Ceará. Pj_001-2012. **RESÍDUOS SÓLIDOS**. CEARÁ. 2012.

PNRS. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Lei Nº 12.305/2010**; Altera a Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e da outras providências. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2010.

REVISTA CONSTRUÇÃO CEARÁ, Prático e versátil. **Caderno Imobiliário**. Ano 3, Edição 18, p. 16, 2013.

RIBEIRO, A. S. **Produção de gesso reciclado a partir de resíduos oriundos as construção civil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, 2006.

SAPATINI, T. D.; BARROS, *et al.* **Aplicações dos Resíduos de Construção e Demolição**. VIII Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura. 2011.

SILVA, M. G. S. **Desenvolvimento de compósitos à base de gesso e pó de fibras de coco**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, Sergipe, 2010.

SINDUSGESSO. Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco. Disponível em: <<http://www.sindusgesso.org.br/>>. Acesso em: 27 de agosto 2013.

SOBRINHO, A. C. P. de L.; DANTAS, J.O. C. **GIPSITA**. Departamento Nacional de Produção Mineral – PERNAMBUCO, 2008.

SOBRINHO, A. C. P. L.; AMARAL, A. J. R.; DANTAS, J.O.C.; DANTAS, J. R. A. **Balanco Mineral Brasileiro – Gipsita**. Departamento Nacional de Produção Mineral – PERNAMBUCO. 2001.

SOUZA, A. C. A. G. de. **Análise comparativa de custos de alternativas tecnológicas para construção de habitações populares**. Dissertação de mestrado. Universidade Católica de Pernambuco. Recife. 2009.

SOUSA, A. A. P.; OLIVEIRA, D. F.; FARIAS, G.G.; JORDÃO, M.T. **Agenda Ambiental: Gestão Socioambiental**. 21 ed. CDD. Campina Grande: EDUEPB, 2011. 628p.

TAVARES, Y. V. P. ;LORDSLEEM, A.C. J. ; SCHMITZ, I. B. T. A.; JOHN, V. M. **Reaproveitamento do Resíduo de Gesso na Execução de Revestimento Interno de Vedação Vertical**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 103-119, jan./mar. 2010.

TAVARES, Y. V. P.; GUSMÃO, A. D.; SIQUEIRA, M. S. **Reciclagem de resíduos de gesso de revestimento** – (PEC POLI/UPE). 2008.

<<http://www.sindusgesso.org.br/noticias.asp?codigo=43>>. Acesso em 04 de outubro de 2010.

TROVÃO, A. P. M. **Pasta de gesso com incorporação de resíduo de gesso e aditivo retardador de pega**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo. 2012. 158 f.