



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil



Desenvolvimento de placas de gesso termo isolantes aditivadas com rejeitos de quartzito e fibra de vidro

Autora: Rosana Márcia de Resende Mol

Orientador: Prof. Dr. Ricardo André Fiorotti Peixoto

Ouro Preto, Março de 2017



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil



Desenvolvimento de placas de gesso termo isolantes aditivadas com rejeitos de quartzito e fibra de vidro

Autora: Rosana Márcia de Resende Mol

Orientador: Prof. Dr. Ricardo André Fiorotti Peixoto

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Construções Metálicas.

Ouro Preto, Março de 2017

M717d

Mol, Rosana Márcia de Resende.

Desenvolvimento de placas de gesso termo isolantes aditivadas com rejeitos de quartzito e fibra de vidro [manuscrito] / Rosana Márcia de Resende Mol. - 2017.

62f.: il.: color; graf.; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo André Fiorotti Peixoto.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Metálica.

1. Gesso. 2. placas de gesso. 3. rejeito de quartzito. 4. resistência a incêndio. 5. sustentabilidade. I. Peixoto, Ricardo André Fiorotti. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

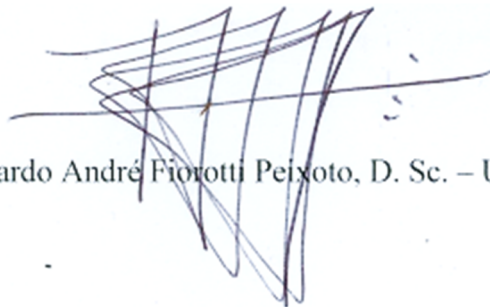
CDU: 624.014

Catálogo: www.sisbin.ufop.br

Desenvolvimento de placas de gesso termo isolantes aditivadas com rejeitos de quartzito e fibra de vidro

Autora: Rosana Márcia de Resende Mol

Esta dissertação foi apresentada em seção pública e aprovada em 29 de Março de 2017, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



Prof. Ricardo André Fiorotti Peixoto, D. Sc. – UFOP (Presidente)



Prof. Guilherme Jorge Brigolini Silva, D. Sc. – UFOP



Prof. Augusto César da Silva Bezerra, D. Sc. – CEFET/MG

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais pelo apoio dado, principalmente à minha mãe, Áurea, cuja amizade, amor e incentivo me deram coragem para continuar nos momentos mais difíceis. A todos familiares, amigos e meu namorado que sempre me apoiaram e acreditaram em mim.

Gostaria de agradecer ao professor e orientador Ricardo André Fiorotti Peixoto, por quem tenho grande admiração, pela oportunidade concedida de trabalho e aprendizagem junto a ele e todo o grupo. Agradeço por compartilhar seu conhecimento e experiência, e pela motivação de ir sempre além do que deve ser feito. Registro aqui meus sinceros agradecimentos e gratidão por todos os ensinamentos e apoio durante essa jornada.

Não poderia deixar de agradecer a todos os membros do grupo RECICLOS, pela amizade, apoio e contribuição que foram imprescindíveis para conclusão deste trabalho. Agradeço também ao professor Augusto César da Silva Bezerra pela colaboração.

Agradeço, por fim, ao PROPEC, à UFOP, à CAPES, à Fapemig e ao CNPq pela oportunidade, apoio organizacional e financeiro. E a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, direta ou indiretamente, meu muito obrigada.

RESUMO

O uso de placas de revestimento de gesso (conhecidas como drywall) tem se tornado cada vez mais comum, visto que estas apresentam diversas vantagens, como rapidez e facilidade na instalação, regularidade dimensional e superfície lisa, bom isolamento térmico e acústico, resistência a umidade e ao fogo, grande durabilidade em ambientes internos (paredes, forros e revestimentos). A atividade industrial da construção civil é um grande consumidor de matérias primas, e, recentemente a questão ambiental tem ganhado cada vez mais importância neste setor. A opção por soluções cada vez mais sustentáveis, fazendo uso de materiais reciclados ou reaproveitados é cada vez mais essencial e cria atrativos para o desenvolvimento e valorização dos produtos desta indústria, promovendo ganhos a todos envolvidos. Desta forma, este projeto propõe o desenvolvimento de um material compósito termicamente eficiente e resistente ao fogo para alvenarias modulares, em que se destinam rejeitos da indústria da mineração de ferro e quartzito. Os rejeitos da mineração de ferro são as fibras de vidro empregadas como elemento construtivo e portante para estruturas de apoio. Os rejeitos da mineração de quartzito são os quartzitos friáveis, camadas superiores que compõem os inservíveis desta atividade mineradora. O material compósito proposto possui como matriz uma argamassa de gesso comercial e areia de argila expandida, aditivada com rejeitos e moldados sob a forma de placas, a exemplo das placas de gesso comercialmente disponíveis. Todos os materiais utilizados para construção das placas foram caracterizados segundo suas propriedades físicas, químicas e morfológicas. As placas foram submetidas a um programa experimental para determinação de suas propriedades mecânicas, isolamento térmico e resistência ao fogo comparativamente às placas de gesso de referência. Os resultados obtidos indicaram desempenho semelhante para as placas aditivadas com rejeitos em relação às convencionais, que mostra que a adição de rejeitos pode não só produzir peças mais econômicas, quanto mais eficientes ambientalmente, contribuindo com a sustentabilidade de geradores de rejeitos e consumidores de matérias primas naturais.

Palavras-chaves: Gesso; placas de gesso; rejeito de quartzito; resistência a incêndio; sustentabilidade.

ABSTRACT

The use of plasterboard (known as drywall) has become increasingly common, since these have several advantages, such as quick and easy installation, dimensional regularity and smooth surface, good thermal and acoustic insulation, resistance to humidity and fire, great durability in indoor environments (walls, linings and coverings). The construction industry is a major consumer of raw materials, and recently the environmental issue has gained increasing importance in this important sector. The option for increasingly sustainable solutions, making use of recycled or reused materials is essential and creates attractions for the development and valuation of the products of this industry, promoting gains to all involved. In this way, this project proposes the development of a thermally efficient and fire resistant composite material for modular masonry, in which waste from the iron and quartzite mining industry is destined. The tailings of iron mining are the glass fibers used as a constructive and reinforcing element for supporting structures. The tailings of the quartzite mining are the friable quartzites, which compose the waste of this mining activity. The proposed composite material has a commercial plaster mortar and expanded clay sand, with tailings as additive and molded in the form of plates, such as commercially available gypsum plates. All the materials used to construct the plates were characterized according to their physical, chemical and morphological properties. The plates were submitted to an experimental program to determine their mechanical properties, thermal insulation and fire resistance compared to reference gypsum plates. The results indicated similar performance for the plates with tailings compared to conventional ones, which shows that the addition of tailings can not only produce more economical pieces, but also more environmentally efficient, contributing to the sustainability of tailings generators and consumers of natural raw materials.

Keywords: Gypsum; plasterboard; quartzite tailings; fire resistance; sustainability.

SUMÁRIO

Resumo	III
Abstract.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTAS DE TABELAS	X
1. Introdução.....	1
1.1 Justificativa	2
1.2 Objetivos.....	3
2. Revisão de Literatura.....	4
2.1 Breve revisão sobre os materiais.....	4
2.1.1 <i>Gesso</i>	4
2.1.2 <i>Quartzito</i>	5
2.1.3 <i>Argila expandida</i>	6
2.1.4 <i>Fibras de vidro</i>	7
2.2 Placas de gesso.....	8
2.3 Influência das adições na matriz de gesso	9
2.4 Sistema aquecimento-resfriamento em placas de gesso	11
3. Materiais e métodos.....	13
3.1 Materiais	13
3.1.1 <i>Gesso</i>	13
3.1.2 <i>Quartzito</i>	13
3.1.3 <i>Argila expandida</i>	14
3.1.4 <i>Fibras de vidro</i>	15
3.2 Metodologia	16
3.3 Técnicas de caracterização dos materiais	18
3.3.1 <i>Granulometria a laser</i>	18

3.3.2	<i>Espectometria de fluorescência de raios-x (FRX)</i>	18
3.3.3	<i>Microscopia</i>	19
3.3.4	<i>Análise termogravimétrica e térmica diferencial</i>	20
3.4	Descrição dos ensaios (pó e pasta)	20
3.4.1	<i>Água livre e de cristalização</i>	20
3.4.2	<i>Consistência normal</i>	21
3.4.3	<i>Tempo de início e fim de pega</i>	22
3.4.4	<i>Calor de hidratação (fase exotérmica)</i>	22
3.5	Produção das placas	23
3.6	Descrição dos ensaios (placas)	25
3.6.1	<i>Densidade superficial de massa</i>	25
3.6.2	<i>Absorção de água</i>	25
3.6.3	<i>pH em água</i>	26
3.6.4	<i>Dureza superficial</i>	27
3.6.5	<i>Resistência à compressão</i>	27
3.6.6	<i>Resistência à ruptura na flexão</i>	28
3.6.7	<i>Condutividade Térmica</i>	29
3.6.8	<i>Análises Térmicas</i>	30
3.6.9	<i>Resistência ao fogo</i>	30
4.	Resultados	31
4.1	Resultado da caracterização dos materiais	31
4.1.1	<i>Distribuição granulométrica</i>	31
4.1.2	<i>Propriedades químicas</i>	32
4.1.3	<i>Morfologia</i>	32
4.2	Definição do traço utilizado	34
4.3	Propriedades da pasta	38
4.3.1	<i>Ensaio de consistência normal</i>	38

4.3.2	<i>Tempo de início e fim de pega</i>	39
4.3.3	<i>Determinação da fase exotérmica</i>	40
4.4	Avaliação das propriedades das placas	41
4.4.1	<i>Densidade superficial de massa</i>	41
4.4.2	<i>Absorção de água</i>	42
4.4.3	<i>pH em água</i>	42
4.4.4	<i>Dureza superficial</i>	43
4.4.5	<i>Resistência à compressão</i>	45
4.4.6	<i>Resistência à ruptura na flexão</i>	46
4.4.7	<i>Estrutura interna das placas (microscopia)</i>	47
4.4.8	<i>Condutividade térmica</i>	48
4.4.9	<i>Análise térmica</i>	49
4.4.10	<i>Resistência ao Fogo</i>	51
4.5	Viabilidade técnica, econômica e ambiental.....	55
5	Conclusões e considerações finais	55
5.1	Conclusões	55
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	56
6	Referências Bibliográficas	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mineral gipsita. (Banco de Dados de Geologia, UFJF)	5
Figura 2 – Consumo histórico anual de chapas para drywall no Brasil em milhões de m ² . (Associação Brasileira do Drywall, 2016)	8
Figura 3 – Modelo de exposição ao fogo em uma placa isolante. (Adaptado de Vilches, 2005)	12
Figura 4 – Jazida de quartzito. (Google Maps, 2015).....	13
Figura 5 – Rejeito de quartzito processado.....	14
Figura 6 – Argila expandida utilizada	14
Figura 7 – Fibras de vidro utilizadas, forma bruta e beneficiada, respectivamente.	15
Figura 8 – Metodologia.	16
Figura 9 – Granulômetro a laser	18
Figura 10 – Espectrômetro de fluorescência de raios X	19
Figura 11 – Microscópio Óptico.....	19
Figura 12 – Analisador termogravimétrico (TGA).....	20
Figura 13 – Esquema do ensaio para obtenção da curva do calor de hidratação.23	
Figura 14 – Preparo dos materiais para produção das placas.	24
Figura 15 – Materiais para a mistura e molde.	24
Figura 16 – Mistura do compósito e gesso, respectivamente.	25
Figura 17 – Preparo do ensaio de determinação do pH.	26
Figura 18 – Ensaio de dureza superficial.....	27
Figura 19 – Corpos de prova. a) moldagem, b) execução de ensaio.	28
Figura 20 – Esquema de funcionamento do medidor de fluxo de calor. (NETZSCH)	29
Figura 21 – Ensaio de condutividade térmica.....	30
Figura 22 – Esquema do ensaio (forno tipo mufla adaptado).....	31
Figura 23 – Curva granulométrica do quartzito.....	31
Figura 24 – Gesso. a) aumento de 10X, b) aumento de 45x.....	33
Figura 25 – Quartzito. a) aumento de 10X, b) aumento de 45x.	33
Figura 26 – Argila expandida a) aumento de 10X, b) aumento de 45x.....	34
Figura 27 – Fibras de vidro a) aumento de 10X, b) aumento de 45x.	34

Figura 28 –Análise térmica, amostras T1, T2, T3 e T4.....	35
Figura 29 – Amostra T1 após análise térmica. a) material no cadinho, zoom de 10x, b) material, zoom de 45x.	35
Figura 30 – Amostra T2 após análise térmica. a) material no cadinho, zoom de 10x, b) material, zoom de 45x.	36
Figura 31 – Amostra T3 após análise térmica. a) material no cadinho, zoom de 10x, b) material, zoom de 45x.	36
Figura 32 – Amostra T4 após análise térmica. a) material no cadinho, zoom de 10x, b) material, zoom de 45x.	36
Figura 33 – Relação entre porcentagem de quartzito, perda de massa e água de cristalização.	38
Figura 34 – Consistência normal gesso e compósito, respectivamente.....	39
Figura 35 – Curva de calor de hidratação.....	40
Figura 36 – Densidade superficial de massa.....	41
Figura 37 – Absorção de água do gesso e compósito.....	42
Figura 38 – Medição do pH das placas.....	43
Figura 39 – pH das placas.....	43
Figura 40 – Diâmetros das mossas	44
Figura 41 – Dureza superficial. a) placa de gesso, b) placa do compósito.....	44
Figura 42 – CPs após ensaio, compósito (acima) e gesso (abaixo).	45
Figura 43 – Resistência à compressão	45
Figura 44 – Resistência à ruptura na flexão.....	46
Figura 45 – Ensaio ruptura à flexão. a) placa de gesso, b) placa do compósito.....	47
Figura 46 – Compósito. a) aumento de 10X, b) aumento de 45X.....	47
Figura 47 – Condutividade térmica.	48
Figura 48 – Análise térmica placa de gesso.....	49
Figura 49 – Análise térmica placa do compósito.....	50
Figura 50 – Comportamento à exposição ao fogo.....	52
Figura 51 – Pós ensaio. a) placa de compósito, b) placa de gesso.	52
Figura 52 – Distribuição de calor nas placas. a) gesso, b) compósito.	53
Figura 53 – MEV placas de gesso. a) pré ensaio, b) pós ensaio.....	53
Figura 54 – MEV placas de compósito. a) pré ensaio, b) pós ensaio.....	54
Figura 55 – MEV placas de compósito, detalhes. a) AE, b) FV.....	54

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química de fibras de vidro comerciais	7
Tabela 2 – Informações sobre os ingredientes utilizados	9
Tabela 3 – Composição química do quartzito	32
Tabela 4 – Composição química do gesso.....	32
Tabela 5 – Percentagem de água livre	37
Tabela 6 – Percentagem de água de cristalização.....	37
Tabela 7 – Tempo de Pega do Gesso.....	40
Tabela 8 – Tempo de Pega do Compósito	40

1. INTRODUÇÃO

Gesso é o termo genérico de uma família de aglomerantes simples, constituídos basicamente de sulfatos mais ou menos hidratados e anidros de cálcio. São obtidos da calcinação da gipsita natural, constituída de sulfato dihidratado de cálcio geralmente acompanhado de uma certa proporção de impurezas, como sílica, alumina, óxido de ferro, carbonatos de cálcio e magnésio (Bauer, 2008).

O Brasil possui reservas de gipsita com cerca de 350 milhões de toneladas, porém só produz cerca de dois milhões de toneladas por ano. Pernambuco responde por cerca de 92,8% da produção nacional, tendo 24 das 30 minas em atividade no país (Leitão, 2005). O processo de extração pode acarretar em danos permanentes ao meio ambiente e à sociedade - poluição do solo, das águas e do ar, diminuição da vegetação local além de problemas bronco respiratórios e irritativos que podem vir a se tornar permanentes na população próxima às áreas de extração - definidos por Medeiros (2010) como um processo de deterioração socioambiental instalado no polo gesseiro de Pernambuco.

Por outro lado, a extração de rochas ornamentais, como o quartzito gera uma enorme quantidade de resíduos. Segundo Ramirio et al (2008), baseado em dados de mineradoras do sudoeste de Minas Gerais, a geração de rejeitos pode corresponder a até 92% do material extraído, sendo a produção anual de cerca de 600.000 toneladas. O montante de resíduos gerados anualmente é muito grande, se tornando um desafio para as indústrias mineradoras, no que diz respeito a condições ambientais, de logística, dentre outras, podendo levar até mesmo ao fechamento de minas devido à disposição incorreta desses resíduos.

Tendo em vista os aspectos relacionados aos impactos ambientais provocados pela mineração de ferro e quartzito, este trabalho propõe desenvolver materiais compósitos para obtenção de placas de gesso termo isolantes e resistentes a incêndio aditivadas com rejeitos de quartzito e fibra de vidro, aplicadas à produção de painéis de vedação para alvenarias tipo drywall.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com a produção de resíduos sólidos pelas indústrias, gera-se um problema ambiental no que se refere ao seu descarte e armazenamento, tornando-se assim essencial a busca de formas para sua reutilização. A indústria da construção civil é canteiro fértil para aplicação de novos materiais desenvolvidos de forma sustentável, a partir da reciclagem e reutilização de rejeitos industriais. Casos de sucesso são relatados pela literatura, como matrizes cimentícias produzidas com rejeitos de siderurgia - escórias de aciaria e com rejeitos de mineração de ferro, vide Gonçalves et al (2015) e Fontes et al (2016).

Por outro lado, a atividade mineradora de ferro e quartzito são juntas, responsáveis pela geração de milhões de toneladas de rejeito por ano. Segundo o USGS (2014), a produção de minério de ferro no Brasil foi estimada em 398 milhões de toneladas em 2013, para cada tonelada de minério de ferro processado tem-se cerca de 0,4 toneladas de rejeitos. A produção brasileira de rochas ornamentais teria somado 9,3 milhões de toneladas em 2012, no caso específico do quartzito, estima-se que a produção brasileira esteja por volta de 600.000 toneladas, sendo a grande maioria em Minas Gerais (Abirochas, 2013).

No processo de extração do quartzito, é gerado um grande volume de resíduos, que são divididos em finos e granulados, sendo esses últimos de dimensão maior que 1 mm, oriundos da etapa de lavra e deslocamento, nas quais se enquadram os quartzitos friáveis, provenientes da remoção da camada de estéril. Para esse tipo de rejeito a disposição realizada é o empilhamento, de acordo com Russo (2011). Além das grandes áreas destinadas a essas pilhas, impactos ao ambiente são gerados no sentido da preservação da fauna e flora local assim como nascentes, cursos d'água e poluição atmosférica.

Em outro contexto, o sistema Drywall é o mais utilizado para construção de alvenarias e divisórias na Europa e Estados Unidos, visto que é constituído por placas de gesso com alta resistência mecânica, térmica e acústica com alto padrão de qualidade. Esse sistema permite ainda, maior racionalização de operações e custos e da obra como um todo, permitem rapidez de execução, obras leves, limpas e sem desperdício de materiais, além de oferecer excelente acabamento.

No Brasil, a instalação de fábricas de chapas de gesso para drywall, iniciada em meados dos anos 90, representou um esforço pioneiro visando à modernização da construção civil brasileira, tradicionalmente caracterizada pelo uso de métodos artesanais, com baixa produtividade, elevados níveis de desperdício e reduzida valorização da mão-de-obra. O mercado respondeu positivamente a essa iniciativa, ainda assim, no que diz respeito à utilização desse sistema construtivo, o Brasil ocupa posição bastante modesta no cenário internacional.

Assim, pensando em desenvolver placas de gesso para produção de alvenarias tipo drywall, contribuindo para redução dos impactos da exploração de gipsita e para os processos de construção civil, e, ainda criando alternativa para destinação técnica e ambientalmente adequada para a mineração de ferro e quartzito, justifica-se a proposta deste projeto, onde geradores de rejeitos e consumidores de materiais naturais possam convergir para um objetivo único, a sustentabilidade.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desse estudo é desenvolver placas de gesso aditivadas com rejeitos da mineração de ferro e de quartzito, que possam apresentar propriedades físicas, mecânicas, isolamento térmico e resistência ao fogo adequadas, comparativamente às placas de gesso disponíveis.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar química, física e morfológicamente os rejeitos utilizados na composição das dosagens.
- Determinar o método mais eficiente para o beneficiamento dos rejeitos.
- Determinar a composição ótima para o proporcionamento do rejeito de quartzito em substituição ao gesso.
- Determinar a composição ótima para o proporcionamento da adição de fibras de vidro às dosagens gesso-quartzito.
- Obter as propriedades físicas, mecânicas, termo isolantes e resistência ao fogo para as placas produzidas.
- Inferir acerca da viabilidade para as placas obtidas.

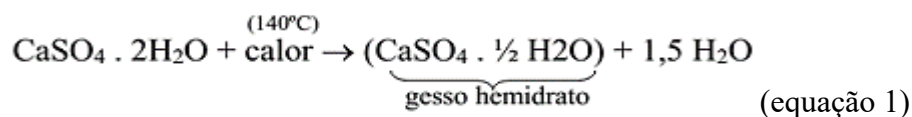
2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 BREVE REVISÃO SOBRE OS MATERIAIS

2.1.1 GESSO

O gesso é definido como material moído em forma de pó, obtido da calcinação da gipsita, constituído predominantemente de sulfato de cálcio, podendo conter aditivos controladores do tempo de pega (NBR 13207).

A gipsita é uma rocha de origem sedimentar, que pode ser vista na Figura 1, suas impurezas consistem em aproximadamente 6%, sendo constituídas principalmente pelo óxido de silício (SiO₂), a alumina (Al₂O₃), o óxido de ferro (Fe₂O₃), o carbonato de cálcio (CaCO₃), a cal (CaO), o anidrido sulfúrico (SO₃) e o anidrido carbônico (CO₂), e se trata de uma forma cristalina de sulfato de cálcio combinado com água conhecida como sulfato de cálcio dihidratado (CaSO₄.2H₂O). Comercialmente, o minério de gipsita é considerado puro quando contém 79,0% de sulfato de cálcio e 21% de água de cristalização. Quando da calcinação à temperatura de 140°C, perde parte de sua água de cristalização tornando-se assim um hemidrato, como pode ser visto na Equação 1.



De acordo com o processo de produção, pode-se obter dois tipos de hemidrato. Se a desidratação é obtida em autoclave a pressões superiores a 100 KPa, ocorre a formação de um produto bem cristalizado denominado hemidrato α . Já se a desidratação ocorrer à pressão atmosférica, com pressão parcial de vapor de água baixa, obtém-se um sólido micro poroso, mal cristalizado, denominado hemidrato β (Cincotto et al, 1998), que é o gesso utilizado na construção civil. A desidratação total da gipsita ocorre em temperaturas acima de 180°C e resulta em diferentes formas de anidrita (CaSO₄).

No Brasil, desde a década de 1960, Pernambuco assumiu e vem mantendo a posição de maior produtor nacional de gipsita, abastecendo 95% do mercado nacional. A principal região produtora, no extremo oeste do Estado de Pernambuco, recebeu a denominação de Pólo Gesseiro do Araripe (Munhoz, 2007). Em 2005, a produção brasileira de gipsita bruta foi de 1,58 milhões de toneladas, e cerca de 60% foi

calcinada para a produção de gesso, 34% foi usada na forma natural para produção de cimento e 6% foi usada como corretivo de solo (Sobrinho et al, 2006).

O gesso é um material que tem a capacidade de endurecer quando misturado com água, obtendo rigidez e dureza. O gesso beta, utilizado na construção civil caracteriza-se por seus cristais mal formados e heterogêneos, tendo tendência a formar produtos de menor tempo de pega e menor resistência se comparados ao alfa. A reação de hidratação, ou seja, de endurecimento do gesso, inversa ao processo de calcinação, é de onde resulta a pasta de gesso que pode ser trabalhada para seus diversos fins. Essa hidratação se dá através da dissolução do gesso em água, com o desprendimento de calor. Na prática, a quantidade de água utilizada varia em função do tempo de pega que se deseja obter (Munhoz, 2007) assim como a trabalhabilidade da pasta. Quanto mais rico em hemi-hidrato, maior será ser poder aglomerante, pois o di-hidratado e a anidrita funcionam como material inerte não possuindo nenhum valor aglutinante (Gonzales, 1978).

Na construção civil, o emprego do gesso divide-se em dois grupos básicos: para fundição e para revestimento. O gesso para revestimento é empregado para revestir paredes e tetos de ambientes internos e secos, enquanto que o gesso para fundição, é empregado na fabricação de pré-moldados como peças para decoração, placas para forro, blocos reforçados ou não com fibras e chapas de gesso acartonado (Munhoz, 2007).



Figura 1 – Mineral gipsita. (Banco de Dados de Geologia, UFJF)

2.1.2 *QUARTZITO*

O quartzito é uma rocha metamórfica formada a partir da transformação de outras rochas (ígneas, metamórficas ou mesmo sedimentares) através da exposição desta matriz rochosa à agentes intempéricos, térmicos, mecânicos e químicos sem que ocorra fusão da rocha (Almeida e Luz, 2009). Os quartzitos são metamorfizados de forma que, o cimento

que ligava os grãos da areia, que também eram de sílica, se recristalizou apresentando micas ou feldspatos como minerais mais comuns (Ferreira, 1980).

Em função da quantidade de mica e do grau de intemperismo, os quartzitos podem ser mais ou menos foliados e friáveis. A sílica pode ser encontrada nas formas: amorfa, representada pela diatomita quando formada por processo sedimentar pelo acúmulo de algas diatomáceas, ou cristalina, encontrada nos veios de quartzo e areias consolidadas como arenito e quartzito (Hanson, 1995).

De acordo com diversos autores é possível afirmar que o quartzito tem como componente principal a sílica (SiO_2) mas apresenta outros minerais constituintes como muscovita, biotita e sericita. Os quartzitos comumente utilizados na construção civil como revestimento e ornamentação são os quartzitos duros conhecidos como “pedra de São Tomé” ou “pedra Itacolomy”. Outro tipo de quartzito, denominado quartzito friável, ainda não é utilizado comercialmente e é um material pouco estudado, contando com escassas referências acadêmicas devido ao baixo ou mesmo ausência de valor econômico (Santos, 2015).

O quartzito friável é o resíduo gerado na frente de lavra. Segundo Santos 2105, é assim denominado quando intemperizado e pouco coeso, não tem aproveitamento econômico como material de revestimento. Fica interposto entre o capeamento do solo e a presença, ou não, de algum minério propriamente dito e por isso, definido como um estéril de lavra, sendo este termo utilizado em geologia econômica para as substâncias minerais que não têm aproveitamento econômico.

2.1.3 ARGILA EXPANDIDA

A argila expandida é o produto obtido por aquecimento de alguns tipos de argila à temperaturas em torno de 1200°C . Próximo desta temperatura, uma parte dos constituintes do material se funde gerando uma massa viscosa, enquanto a outra parte se decompõe quimicamente liberando gases que são incorporados por esta massa sinterizada, expandindo-a. Esses gases, retidos no interior da argila, não podem escapar para o seu exterior devido à fase líquida que envolve as partículas da argila. Essa estrutura porosa se mantém após o resfriamento, de modo que a massa unitária do material resultante se torna menor do que antes do aquecimento. É comumente utilizada como agregado leve, devido à sua baixa massa unitária (Moravia et al, 2006).

Suas principais características e vantagens são:

- . Leveza/Baixa Densidade - 550 kg/m³
- . Resistência/Durabilidade/Estabilidade
- . Inércia química/Isolamento térmico - até 800 °C
- . Resistências a Altas Temperaturas - 1100 °C, aplicação em concretos refratários
- . Redução do peso próprio das estruturas (Catálogo PINI).

2.1.4 FIBRAS DE VIDRO

A fibra de vidro é um material composto por filamentos de vidro bem finos e bastante flexíveis unidos a um composto de polímeros, material de base plástica, feito de petróleo. A expressão é utilizada tanto para denominar os filamentos quanto o composto, que, oficialmente, se chama Polímero Reforçado com Fibra de Vidro (ANAVIDRO, 2013).

A fibra de vidro é a fibra mais utilizada em compósitos com matriz polimérica, devido a suas características, tais como, baixo custo, alta resistência à tração e grande inércia química. As desvantagens deste tipo de fibra estão relacionadas ao seu baixo módulo de elasticidade e fadiga quando agregada a compósitos. Podem ser produzidas em forma de filamentos contínuos ou fibras picadas (Neto, 2006). Outra desvantagem é que por serem materiais tipo termofixo, muito dificulta sua reutilização ou mesmo reciclagem pois não admitem a reciclagem mecânica por não fundirem, o que faz com que outros tipos de reciclagem tenham que ser considerados, no caso as reciclagens química e energética (Mancini et al, 2011).

As fibras apresentam diversas vantagens em seu uso, como seu baixo custo, estabilidade dimensional, resistência à corrosão, rigidez dielétrica, alta resistência a tensões e a agentes químicos. Na Tabela 1 podem ser vistas as composições das fibras comerciais.

Tabela 1 – Composição química de fibras de vidro comerciais

Constituintes	SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O
Vidro E	55.2	14.8	7.3	3.3	18.7	-
Vidro C	65	4	5	3	14	8.5
Vidro S	65	25	-	10	-	-

Fonte: (LEVY NETO, 2006)

2.2 PLACAS DE GESSO

As placas de gesso conhecidas pelo seu uso em sistemas drywall, aplicadas como paredes, forros, ou divisórias têm se tornado uma solução cada vez mais utilizada em construções e reformas, devido à versatilidade e vantagens que apresentam. Segundo Leitão (2005), a produção das chapas de gesso acartonado começou no Brasil em 1972, e estima-se que o seu consumo deva crescer consideravelmente nos próximos anos, como tem demonstrado sua evolução no mercado brasileiro exibida na Figura 2, a seguir.

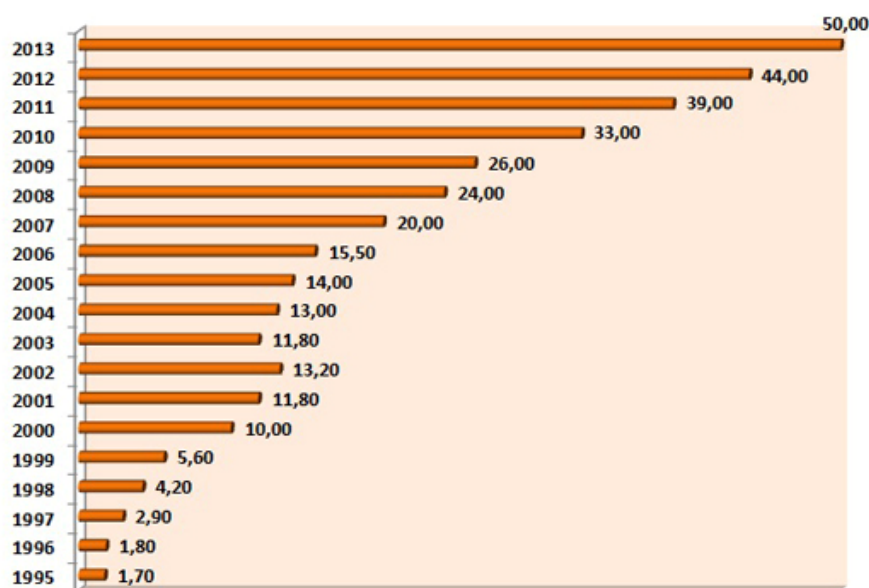


Figura 2 – Consumo histórico anual de chapas para drywall no Brasil em milhões de m². (Associação Brasileira do Drywall, 2016)

De um modo geral, o sistema de divisórias com placas de gesso acartonado caracteriza-se como sistema de vedação vertical estruturada para separação de interiores de uma construção. Baseia-se na montagem de um esqueleto de aço galvanizado (em alguns países, utiliza-se a madeira para esse fim) que são fechados com placas de gesso (Tanigguti e Barros, 1998). Esse sistema também necessita de determinados complementos, como componentes de juntas (fitas, cantoneiras, massas e espumas), componentes para fixação (parafusos), para reforço e para proteção.

Atualmente, no mercado, são encontrados três tipos principais de chapas de gesso: Standard (ST) - “branca”, indicada para uso geral, utilizada em paredes, tetos e revestimentos de áreas secas; Resistente à Umidade (RU) - “verde”, normalmente aplicada em paredes, tetos e revestimentos de áreas úmidas, contendo em sua fórmula,

agentes hidrofugantes; e Resistente ao Fogo (RF) - “rosa”, opção para os sistemas drywall instalados em ambientes nos quais se exija maior tempo de resistência ao fogo em caso de incêndio (Knauf drywall, 2015).

Dentre as principais características e vantagens apresentadas pelo uso de elementos de fechamento em placas podem ser citadas:

- . Fácil adequação aos projetos, rapidez de montagem e limpeza na obra, distribuição de fiação elétrica, tubulações, adequação de esquadrias e ajustes na obra;

- . Características adequadas para isolamento térmico e acústico ao ambiente, gerando redução no consumo de energia.

- . Maior aproveitamento da área útil, visto que as divisórias são de baixa espessura, além de serem mais leves que sistemas convencionais como a alvenaria - menores sobrecargas.

Quanto aos materiais utilizados na produção das placas comerciais, a Tabela 2 indica de forma geral, a composição média das placas, podendo ocorrer variações de acordo com o tipo e a finalidade a que se destinam.

Tabela 2 – Informações sobre os ingredientes utilizados

Componente	Porcentagem (por
Gesso	70-90
Celulose	0-10
Vermiculita	0-10
Amido	0-5
Fibras de vidro	0-2
Parafina	0-2
Ácido bórico	0-1

Fonte: (FISPQ Knauf, 2010)

2.3 INFLUÊNCIA DAS ADIÇÕES NA MATRIZ DE GESSO

Pesquisas relacionadas à utilização de matrizes de gesso para a produção de compósitos aplicados, principalmente em painéis, tem se desenvolvido utilizando fibras de vidro, de celulose e de materiais particulados, como resíduo industriais, vermiculita e cortiça visando a melhora de suas propriedades (Oliveira, 2009).

Segundo Borreguero (2014), o tamanho e distribuição de partículas na matriz influenciam diretamente as propriedades finais dos compósitos. Partículas maiores podem ocupar maiores espaços dentro da matriz de gesso ao invés de serem integradas aos poros presentes, e materiais contendo SiO_2 não interferem no crescimento dos cristais formados no gesso.

Materiais compostos principalmente por sílica e alumina, na presença do sulfato de cálcio hemi-hidratado, o gesso, podem formar silicato de cálcio e aluminato de cálcio, que costumam ser utilizados em cimentos para aplicações refratárias. Mihara et al (2007), estudou por meio da termogravimetria, a decomposição de gesso reciclado com adição de SiO_2 , Al_2O_3 ou Fe_2O_3 . Com adição destes dois primeiros, foi obtida uma redução na temperatura de decomposição de aproximados 1400°C para 1350°C . Com a presença de Fe_2O_3 essa temperatura cai ainda mais, para 950°C . Essa redução na temperatura de decomposição do CaSO_4 foi atribuída por ele, à formação de misturas eutéticas de ferrita cálcica, silicato de cálcio e aluminato de cálcio, que levaram à diminuição do ponto de fusão desses compósitos, que ainda assim, são bem elevados.

As argilas expandidas são materiais obtidos da expansão térmica sob aquecimento, tornando-se agregados altamente porosos e absorventes, apresentam baixos valores para massa específica aparente, condutividade térmica e acústica; elevados valores de área superficial específica, assim como a vermiculita, comumente usada como adição em matrizes de gesso em trabalhos estudados, como Leiva et al (2010), Gencel et al (2014), Javangula (2014) e Leiva et al (2015), que apresentam essa adição entre 5 e 10% em sua grande maioria. Gencel et al (2014) avaliou o efeito da adição de vermiculita e fibras de polipropileno em compósitos de gesso em diferentes dosagens, seus resultados mostraram que as massas unitárias dos compósitos de gesso dependiam da concentração de vermiculita e fibras na mistura. A vermiculita reduz a resistência à compressão, enquanto as fibras os deixam um pouco mais resistentes e a condutividade térmica dos compósitos diminuiu com o aumento do teor de vermiculita. Martias (2014), adicionou até 7% de vermiculita a matrizes com presença de fibras, e seus resultados mostraram decréscimo nas propriedades mecânicas, que foi explicado pelo aumento da porosidade da matriz principalmente devido à quantidade de água usada na preparação das amostras, mas por outro lado, observou que houve uma melhora nas propriedades de resistência ao fogo.

As placas resistentes ao fogo, segundo Ferguson (1996), possuem aditivo no gesso e fibras de vidro, que melhoram a resistência à tração e reduzem a absorção de água, além de conferirem maior resistência ao fogo. Martias (2014) investigou a adição de fibras de vidro em matrizes de gesso com 1, 3 e 5%, e verificou que com o acréscimo de fibras de vidro havia um decréscimo nas propriedades elásticas devido a presença de uma fraca interface fibra-matriz, e além disso pode haver uma evolução de porosidade à medida que aumenta o teor de fibras adicionado na matriz. Afirma ainda, que o comportamento dos compósitos aditivados com fibras muda de frágil para pseudo-dúctil, sendo assim indica-se porcentagem máxima de adição como 1%.

2.4 SISTEMA AQUECIMENTO-RESFRIAMENTO EM PLACAS DE GESSO

A propriedade de resistência ao fogo é atribuída principalmente à absorção de energia relacionada com a perda de água de hidratação passando da forma dihidratada ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) para o hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) e a partir do hemidrato para a forma anidra (CaSO_4) numa segunda decomposição (Javangula, 2014).

A gipsita seca, sem humidade livre, contém 21% de água em peso, que é quimicamente ligada à matriz do cristal. Esta água é liberada e evapora-se durante o aquecimento, mas pode sofrer nova condensação em outras partes da matriz. Alguma umidade livre também está presente em placas de gesso. A umidade de equilíbrio depende da temperatura ambiente e umidade relativa. Durante o aquecimento esta humidade livre também é retirada como vapor, e pode condensar-se novamente em outras partes (Thomas, 2002).

Quando a superfície de um meio poroso com um teor de água nas suas diversas formas (livre, adsorvida ou de cristalização) é exposto a um incêndio real ou simulado por meio de exposição a uma temperatura normalizada, parte da água evapora, o que gera aumento de pressão nos poros do material. Consequentemente, a água evaporada é transportada a partir da superfície exposta à solicitação térmica, como resultado de um gradiente de pressão para o interior do material, o qual é mais frio e a água condensa novamente. Uma película de líquido é assim formada e é progressivamente deslocada para a parte não exposta à solicitação térmica. Assim, o teor de água do material faz com que um platô de evaporação apareça por volta de 100°C no perfil de temperatura da face não exposta (temperatura em função do tempo) uma vez que os gradientes de pressão não

influenciam significativamente os valores para pressão de saturação de água líquida na interfase (Vilches, 2005).

A Figura 3, a seguir, mostra o desenho esquemático da influência da água no desempenho/comportamento das placas de gesso em condições de incêndio.

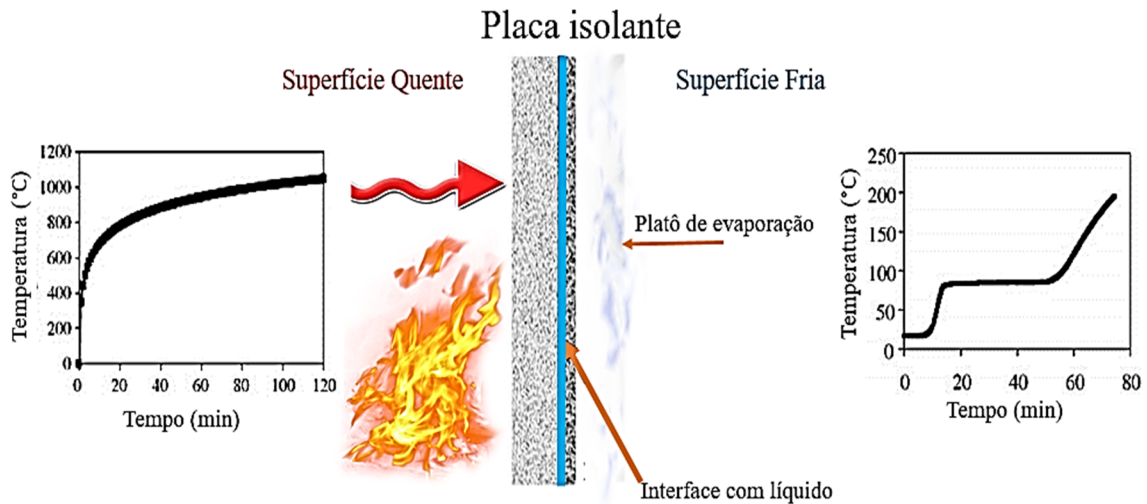


Figura 3 – Modelo de exposição ao fogo em uma placa isolante.

(Adaptado de Vilches, 2005)

Uma vez que as moléculas de água são expelidas, as placas de gesso comuns diminuem de volume, observando um encolhimento seguido por rachaduras, enquanto que as placas reforçadas com fibras de vidro e adições (geralmente uma forma de vermiculita), resistem melhor à propagação destas fissuras. Estas placas, quando expostas a temperaturas extremamente altas, sofrem uma diminuição no núcleo do gesso, causando seu encolhimento; no entanto, esse encolhimento é ajustado pelas adições que se expandem, aproximadamente na mesma taxa de contração causada pela perda da água (Javangula, 2014).