



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO – CONSTRUÇÃO CIVIL  
LINHA DE PESQUISA – MATERIAIS E PROCESSOS  
CONSTRUTIVOS**

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE GESSO DE CONSTRUÇÃO  
PARA USO EM REVESTIMENTOS, PLACAS DE FORRO E  
MOLDURAS DE ACABAMENTO**

**CARLOS ALBERTO HERMANN FERNANDES**

**FEVEREIRO DE 2016**



**Carlos Alberto Hermann Fernandes**

**Reciclagem de Resíduos de Gesso de Construção para Uso  
em Revestimentos, Placas de Forro e Molduras de  
Acabamento**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, Área de Concentração: Construção Civil, para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil

Prof<sup>a</sup>D<sup>ra</sup> Janaíde Cavalcante Rocha

Florianópolis  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Fernandes, Carlos Alberto Hermann

Reciclagem de Resíduos de Gesso de Construção para Uso em Revestimentos, Placas de Forro e Molduras de Acabamento/ Carlos Alberto Hermann Fernandes; orientadora, Janaíde Cavalcante Rocha. Florianópolis – SC – 2016.

236 p.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referência

1. Engenharia Civil. 2. Gesso. 3. Reciclagem. 4. Construção Civil. 5. Propriedades físicas e mecânicas. I. Rocha, Janaíde Cavalcante. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.



Carlos Alberto Hermann Fernandes

**Reciclagem de Resíduos de Gesso de Construção para Uso em Revestimentos, Placas de Forro e Molduras de Acabamento.**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Engenharia Civil, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 18 de Fevereiro de 2016

---

Prof. Glicério Trichês, Dr.  
Coordenador do Curso

---

Prof<sup>a</sup>. Janaíde Cavalcante Rocha, Dr<sup>a</sup>.  
Orientadora - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Luiz Roberto Prudêncio Jr., Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

---

Prof. Armando Borges De Castilhos Junior, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

---

Prof. Mário Monteiro Rolim, Dr.  
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE



## AGRADECIMENTOS

Sem a ajuda de muitas pessoas a realização deste trabalho não seria possível.

Agradeço principalmente à minha esposa Jussara Goulart Fernandes pelos incentivos constantes e ao meu filho Arthur por entender algumas ausências.

A minha mãe Dalva (*in memorian*).

Em seguida a minha orientadora Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Janaíde Cavalcante Rocha, pelo acolhimento, sugestão do tema e paciência.

Aos professores do PPGEC e PGMAT da UFSC que me ajudaram no caminho da pesquisa, como Prof<sup>o</sup> Dr Luiz Roberto Prudêncio Jr, Prof<sup>o</sup> Dr Malik Cheriaf, Prof<sup>o</sup> Dr Antônio Edésio Jungles e Prof<sup>o</sup> Dr Orestes Estevan Alarcon.

Aos colegas de Mestrado, pelos incentivos e longos momentos de estudos, Uaçá Vaz Lorenzetti, Jucelio Gonçalves e Eduardo Silva..

Ao técnico do Laboratório LCME da UFSC, Américo Cruz Jr com o MEV.

Aos professores do Departamento Acadêmico de Construção Civil - DACC do IFSC pelo incentivo constante e em especial ao Prof<sup>o</sup> Dr Alexandre Lima de Oliveira, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Luciana Calçada Maltez, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Giovana Colodetti e a Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ana Ligia Papst de Abreu.

A bolsista do PIBIC do IFSC Karoline Rodrigues por muitas horas de ajuda.

Aos bolsistas do Laboratório de Materiais e Solos do IFSC, Mariana Goudel Ramos pela ajuda com o datalogger, ao Guilherme Cardoso Hickel e Romário da Silva Araújo.

A professora Sônia Maria de Almeida e Marcos Paulo da Silva do Laboratório de Físico-Química do DACC do IFSC, pelos ensaios químicos realizados.

Aos amigos e familiares pelo incentivo e ao Guilherme Moresco pelas traduções.

E principalmente ao Rafael Andrade de Souza, Técnico do Laboratório de Materiais e Solos do DACC do IFSC, incansável pela paciência e dedicação nos ensaios de rompimento de corpos de prova realizado em muitas manhãs, tardes, noites e até madrugadas.



*“Ninguém vale pelo que sabe, mas sim pelo que faz com aquilo  
que sabe”.*

*Leonardo Boff*



## RESUMO

Fernandes, Carlos Alberto Hermann. **Reciclagem de Resíduos de Gesso de Construção para Uso em Revestimentos, Placas de Forro e Molduras de Acabamento.** 239p. Dissertação. PPGEC - UFSC. Florianópolis, 2015.

O gesso é um material de uso crescente nos processos construtivos das diversas edificações (industriais, comerciais e residenciais), com alto grau de desperdício em função de sua propriedade de endurecimento rápido, gerando muito resíduo de construção e demolição. O objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade técnica da reciclagem de resíduos de gesso de construção de maneira a reintroduzi-lo na cadeia produtiva, minimizando o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado, reduzindo o esgotamento dos recursos naturais e diminuindo a emissão de CO<sub>2</sub>. Desta forma, os resíduos de gesso foram calcinados à 140° C, 170° C e 200° C e por tempos de permanência na estufa de 1h, 2h e 4h de maneira a transformar o di-hidrato de sulfato de cálcio em hemi-hidrato de sulfato de cálcio. Foram então avaliadas as propriedades físicas, mecânicas, químicas e sua microestrutura, comparando suas propriedades com as do gesso comercial, sem o uso de aditivos. Foram analisados o módulo de finura e massa unitária para os gessos em pó e consistência, os tempos de pega e calor de hidratação para os gessos em pasta, resistência à compressão, dureza, resistência à tração na flexão para os gessos endurecidos, além da difração de raio X e microscopia eletrônica de varredura. Foram selecionados gessos reciclados para a aplicação em revestimento e a confecção de placas e molduras de acabamento para forro. Os gessos que apresentaram o melhor desempenho foram os calcinados à temperatura de 200°C por duas horas (gesso de placa) e por quatro horas (gesso de revestimento). Os resultados alcançados indicam o potencial técnico de reintrodução do gesso reciclado na cadeia produtiva da construção civil.

**Palavras-chave:** gesso, reciclagem, construção civil, microestrutura, propriedades físicas e mecânicas.





## ABSTRACT

Fernandes, Carlos Alberto Hermann. **Construction Gypsum Waste Recycling for use in coatings, lining plates and frames to finish.** 239p. Dissertation. PPGEC - UFSC. Florianópolis, 2015.

Gypsum is a material with increasing adoption in construction processes of buildings (commercial, residential, and industrial), and with high level of waste due to its rapid hardening property, generating large amounts of residues from construction and demolition. The objective of this study was to analyze the technical feasibility of recycling construction gypsum waste in order to reintroduce it in the production chain, minimizing environmental impacts caused by improper disposal, reducing the depletion of natural resources and CO<sub>2</sub> emissions. Therefore, gypsum waste went through a calcination process at 140°C, 170°C, and 200°C remaining in the stove for 1 hour, 2 hours, and 4 hours in order to transform the calcium sulfate dihydrate into calcium sulfate hemihydrate. Then, physical, mechanical, chemical and microstructure properties were evaluated, comparing with commercial gypsum, with no additives. It was analyzed the fineness modulus and bulk density for gypsum powder; consistency, setting time and heat of hydration for gypsum pastes; compressive strength, hardness, tensile strength in bending the hardened gypsum, in addition to x-ray diffraction and electron microscopy scan. Recycled plasters were selected for use in coating and for making plates and finishing frames lining. The gypsum that showed the best performance were those calcinated at 200°C for 2 hours, for gypsum board; and for 4 hours, for gypsum plaster. Results indicate the technical feasibility of reintroduction of recycled gypsum in the civil construction production chain.

**Keywords:** gypsum, recycling, construction, microstructure, physical and mechanical properties.



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição das Reservas de Gipsita.....	36
Tabela 2 - Uso Setorial da Gipsita e do Gesso Sintético SINDUSGESSO (1) / Sumário Mineral 2007 (2) / Lápido Loureiro, F.E (3).....	38
Tabela 3 – Projeção da Demanda e do Consumo Per Capita de Gipsita no Brasil.....	39
Tabela 4 – Composição teórica dos sulfatos .....	46
Tabela 5 – Exigências químicas, físicas e mecânicas do gesso para construção civil .....	62
Tabela 6– Valores de referência de resistência e dureza da EN 13.279-2 (2004) .....	63
Tabela 7– Nomenclatura adotada para o gesso reciclado .....	76
Tabela 8– Resumo dos Ensaios e Procedimentos .....	104
Tabela 9– Características químicas dos gessos .....	105
Tabela 10– Perda de Massa do Resíduo de Gesso na Etapa de Calcinação.....	108
Tabela 11– Massa Unitária e Módulo de Finura dos Gessos Reciclados e Comercial.....	109
Tabela 12 – Tempo de Início e Fim de Pega dos Gessos Reciclados e Comercial.....	116
Tabela 13– Resistência média à compressão (MPa) – GC e gessos calcinados à 140°C.....	128
Tabela 14– Resistência média à compressão (MPa) – gessos calcinados à 170°C .....	129
Tabela 15– Resistência média à compressão (MPa) – gessos calcinados a 200°C .....	130
Tabela 16– Influência de Tempo, Temperatura de calcinação e relação A/G na resistência à compressão dos gessos reciclados. ....	134
Tabela 17– Dureza superficial média (N/mm <sup>2</sup> ) .....	136
Tabela 18 – Resistência média à tração na flexão (MPa) – GC, GP3 e GR3.....	138
Tabela 19 – Resistência média à tração na flexão (MPa) – GP4, GR4, GP8 e GR9.....	139
Tabela 20– Resistências médias para Tf, Rc e dureza pela EN .....	141
Tabela 21- Resistências médias para Tf, Rc e dureza pelas NBs .....	141

Tabela 22– Resistência média de aderência à tração (MPa)– GC, GP8 e GR9.....	156
Tabela 23 – Diferença entre grupos de gesso – Resistência de aderência à tração .....	156
Tabela 24– Dimensões e Propriedades Físicas – Placas Lisas para Forro.....	161

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da Produção de Gipsita no Brasil.....	37
Figura 2 – Frente de lavra de gipsita do Polo Gesseiro de Pernambuco.....	40
Figura 3 – Variedade de gipsita do Polo Gesseiro do Araripe – Pernambuco(a) Cocadinha (b) Rapadura (c) Pedra Johnson.....	42
Figura 4 - Variedade de gipsita do Polo Gesseiro do Araripe – Pernambuco(a) Alabastro (b)Selenita (c) Anidrita.....	42
Figura 5 – Fluxogramas típicos de fábricas que utilizam fornos do tipo panela (A), marmitta vertical (B), rotativo tubular (C) e marmitta rotativo (D). .....	44
Figura 6 – Representação do processo de desidratação do gesso – dissolução cristalização e endurecimento do hemi-hidrato.....	49
Figura 7 – Curva típica do calor de hidratação – etapas da cinética de hidratação do gesso.....	50
Figura 8 – Micrografia (MEV) dos cristais do hemidrato .....	51
Figura 9 – Distribuição do tamanho de partículas de gesso de construção.....	53
Figura 10 – (a) estrutura atômica de uma fatia do crescimento de gesso (010), (b) a morfologia gesso cristal com formas (010), (120), (011) e (111) comumente observadas.....	54
Figura 11 – Argamassadeira de misturar gesso para placas, forma metálica e de silicone .....	57
Figura 12 – Confeção de molduras .....	58
Figura 13 – Polvilhamento e mistura do gesso para revestimento .....	59
Figura 14 – Revestimento de gesso.....	60
Figura 15 – Resíduos nas fábricas de placas e molduras para forro .....	64
Figura 16 – Resíduos de gesso de placas e de revestimento ....	64
Figura 17 – Embalagem de gesso de fundição e revestimento ..	65
Figura 18 – Descarte inadequado de gesso .....	66
Figura 19 – Ciclo de reciclagem do gesso acartonad.....	68
Figura 20 – Evolução da Resistência à Compressão e Tração na Flexão no tempo para gessos reciclados e comercial.....	71
Figura 21 – Etapas Metodológicas .....	73
Figura 22 – Forração do piso para recolhimento do gesso .....	75
Figura 23 – Armazenagem dos resíduos de gesso .....	75
Figura 24 – Secagem dos resíduos de gesso.....	78

Figura 25 – Moagem, homogeneização e embalagem dos resíduos de gesso.....	79
Figura 26 – Temperaturas de calcinação: 140°C, 170°C e 200°C .....	79
Figura 27 – Preparação das bandejas para calcinação .....	80
Figura 28 – Armazenagem do gesso calcinado .....	81
Figura 29 – Granulômetro à laser – Microtac S3500.....	83
Figura 30 – Ensaio de Massa Unitária.....	84
Figura 31 – Aparelho de Vicat modificado (a) para ensaio de consistência normal. Aparelho de Vicat (b) para ensaio de tempo de pega.....	85
Figura 32 – Recipiente pseudoadiabático .....	86
Figura 33 – Sistema de medição da temperatura - Recipiente pseudoadiabático de EPS (c)- Laboratório de Microestrutura do DACC – IFSC.....	86
Figura 34 – Moldagem dos corpos de prova para ensaios de resistência à compressão e dureza.....	87
Figura 35 – Ensaio de dureza (a) e Ensaio de resistência à compressão (b).....	88
Figura 36 – Moldagem de corpos de prova (a) Rompimento no ensaio de tração na flexão (b).....	90
Figura 37 – Esquema do carregamento das amostras prismáticas – ensaio de tração na flexão. ....	90
Figura 38 – Caixa de umidade .....	92
Figura 39 – Revestimento de gesso em blocos de alvenaria estrutural.....	93
Figura 40 – Ensaio de resistência de aderência à tração – furação, colagem e arrancamento das pastilhas.....	94
Figura 41 – Produção das placas de gesso reciclado GP8 e GR9 .....	96
Figura 42 – Croqui para ensaio de placas lisas de forro – NBR 12.775 .....	97
Figura 43 – Ensaio de flexão – placas de gesso liso .....	98
Figura 44 – Fabricação de peças de acabamento de forro de gesso.....	99
Figura 45 – Análises químicas – Laboratório de Físico - Química - DACC – IFSC.....	100
Figura 46 - Difractograma do gesso comercial.....	101
Figura 47 – Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) do LCME da UFSC.....	102

Figura 48 – Amostras para MEV .....	103
Figura 49 – Difração de raio-X do GC, GP e GR .....	106
Figura 50 – Pó de gesso reciclado .....	111
Figura 51 – Composição Química do gesso comercial indicada na embalagem .....	112
Figura 52 – Curva granulométrica – GC– MF = 0,625 .....	113
Figura 53 – Curva granulométrica – GP8 – MF = 0,325 .....	113
Figura 54 – Curva granulométrica GR9 – MF = 0,775 .....	114
Figura 55 – Medição da temperatura superficial da pasta de gesso no período de descanso. Acervo pessoal .....	120
Figura 56– Curva de Evolução de Temperatura – GC – Relação A/G = 0,75.....	121
Figura 57– Curvas de Evolução de Temperatura– GP3 e GR3	122
Figura 58– Curvas de Evolução de Temperatura – GP4 e GR4 .....	123
Figura 59– Curvas de Evolução de Temperatura – GP5 e GR5 .....	123
Figura 60– Curvas de Evolução de Temperatura – GP6 e GR6 .....	124
Figura 61– Curvas de Evolução de Temperatura – GP7 e GR7 .....	124
Figura 62– Curvas de Evolução de Temperatura– GP8 e GR8	125
Figura 63– Curvas de Evolução de Temperatura – GP9 e GR9 .....	125
Figura 64 – Correlação entre calor de hidratação e Rc – 28 dias .....	126
Figura 65– Evolução da Resistência à Compressão no Tempo – GC.....	127
Figura 66 – Evolução da Resistência à compressão no tempo – GP2 e GR2 – GP3 e GR3 .....	128
Figura 67– Evolução da Resistência à compressão no tempo – GP4 e GR4 – GP5 e GR5 .....	129
Figura 68 - Evolução da Resistência à compressão no tempo – GP6 e GR6 – GP7 e GR7 .....	130
Figura 69 – Evolução da Resistência à compressão no tempo – GP8 e GR8 – GP9 e GR9 .....	131
Figura 70 – Evolução da Resistência à compressão no tempo – Gesso calcinado à 140° C .....	131
Figura 71 – Evolução da Resistência à compressão no tempo – Gesso calcinado à 170° C .....	132

Figura 72 – Evolução da Resistência à compressão no tempo – Gesso calcinado à 200° C.....	133
Figura 73 – Correlação entre Rc e D aos 28 e 91 dias.....	137
Figura 74 – Evolução da Resistência à tração na flexão no tempo – GC – GP3 e GR3.....	138
Figura 75 – Evolução da Resistência à tração na flexão no tempo – GP4 e GR4 –GP8 e GR9.....	139
Figura 76 – Evolução da Resistência à tração na flexão no tempo.....	139
Figura 77– Correlação entre Rc e Rf aos 28 e 91 dias.....	140
Figura 78– Micrografia do GC em pó – ampliações 80x (a) e 2.500x (b).....	142
Figura 79 – Micrografia do GC em pó – Ampliação 5000x.....	143
Figura 80– Micrografia do gesso em pó – GP8 (a) e GR9 (b) – Ampliação 80x.....	143
Figura 81 – Micrografia do gesso em pó – GP8 (a) e (b) – Ampliações 2.500x e 5.000x.....	144
Figura 82 – Micrografia do gesso em pó – GR9– Ampliações 2.500x (a) e 5.000x (b).....	145
Figura 83 – Micrografia da pasta de GC –Ampliações 120x (a) e 1.000x (b).....	146
Figura 84 – Micrografia da pasta de GC – Ampliações 2.000x (a) e 5.000x (b).....	147
Figura 85 – Micrografia da pasta de GP3 – Ampliação 2.000x.....	148
Figura 86 – Micrografia da pasta GR3 – Ampliações 1.000x (a) e 2.000x (b).....	148
Figura 87 – Micrografia da pasta GP4 – Ampliações 1.000x (a) e 2.000x (b).....	149
Figura 88 – Micrografia da pasta GR4 – Ampliações 2.000x (a) e 5.000x (b).....	150
Figura 89 – Micrografia da pasta GR4 – Ampliações 5.000x (a) e (b).....	150
Figura 90 – Micrografia da pasta GP8 – Ampliações 120x (a) e 1000x (b).....	151
Figura 91 – Micrografia da pasta GP8 – Ampliações 2.000x (a) e 5.000x (b).....	152
Figura 92 – Micrografia da pasta GR9 – Ampliações 120 (a) e 1.000x (b).....	153
Figura 93 – Micrografia da pasta GR9 – Ampliações 1.100 (a) e 3.000x (b).....	153



Figura 94 – Micrografia da pasta GR9 – Ampliações 3.000x (a) e 5.000x (b).....	153
Figura 95 – Aspecto do revestimento de gesso reciclado em blocos cerâmicos e de concreto.....	155
Figura 96 – Teste com pasta de $a/g = 0,75$ em bloco cerâmico (a) e de concreto (b).....	158
Figura 97 – Detalhe encaixe da placa.....	160
Figura 98 – Placas produzidas com gesso reciclado GP8 e GR9 .....	163
Figura 99 – Molduras produzidas com gesso reciclado GP8 e GR9 .....	165



## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
ANOVA	Análise de Variância
a/g	Relação água/gesso em massa
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de Cálcio
CaO	Óxido de cálcio – Cal livre
Ca(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de Cálcio
CaSO <sub>4</sub>	Sulfato de Cálcio
CaSO <sub>4</sub> .0,5H <sub>2</sub> O	Sulfato de cálcio hemi-hidratado – Gesso
CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	Sulfato de cálcio di-hidratado – Gipsita
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
D	Dureza Superficial (MPa)
DRX	Difração de Raios-X
EN	Norma Europeia
GC	Gesso Comercial
GP	Gesso reciclado de Placas
GR	Gesso reciclado de Revestimento
H <sub>2</sub> O	Água
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura

MF	Módulo de finura
MME	Ministério de Minas e Energia
Mu	Massa Unitária – kg/m <sup>3</sup>
NBR	Norma Brasileira
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
R <sub>c</sub>	Resistência à compressão (MPa)
R <sub>f</sub>	Resistência à tração na flexão (MPa)
SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre
SO <sub>3</sub>	Trióxido de enxofre – Anidrido Sulfúrico

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>29</b>
1.1. OBJETIVOS.....	33
1.1.1. OBJETIVO GERAL.....	33
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	33
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>35</b>
2.1. ASPECTOS HISTÓRICOS DO USO DO GESSO.....	35
2.2. PRODUÇÃO DO GESSO.....	36
2.3. FABRICAÇÃO DO GESSO.....	40
2.4. MECANISMO DE TRANSFORMAÇÃO – HIDRATAÇÃO.....	45
2.5. ADITIVOS.....	53
2.6. FABRICAÇÃO DE PLACAS E MOLDURAS.....	56
2.7. REVESTIMENTO DE GESSO.....	59
2.8. GESSO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	61
2.9. GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE GESSO DE CONSTRUÇÃO.....	64
2.11. REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE GESSO.....	69
<b>3. PROGRAMA EXPERIMENTAL:.....</b>	<b>73</b>
3.1. Etapa I - Coleta:.....	74
3.1.1. Metodologia para coleta do material:.....	74
3.2.1. Produção do gesso em pó – Moagem.....	77
3.2.2. Calcinação.....	79
3.2.3. Ensaios para a determinação das propriedades físicas e mecânicas – Granulometria.....	81
3.2.4. Massa unitária:.....	83
3.2.5. Determinação das propriedades físicas da pasta – Consistência normal.....	84
3.2.6. Determinação do tempo de pega.....	85
3.2.7. Ensaio de Cinética de Temperatura:.....	85
3.2.8. Determinação das propriedades mecânicas - Resistência à compressão e dureza.....	87
3.2.9. Ensaio de Resistência à Tração na Flexão:.....	89

3.2.10.	Ensaio de Resistência de Aderência à Tração (Arrancamento).....	92
3.2.11.	Avaliação das Placas Lisas de Gesso Para Forros.....	95
3.2.12.	Avaliação de peças de acabamento – molduras..	98
3.2.13.	Determinação das propriedades químicas – Água livre e decristalização e teores de cálcio e anidrido sulfúrico.....	100
3.2.14	Difração de raios-X.....	101
3.2.15.	Análise de Imagens – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	101
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>105</b>
4.1.	<i>Propriedades Químicas e Mineralógicas.....</i>	<i>105</i>
4.2.	<i>Difração de raio-X – DRX.....</i>	<i>106</i>
4.3.	<i>Propriedades Físicas do Pó de Gesso.....</i>	<i>107</i>
4.4.	<i>Propriedades Físicas das Pastas de Gesso.....</i>	<i>115</i>
4.5.	<i>Calorimetria.....</i>	<i>118</i>
4.6.	<i>Resistência à Compressão - Rc.....</i>	<i>127</i>
4.7.	<i>Ensaio de Dureza.....</i>	<i>135</i>
4.8.	<i>Resistência a Tração na Flexão - Rf.....</i>	<i>137</i>
4.9.	<i>Análise de Imagens - Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV.....</i>	<i>142</i>
4.9.1.	<i>Gesso em pó.....</i>	<i>142</i>
4.9.2.	<i>Gesso em pasta.....</i>	<i>145</i>
4.10.	<i>Ensaio de Resistência de Aderência à Tração (Arrancamento).....</i>	<i>154</i>
4.11.	<i>Ensaio de Placas de Gesso para Forro – Dimensões e Propriedades Físicas.....</i>	<i>158</i>
4.12.	<i>Avaliação das molduras de acabamento.....</i>	<i>164</i>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>167</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>171</b>
	<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>179</b>

<b>APÊNDICE A.1 – Estatística .....</b>	<b>199</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>201</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>219</b>
<b>APÊNDICE C.1 – Estatística .....</b>	<b>221</b>
<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>223</b>
<b>Apêndice E .....</b>	<b>231</b>





## 1. INTRODUÇÃO

A construção civil é responsável por um grande consumo de recursos naturais e energéticos, além de ser responsável também, por gerar cerca de 40 a 60% dos resíduos sólidos urbanos (HABITARE, 2007), provenientes de construções, reformas e demolições de edificações. Reduzir, reutilizar e reciclar estes resíduos contribui para a diminuição dos impactos ambientais e redução do efeito estufa provenientes da produção, transporte e execução dos materiais e serviços empregados nas atividades de construção.

A resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) e a lei dos resíduos sólidos de 2010 (BRASIL, 2010), estabelecem diretrizes e responsabilidades para os agentes envolvidos na geração, transporte e destinação dos resíduos de construção e demolição. Muitos trabalhos científicos foram realizados como forma de contribuir para a diminuição da geração dos resíduos sólidos da construção civil.

Dentre os materiais empregados na construção, o gesso tem sido utilizado de forma mais intensa em revestimentos internos de edificações, em razão de apresentar algumas vantagens em relação aos materiais cimentícios, tais como economia de material e mão de obra. A aplicação da pasta de gesso para o revestimento de alvenarias pode ser realizada diretamente sobre o bloco cerâmico ou de concreto, dispensando o uso de chapisco, reboco ou emboço. O gesso propicia redução no tempo de execução do revestimento, bem como redução do tempo para realização de atividades posteriores, como a pintura, pois ele possui uma característica de endurecimento rápido, atingindo o seu fim de pega no máximo de uma hora aproximadamente. Outro fator importante, quando se substitui argamassas de cimento por revestimentos de gesso, é a economia de energia e diminuição de emissões de CO<sub>2</sub>. Na fabricação do gesso  $\beta$ , utilizado na construção civil, as temperaturas de calcinação ocorrem entre 140°C e 200°C (JÚNIOR, 2008), enquanto a temperatura de processamento do clínquer do cimento Portland é de 1450°C (BATTAGIN; BATTAGIN, 2010). As reações de transformação da gipsita em

hemi-hidrato de sulfato de cálcio não liberam  $\text{CO}_2$  como o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) na fabricação do cimento.

Um dos problemas na utilização do gesso é o grande desperdício que é estimado em 45% (HABITARE, 2007), enquanto os fabricantes de gesso em pó estimam perdas em torno de 30% da massa do gesso utilizado em obras. Estima-se que 4% dos resíduos gerados na construção no Brasil, são produtos do gesso, como placas de forro, acabamentos, revestimentos e placas de gesso acartonado. O armazenamento e descarte do gesso requerem cuidados especiais. Os resíduos do gesso, quando colocados em aterros em contato com a água, favorecem a produção de fungos, podem contaminar o lençol freático e produzir gás sulfídrico (JOHN; CINCOTTO, 2003; NITA *et al.*, 2004).

A incineração de resíduos contendo gesso também deve ser evitada, pois na queima, o sulfato de gesso se converte em dióxido de enxofre, reagindo com dispositivos alcalinos de controle de poluição atmosférica e reduzindo sua eficiência (MARVIN; DIVISION, 2000).

O gesso não pode também ser reciclado juntamente com a fração mineral de resíduos de construção e demolição (RCD) para produção de agregados. O sulfato presente no gesso reage com aluminatos do cimento, gerando etringita, que apresenta volume muito maior que os compostos originais, ocasionando altas tensões de expansão na matriz dos concretos, chegando a destruir elementos construtivos com este material (JOHN; CINCOTTO, 2003). A norma brasileira de especificação de agregados reciclados de resíduos de construção civil, NBR 15116 (ABNT, 2004), limita o teor de sulfato nestes agregados a 1% para uso em concretos sem função estrutural e 2% para uso em pavimentação. A Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011 (CONAMA, 2011), altera a resolução 307 do CONAMA estabelecendo nova classificação para o gesso, passando da classe C para B, ou seja classificando o gesso como resíduo que possui tecnologia para ser reciclado.

O gesso reciclado pode ser aplicado na agricultura para a correção de solos (NAETH; WILKINSON, 2013), aditivos para compostagem, forração para animais, secagem de lodo de esgoto, na fabricação de cimentos, etc. (MME, 2009).

Estudos apontam melhorias para a produção (ou fabricação) de um gesso beta, utilizado na construção civil, produzido sob pressão atmosférica ou baixa pressão e que pode ser reciclado (CAVALCANTI, 2006). O gerenciamento dos resíduos de construção e demolição com ênfase no gesso tem sido estudado por vários autores como Montero, Tojo e Matsuo (2010) ou John e Cincoto (2003). O cuidado no armazenamento do gesso, separado de outros materiais e protegido da umidade, evita processos de separação posteriores nas usinas de reciclagem, que são caros e podem inviabilizar economicamente o processo de reaproveitamento do gesso (MONTERO *et al.*, 2010). O reaproveitamento do gesso reciclado para uso em blocos de alvenarias e revestimentos, destinados a habitações populares foram estudados por Silva (2008). Em seu estudo, produziu blocos de gesso reciclado para uso em alvenarias, comparando o uso de gesso cola com argamassas de cimento e areia para assentamento dos blocos. O reaproveitamento de resíduos de gesso também foi estudado por Melo, (2012), Savi, (2012), Pinheiro, (2011), Bardella, (2011) e outros. O gesso reciclado também pode substituir a gipsita ou fosfogesso, como retardadores de pega utilizado na fabricação do cimento Portland (CHANDARA *et al.*, 2009). Estudos também apresentam a possibilidade de uso do gesso reciclado para melhorar a resistência do solo de argila mole em aterros destinados à construção (AHMED *et al.*, 2012).

Uma das desvantagens do uso do gesso em substituição aos materiais cimentícios é a propriedade que o gesso tem de não resistir à ação dissolvente da água, o que impede o seu uso em revestimentos externos ou áreas úmidas, como banheiros e áreas de serviço em paredes que tenham contato com água. Estudos recentes apontam o uso de aditivos hidrofugantes para resolver este problema (ABERLE *et al.*, 2010). Blocos de gesso resistentes à água podem ser fabricados com compósitos produzidos a partir da dessulfurização do gesso calcinado (ZHAO *et al.*, 2012).

Das fontes do resíduo de gesso, de acordo com dados do Sindusgesso e Abragesso, no Brasil 88% dos resíduos correspondem ao gesso utilizado em revestimento, contra 8% de resíduos do gesso acartonado, 3% de fábricas de pré-moldados e 1% de peças pré-moldadas (JOHN *et al.*, 2004).

Estas informações não se aplicam a região da Grande Florianópolis, onde o uso de revestimento de gesso em alvenarias não é prática comum. Embora não haja estatística sobre o assunto, somente nos últimos anos algumas empresas têm utilizado esta técnica, sendo que o emprego de placas de gesso em forros, tem tido um crescimento acentuado, assim como o de placas de gesso acartonado (dry-wall), para uso em divisórias e forros.

Técnicas de aplicação de revestimento de gesso com o uso de máquinas de projetar gesso em alvenarias, tem sido utilizadas como forma de aumentar a produtividade, pela redução do tempo de aplicação, contribuindo também para a diminuição da produção de resíduos (FERNANDES; AMARAL, 2012).

O uso de aditivos retardadores nas pastas de gessos de revestimento aumenta o tempo útil de trabalho, diminuindo a geração de resíduos de gesso nas obras de construção civil.

Considerando o aumento expressivo do uso do gesso de construção tanto para o emprego em placas de forros, em placas de divisórias bem como em revestimento de alvenarias em substituição às argamassas de cimento, observa-se o aumento crescente dos problemas relacionados à armazenagem e ao descarte inadequado dos resíduos provenientes deste material, causando um passivo ambiental que precisa ser resolvido. A resolução destes problemas é de responsabilidade tanto dos organismos administrativos, com a aplicação das políticas determinadas pela legislação federal, estadual e municipal vigente, quanto dos agentes da cadeia produtiva do gesso, de maneira a buscar técnicas e procedimentos que minimizem a geração de resíduos e ou possibilitem a reinserção dos resíduos no processo construtivo.

Neste sentido é necessário o desenvolvimento de pesquisas para definir os parâmetros de controle de produção como tempo e temperatura de calcinação ou grau de moagem dos resíduos. Este trabalho pretende contribuir com um estudo que avalia a possibilidade do reaproveitamento dos resíduos de gesso de construção, reformas e demolição, especificamente dos gessos provenientes de revestimento, placas e componentes de forro, reintroduzindo-o na cadeia produtiva de acordo com os objetivos apresentados a seguir.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica do reaproveitamento de resíduos de gesso utilizado na construção civil, para o uso em pastas de revestimentos internos de alvenarias, placas para forro e peças de acabamento.

### 1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São os seguintes os objetivos específicos:

- Produzir gesso em pó a partir dos resíduos de placa e revestimento, para confecção de argamassas ou pastas de gesso para placas e revestimento.
- Avaliar o potencial de uso do gesso reciclado em processo de produção de componentes pré-moldados para forro (placas e molduras).
- Avaliar o potencial de uso do gesso reciclado em processo de execução de revestimentos de alvenarias internas de blocos cerâmicos e de blocos de concreto.

## 1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, de acordo com o descrito abaixo.

O capítulo 1 – **Introdução**. Apresenta o tema proposto para a dissertação definindo os objetivos gerais e específicos.

O capítulo 2 – **Revisão bibliográfica**. Apresenta uma revisão bibliográfica, mostrando o gesso como material de construção, enfocando aspectos históricos, de produção, tipos, vantagens e desvantagens do uso e da reciclagem do gesso, o fenômeno de hidratação e pega, as propriedades físico-químicas e mecânicas do gesso em pó e em pasta, bem como fatores que influenciam nas reações de hidratação.

O capítulo 3 – **Programa experimental**. Neste capítulo são descritas as etapas metodológicas da pesquisa e os ensaios e procedimentos experimentais usados. São detalhados os procedimentos para a realização dos ensaios físicos, químicos e mecânicos, bem como relacionados os materiais e equipamentos empregados.

O capítulo 4 – **Resultados**. Apresenta os resultados obtidos no desenvolvimento do trabalho, com a metodologia proposta nesta dissertação, acompanhados de suas respectivas análises e discussões.

O capítulo 5 – **Conclusões**. São apresentadas de forma resumida as conclusões e considerações finais, bem como recomendações para trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. ASPECTOS HISTÓRICOS DO USO DO GESSO

*“O gesso é um dos mais antigos materiais ligantes utilizados pelo homem, conforme atestam importantes descobertas arqueológicas”* (PERES et al., 2001; DOMÍNGUEZ; SANTOS, 2001) (SILVA, 2010). O gesso foi encontrado em ruínas na Turquia (IX milênio a.C.); em ruínas em Jericó (VI milênio a.C.) e na pirâmide de Keops em 2.800 a.C, sendo aplicado em juntas dos enormes blocos de pedra, e como revestimento interno. De acordo com MME (2009), o alabastro (gipsita com hábito fibroso) foi utilizado na confecção de esculturas e outras obras de arte pelas civilizações antigas. Jazidas de gipsita no Chipre, Fenícia e Síria, foram relatadas por Teofraste, discípulo de Platão e Aristóteles em seu “Tratado sobre a Pedra”, escrito entre os séculos III e IV a.C.. Theofraste indicava que o gesso era utilizado como argamassa para ornamentação e na confecção de estátuas (BALTAR et al., 2005). O uso do gesso na construção civil popularizou-se na Europa a partir do século XVIII, quando também passou a ser utilizado como corretivo de solos. O primeiro estudo científico dos fenômenos relacionados à preparação do gesso foi publicado por Lavoisier em 1768 (BALTAR et al., 2005). No século XIX, os trabalhos de diversos autores, particularmente, os de Van t’Hoff e, sobretudo, o de Lê Chatelier, permitiu abordar uma explicação científica para a desidratação da gipsita (SILVA, 2010). A partir de 1885, o emprego do gesso na construção civil foi estimulado pela descoberta de processo para retardar o tempo de pega. *“No século XX, em função da evolução industrial, os equipamentos para a fabricação do gesso deixaram de ter um conceito rudimentar e passaram a agregar maior tecnologia, assim como a melhoria tecnológica dos produtos passou a facilitar suas formas de emprego pelo homem”* (Syndicat National des Industries du Plâtre, 1982) (PLÁTRE, LE, 1982).

## 2.2. PRODUÇÃO DO GESSO

O gesso utilizado na construção civil é resultado da calcinação de matérias primas naturais, como o gipso ou de sulfatos de cálcio oriundos de resíduos industriais no processo de produção de fertilizantes, chamado de fosfogesso, gesso agrícola, gesso químico ou sintético.

A reserva brasileira de gipsita atinge mais de 1,7 bilhões de toneladas, das quais 1,3 bilhões classificadas no grau de reserva demonstrada. Os estados do Pará, Bahia e Pernambuco acumulam 96,9% do somatório das reservas medidas e indicadas (Tabela 1). Todo este quantitativo está distribuído pelas regiões norte e nordeste do país. A qualidade do minério propicia a sua aplicação *in natura* fazendo-se nas frentes de lavra uma classificação manual do produto em três classes: manufatura de gesso especial, gesso para construção civil, e uso para cimento e agricultura. De uma maneira geral, a gipsita guarda uma consistente concentração de sulfatos, entre 90 a 95%, e as impurezas de origem terrígena raramente ultrapassam 0,5 % sendo comum a presença de anidrita, também um mineral composto por sulfato de cálcio, em uma faixa de teor de até 7% (MME, 2009).

Tabela 1 – Distribuição das Reservas de Gipsita

UF	RESERVA MEDIDA	RESERVA INDICADA	RESERVA INFERIDA	TOTAL
AM	195.830	1.365.120	0	1.560.950
BA	461.343.861	93.997.000	166.280.000	721.620.861
MA	13.787.974	1.524.951	0	15.312.925
PI	1.872.570	522.000	1.243.000	3.637.570
PE	233.555.140	93.155.977	78.929.249	405.640.366
CE	3.939.783	0	0	3.939.783
TO	658.191	186.211	236.790	1.081.192
PA	189.619.891	204.119.355	186.739.654	580.478.900
TOTAL	904.973.240	394.870.614	433.428.693	1.733.272.547

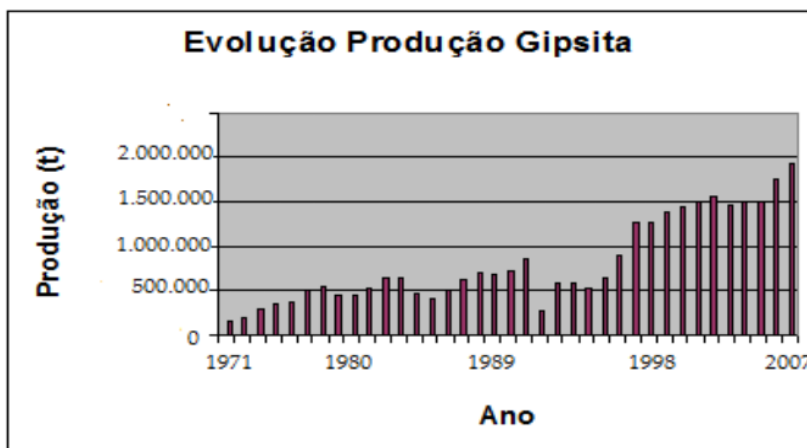
Fonte: DNPM – 4º Distrito

Fonte: DNPM – 4º Distrito (MME, 2009)

A produção de gesso para a construção civil cresce cada vez mais nos últimos anos, o que pode ser constatado na Figura 1. O Pólo Gesseiro de Pernambuco (região do Araripe) possui



uma reserva estimada em 1,73 bilhões de toneladas, sendo uma das mais expressivas e importantes do mundo, principalmente considerando o alto teor de pureza do gesso. Pernambuco produz 1,3 milhões de toneladas/ano, o que corresponde a 94% da produção nacional, onde 61% são destinados a fabricação de blocos e placas, 35% para revestimento, 3% para moldes cerâmicos e 1% para outros usos. É na região do Araripe, que contempla cinco municípios, que estão 40 minas ativas de gipsita, ou seja, 80% das minas do país, além de 140 fábricas de gesso calcinado (SINDUSGESSO, 2012).



Fonte: CETEM Mineral Data

Figura 1 - Evolução da Produção de Gipsita no Brasil

Fonte: CETEM Mineral Data (MME, 2009)

A indústria do cimento é uma grande consumidora da gipsita que é usada como retardador do tempo de pega, sendo adicionada ao clínquer em um percentual de 3 a 5% em massa, no processo de fabricação do cimento.

No Brasil, a quase totalidade das fábricas de cimento das regiões sul e sudeste utiliza, como substituto da gipsita, o fosfogesso que é gerado como subproduto no processo de obtenção do ácido fosfórico nas indústrias de fertilizantes fosfatados. Os principais produtores de fosfogesso são a Bunge Fertilizantes S.A., Copebrás Ltda., Fosfértil - Fertilizantes Fosfatados e Ultrafértil (MME, 2009).

O produto sintético constitui um problema ambiental e vem sendo utilizado não somente pelas fábricas de cimento, mas também como gesso agrícola nas regiões sul e sudeste do país, onde não existe produção da gipsita, conforme estudo de um cimento com baixo impacto ambiental (BIA) a partir do clínquer sulfoaluminoso e do fosfogesso (LUZ *et al.*, 2005).

Estima-se que existam no Brasil mais de 71 milhões de toneladas de fosfogesso acumuladas em pilhas de rejeito junto às fábricas de ácido fosfórico, valor este incrementado em cerca de 4,5 milhões de toneladas (MME, 2009). A Tabela 2 apresenta a distribuição setorial do uso da gipsita e do fosfogesso (gesso sintético) no Brasil e a comparação com os Estados Unidos que é o principal produtor e consumidor mundial.

Tabela 2 - Uso Setorial da Gipsita e do Gesso Sintético SINDUSGESSO (1) / Sumário Mineral 2007 (2) / Lapido Loureiro, F.E (3)

PRODUTO	USO	BRASIL		ESTADOS UNIDOS (1)	
		1.000 t	%	1.000 t	%
Gipsita (2)	Cimento	578	13,9	4.000	12,4
Gesso Sintético (3)		600	14,4		
Gipsita (2)	Gesso p/ construção civil	1.153	27,6	25.600	80,4
Gipsita (2)	Agricultura	192	4,6	2.000	6,2
Gesso Sintético (3)		1.650	39,5		
Outros				200	0,6
TOTAL		4.173	100,0	31.800	100,0

Fonte: SINDUSGESSO (1) / Sumário Mineral 2007 (2) / Lapido Loureiro, F.E (3).

Fonte: MME (2009)

De acordo com o Relatório Técnico 34 – Perfil da Gipsita, do Ministério das Minas e Energia (MME, 2009) a perspectiva de aumento da demanda e do consumo per capita de gipsita no Brasil é quase dobrar até 2030, num cenário econômico menos favorecido (Tabela 3).

Tabela 3 – Projeção da Demanda e do Consumo Per Capita de Gipsita no Brasil

PPA Quadriênio	Demanda Gipsita (kg)	População (habitantes)	Consumo <i>per capita</i> (kg/hab)
2008/2011	2.250.813.000	194.932.685	11,5
2012/2015	2.591.009.000	200.881.685	12,9
2016/2019	2.958.821.000	205.970.182	14,4
2020/2023	3.354.249.000	210.441.362	15,9
2024/2027	3.777.293.000	214.209.414	17,6
2028/2030	4.112.699.000	216.410.030	19,0

Fonte: Gráfico 5 / IBGEMME, 2009–Brasil

A ampliação do mercado interno da gipsita vem ocorrendo simultaneamente com a introdução de processos tecnológicos mais modernos na indústria do gesso, em busca de produtos de melhor qualidade, amparados por certificação técnica e com a difusão das vantagens do uso de divisórias de gesso acartonado como substituto de paredes, bem como a pasta de gesso no lugar dos emboços, rebocos ou massas de PVA, como revestimento de alvenarias (MME, 2009).

Juntamente com o aumento da demanda, cresce a preocupação com as questões ambientais. O descarte dos resíduos de gesso, provenientes de construções, demolições e reformas, tem sido feito de forma inadequada, contribuindo para a contaminação do lençol freático e a degradação do espaço urbano.

Atualmente tem-se estruturado junto às empresas associadas aos Sindicatos da Construção Civil, em diferentes estados, uma política para implementação da coleta seletiva dos resíduos de gesso. Embora tais medidas visem evitar o descarte do resíduo de gesso e também melhorar a qualidade do resíduo a ser reciclado, ainda há necessidade de pesquisas relacionadas ao reaproveitamento destes resíduos, ao levantamento do quantitativo de resíduos gerados nos canteiros de obra e ao sistema da logística reversa.

A técnica de reciclagem é ainda restrita ao uso de adição do gesso hidratado ao clínquer e ao retorno para as fábricas de componentes de gesso acartonado.

A resolução de nº 431 de 24 de maio do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2011), altera a classificação do gesso definida pela resolução 307 (CONAMA, 2002), passando da classe C, para classe B, definindo portanto, que já existe tecnologia que permite a reciclagem dos resíduos de gesso.

### 2.3. FABRICAÇÃO DO GESSO.

Para a fabricação do gesso, a gipsita é retirada da mina, selecionada manualmente, triturada, calcinada em fornos e em seguida moída, ensilada e embalada (BALTAR *et al.*, 2004)..

As jazidas de gipsita localizadas no Polo Gesseiro de Araripe, em Pernambuco, têm uma formação geológica que permite a extração do minério a céu aberto. As frentes de lavras em forma de anfiteatro possuem bancadas com altura de cerca de 20 metros de acordo com a Figura 2.



Figura 2 - Frente de lavra de gipsita do Polo Gesseiro de Pernambuco  
Fonte: C. Baltar, F. Bastos e A. Luz (2004)

Para a produção do gesso são selecionadas as diversas variedades mineralógicas de gipsita encontradas nas jazidas da região do Araripe. São conhecidas na região como cocadinha,

rapadura, pedra Johnson, estrelinha, alabastro, selenita, boró e anidrita, cujas características e aplicações são descritas a seguir de acordo com Baltar, Bastos e Luz (2004).

- *Cocadinha* (Figura 3a) - variedade mineralógica de gipsita estratificada, com presença rara de filmes de argila verde.

- *Rapadura* (Figura 3b) - variedade mineralógica de gipsita estratificada, com presença de filmes milimétricos de argila verde.

- *Estrelinha* – variedade mineralógica de gipsita que apresenta cristais radiados em forma de estrelas.

- *Pedra Johnson* (Figura 3c) - variedade mineralógica de gipsita, com alto grau de pureza e estrutura cristalina em forma de nódulos e estrela.

- *Alabastro* (Figura 4a) - variedade mineralógica de gipsita, fibrosa, maciça e transparente.

- *Selenita* (Figura 4b) - variedade mineralógica de gipsita, incolor e transparente.

- *Boró* – mistura de alabastro e argila.

- *Anidrita* (Figura 4c) – variedade mineralógica constituída de sulfato de cálcio.

Para a produção do gesso  $\beta$ , utilizado na construção civil, são utilizadas as variedades mineralógicas Cocadinha, Rapadura e Estrelinha. A variedade pedra Johnson é utilizada na produção do gesso  $\alpha$ . O alabastro, o boró e a anidrita, são utilizados na fabricação do cimento e na agricultura, enquanto a selenita é usada em polarizadores (BALTAR *et al.*, 2004).

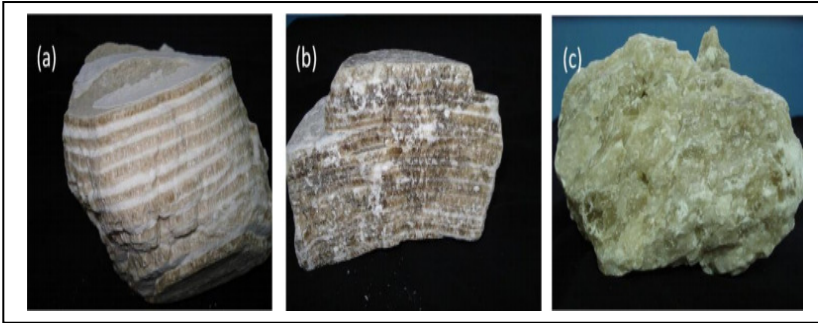


Figura 3 - Variedade de gipsita do Polo Gessoiro do Araripe – Pernambuco (a) Cocadinha (b) Rapadura (c) Pedra Johnson  
Fonte: Pinheiro (2011)

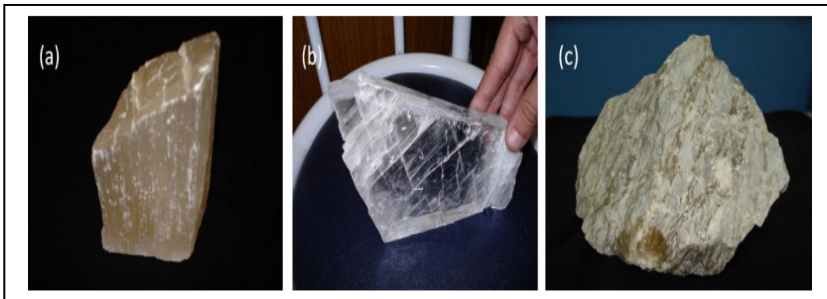


Figura 4 - Variedade de gipsita do Polo Gessoiro do Araripe – Pernambuco (a) Alabastro (b) Selenita (c) Anidrita.  
Fonte: Pinheiro (2011)

Após a seleção da gipsita os blocos são fragmentados mecanicamente e passam por um processo de britagem, em britadores de mandíbula. Transportados para as usinas, são novamente britados e reduzidos a dimensões de diâmetros inferiores a 100 mm. Em seguida é feito o processo de moagem e peneiramento onde o minério é reduzido a dimensões inferiores a 25 mm, granulometria necessária para o processo de calcinação da gipsita (PINHEIRO, 2011).

Depois de preparada a gipsita entra no processo de calcinação, que produz a desidratação do minério, que é submetido a um aquecimento em fornos, cujos processos

dependem da característica do gesso a ser produzido, bem como dos equipamentos disponíveis.

O processo de calcinação da gipsita pode ser por via úmida ou por via seca. No processo por via úmida, a calcinação ocorre em fornos sob pressão de vapor de água saturado em autoclaves. O produto obtido é o gesso tipo  $\alpha$  (hemi-hidrato $\alpha$ ), mais resistente, utilizado em moldes de precisão e na odontologia. No processo por via seca, a calcinação ocorre sob pressão atmosférica, ou sob fraca pressão resultando no gesso tipo  $\beta$  (hemi-hidrato $\beta$ ), utilizado na construção civil, para produção de placas, blocos ou pastas de revestimento de alvenarias ou tetos (PINHEIRO, 2011).

De acordo com Filho (2010) e Peres, Benachour e Santos (2008) a região de Araripe, em Pernambuco, os fornos mais comuns para a produção de gesso para a construção civil, são os fornos tipo panela, tipo marmitta vertical, forno tipo rotativo tubular e marmitta rotativo.

Os fornos do tipo panela eram usados em grande quantidade até a década de 90 do século passado, sendo que atualmente poucas empresas o utilizam. Embora apresentem vantagens, como simplicidade de manutenção, baixo custo de reposição e possibilidade de obtenção de praticamente todos os tipos de gesso beta, o forno possui a desvantagem de baixa produção quando comparados a outros tipos de fornos (FILHO, 2010). A Figura 5 – Amostra o esquema de produção do gesso utilizando o forno tipo panela, que utiliza em sua maioria, a lenha como combustível.

Segundo Filho (2010), o forno tipo marmitta vertical foi introduzido na década de 80 do século passado na região do Araripe, em Pernambuco. Quando comparado com outros modelos, o forno de marmitta vertical apresenta como vantagens, a maior produtividade, com menos operários por tonelada produzida, bateladas maiores, podendo chegar a cinco vezes mais de capacidade em relação ao forno tipo panela. Maior rendimento do combustível, podendo utilizar lenha ou óleo. Este equipamento é fabricado na região do Araripe e produz cerca de 700 kg/h de gesso com ciclo de calcinação em torno de três horas (Figura 5 – B).

Os fornos rotativos tubular são de dois tipos. Os de chama direta e os de chama indireta. Eles apresentam a vantagem de ter uma produção contínua, com a produção de um gesso com características uniformes, facilidade de automação por ser um processo contínuo e maior rendimento térmico. A figura 5 – C apresenta um fluxograma do típico de produção de gesso de uma fábrica que utiliza um forno rotativo tubular.

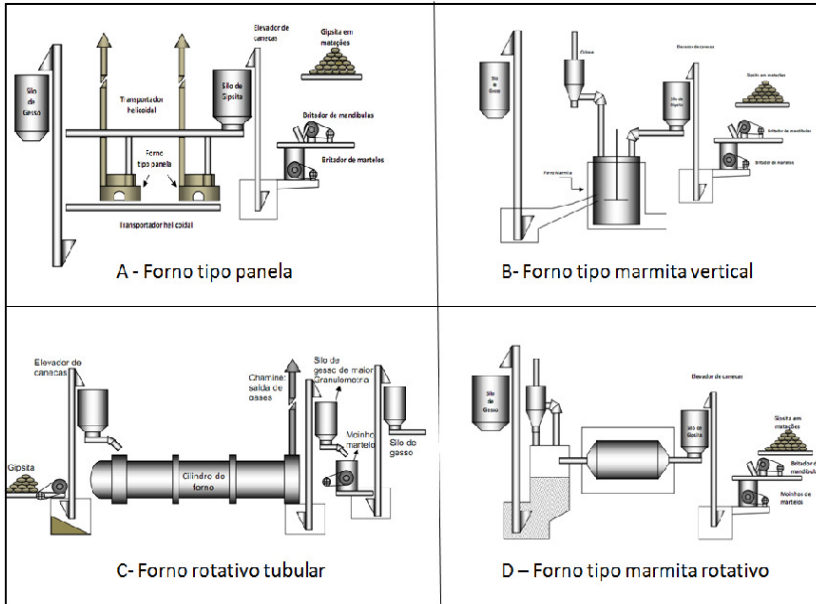


Figura 5 - Fluxogramas típicos de fábricas que utilizam fornos do tipo panela (A), marmita vertical (B), rotativo tubular (C) e marmita rotativo (D).

Fonte: Filho, (2010). Adaptado de Peres, Benachour e Santos (2008)

Os fornos tipo marmita rotativo foram introduzidos no Polo Gesso de Pernambuco, na última década do século passado. Tem capacidade de produção de 60 a 120 toneladas por dia e utilizam vários tipos de combustíveis disponíveis na região do Araripe, como lenha, coque, óleo BPF e coco – babaçu. A produção é automatizada e o gerenciamento das operações de carregamento e descarregamento dos silos e fornos, bem como o controle de temperatura e tempo de residência do gesso no interior do forno é feito através de monitoramento eletrônico segundo Peres, Benachour e Santos, (2008). O fluxograma



típico de uma fábrica que utiliza o forno de marmita rotativo é apresentado na Figura 5 (D).

Após a calcinação o gesso passa por uma moagem fina, para adquirir uma granulometria adequada a sua utilização e atender as especificações determinadas por normas técnicas. Em seguida o produto final é armazenado em silos onde ocorre a estabilização de seus constituintes (hemi-hidratos e anidritas), tornando o material mais homogêneo. Finalmente o gesso é ensacado em embalagens de papel Kraft multifoliados ou plásticos, para ser transportados aos centros consumidores.

O tempo de permanência da gipsita no forno depende de vários fatores, como o tipo de forno, o diâmetro e comprimento do forno, o número de rotações por minuto dos fornos rotativos, bem como o tipo de combustível utilizado (lenha, gás ou óleo combustível), além dos componentes químicos que compõe a gipsita.

A capacidade de produção média dos fornos são as seguintes:

Forno tipo panela – 0,6 t/h

Forno tipo marmita – 0,6 t/h

Forno rotativo tubular – 2,5 a 3,5 t/h

Forno tipo marmita rotativo – 2,5 a 5,0 t/h

Os requisitos tecnológicos de resistência à compressão, dureza e módulo de finura, bem como as exigências químicas do gesso beta produzido para ser utilizado na construção civil são apresentados na tabela 5 do item 2.8.

## 2.4. MECANISMO DE TRANSFORMAÇÃO – HIDRATAÇÃO.

O gesso utilizado na construção civil é um material em pó obtido pela calcinação da gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – di-hidrato) e é constituído basicamente por sulfato de cálcio hidratado tendo como componente principal a bassanita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  – hemi-hidrato), anidritas solúveis e insolúveis ( $\text{CaSO}_4$ ) e sulfato de cálcio di-hidratado.

A tabela 4 indica a composição teórica dos sulfatos, destacando-se os teores de  $\text{SO}_3$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . O teor de água

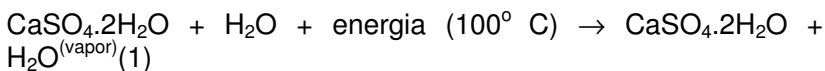
combinada diferencia as massas moleculares e os teores respectivos de cada um desses constituintes, permanecendo constante a relação CaO/SO<sub>3</sub> (JOHN e CINCOTO, 2010).

Tabela 4 – Composição teórica dos sulfatos

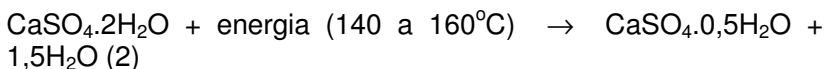
Sulfato	Fórmula	Massa molecular (g)	Composição (%)			Relação CaO/SO <sub>3</sub>
			H <sub>2</sub> O	CaO	SO <sub>3</sub>	
Anidrita	CaSO <sub>4</sub>	136,14	0	41,19	58,81	0,7
Hemidrato	CaSO <sub>4</sub> .0,5H <sub>2</sub> O	145,15	6,20	38,63	55,15	0,7
	CaSO <sub>4</sub> .0,66H <sub>2</sub> O	148,02	8,03	37,88	54,08	0,7
Dihidrato	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	172,17	20,99	32,57	46,50	0,7

Fonte: John e Cincoto (2010)

Quando a gipsita é aquecida a uma temperatura até 100° C ocorre a liberação da água livre existente no material, de acordo com a Equação 1:

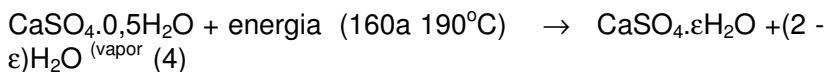
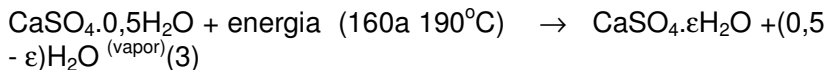


Quando o di-hidrato é aquecido a uma temperatura na faixa de 140 à 160° C, ele se transforma em um hemi-hidrato de sulfato de cálcio (CaSO<sub>4</sub>.0,5H<sub>2</sub>O), com a perda de 1,5 mols de água, conforme a Equação 2:



O hemi-hidrato de sulfato de cálcio tem o início do processo das reações de transformação à temperatura de 106° C, porém como a velocidade das reações ocorre de forma lenta, as indústrias de transformação adotam temperaturas entre 140 e 160° C, para a produção dos hemi-hidratos α e β (PINHEIRO, 2011).

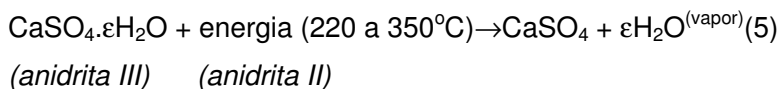
Entre 160°C e 190°C o hemidrato perde a meia molécula de água, formando a anidrita III ou anidrita solúvel, segundo as Equações 3 e 4:



A fórmula  $\text{CaSO}_4 \cdot \varepsilon\text{H}_2\text{O}$  indica que o constituinte possui um teor pequeno de água de cristalização variável entre 0,06 <  $\varepsilon$  < 0,11.

A anidrita III é muito reativa e age como acelerador de pega. Transforma-se em hemidrato com a umidade do ar. A transformação da anidrita III em hemidrato ocorre até 12 horas de armazenamento em um ambiente com 80% de umidade relativa do ar (UR) em uma etapa de produção do gesso chamada de estabilização (JOHN; CINCOTO, 2010).

Quando se aquece a anidrita solúvel a uma temperatura de 220° C para o hemi-hidrato $\alpha$  e 350°C para o hemi-hidrato $\beta$  (gesso de construção), ela adquire uma estrutura, que a torna insolúvel, sendo chamada de anidrita II ou anidrita insolúvel. Se a calcinação se faz a essas temperaturas a gipsita perde as duas moléculas de água, de acordo com a Equação 5:

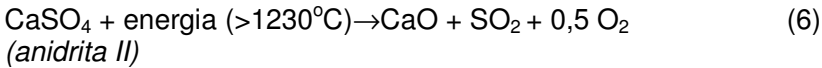


Quando produzida a temperatura de 350°C a anidrita é chamada de supercalcificada. Reage lentamente com a água, podendo levar até sete dias para se hidratar. A anidrita calcificada a temperaturas entre 700°C e 800°C é chamada de anidrita calcificada até a morte e hidrata-se somente após alguns meses.

A hidratação da anidrita II é lenta, consumindo duas moléculas de água, o que proporciona diminuição na porosidade do gesso e consequentemente, um aumento na resistência mecânica e na dureza do material (JOHN; CINCOTO, 2010).

A anidrita I, de fórmula  $\text{CaSO}_4$ , também chamada de anidrita de alta temperatura ou anidrita  $\alpha$ , é obtida pela

calcinação da gipsita em temperaturas entre 1.100°C e 1.200°C. É definida como uma fase não pura, pois contém óxido de cálcio consequente do início da dissolução térmica do CaSO<sub>4</sub>, possível já acima de 800°C. Acima de 1230°C ocorre a decomposição da anidrita I em óxido de cálcio e anidrido sulfúrico, conforme a Equação 6 (JOHN e CINCOTO, 2010).



No sentido inverso, quando se adiciona água ao hemidrato ou a anidrita solúvel, a temperatura ambiente, ocorre o mecanismo de hidratação, regenerando a gipsita. O processo de desidratação e sua ocorrência natural faz do gesso um recurso sustentável, que em princípio pode ser infinitamente reciclado (ABERLE *et al.*, 2010).

No processo de pega e endurecimento do gesso o hemidrato dissolvido na água libera ions de Ca<sup>2+</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, que se transformam no di-hidrato de sulfato de cálcio e se precipitam na solução, tornando-a saturada. Os ions vão se depositando nos núcleos ou pontos de nucleação formados de di-hidrato, proporcionando o crescimento de cristais entrelaçados de forma acicular que se precipitam a partir de uma solução que fica supersaturada. Com a formação continuada de cristais ocorre o endurecimento da pasta, que adquire resistência mecânica (SINGH; MIDDENDORF, 2007).

O número de núcleos por unidade de crescimento influencia a taxa de crescimento da microestrutura e o tamanho do cristal. Assim, aumentando ou diminuindo o número de núcleos por unidade de volume, é possível modificar a estrutura cristalina e consequentemente as propriedades mecânicas do produto endurecido (BALTAR *et al.*, 2013). Para se obter uma consistência da pasta de gesso adequada a sua manipulação, deve ser usada uma quantidade de água maior do que quantidades estequiométricas. Durante o processo de cristalização, a evaporação do excesso de água utilizada na confecção da pasta, resulta no aparecimento de poros que contribuem para reduzir a resistência da peça de gesso endurecida. Na figura 6 é mostrado um diagrama ilustrativo das etapas de desidratação do dihidrato de sulfato de cálcio até a formação do hemi-hidrato de sulfato de cálcio.

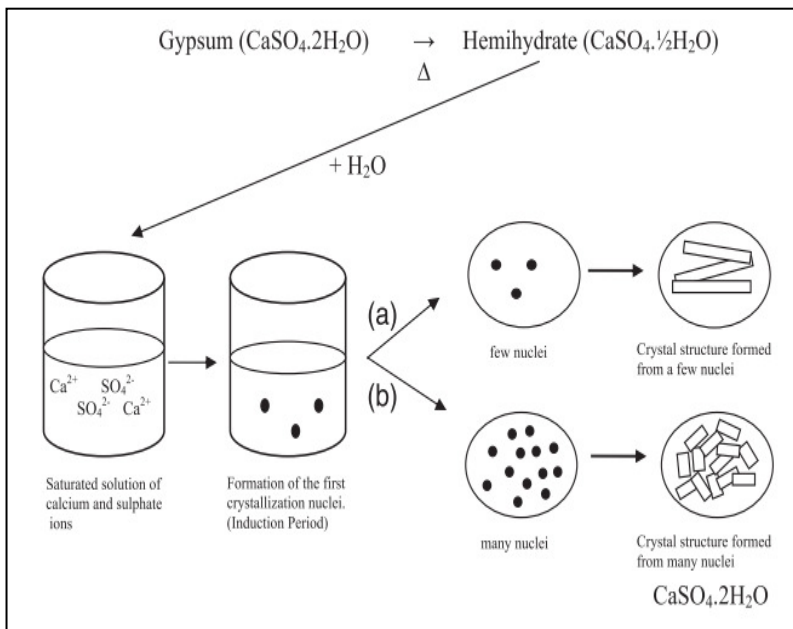


Figura 6 - Representação do processo de desidratação do gesso – dissolução cristalização e endurecimento do hemi-hidrato.

Fonte: Baltar *et al.*, (2013)

De acordo com Baltar *et al.*, (2013) as condições de crescimento dos cristais afetam diretamente as propriedades físicas e mecânicas dos gessos, nos estados frescos e endurecidos. A quantidade de água, as impurezas e a utilização de aditivos na pasta podem interferir no crescimento dos cristais e modificar as propriedades mecânicas dos gessos. A trabalhabilidade da pasta aumenta, aumentando a relação da água/gesso, que resulta em diminuição das resistências mecânicas de compressão e tração. É importante obter uma pasta de gesso com características de fácil manipulação e com consistência adequada, tempo útil que permita a execução de trabalhos com o mínimo de desperdício e boa resistência mecânica. Para a produção de pastas de gesso, diferentes aditivos podem ser empregados para alcançar os requisitos de cada aplicação em particular, como por exemplo retardadores ou aceleradores de pega, plastificantes ou hidrofugantes.

O processo de hidratação do gesso produz reações altamente exotérmicas, que liberam calor durante o seu desenvolvimento de acordo com a equação 7, onde Q é a quantidade de calor produzida na reação (SINGH; MIDDENDORF, 2007).



Os ensaios de calorimetria permitem determinar a quantidade de calor liberada durante as reações ao longo do tempo. Os resultados podem ser expressos por meio de gráficos que permitem identificar as diversas etapas de hidratação do gesso. O gráfico da figura 7 apresenta a curva teórica da evolução da temperatura ao longo do tempo e as etapas da cinética de reações de hidratação do gesso.

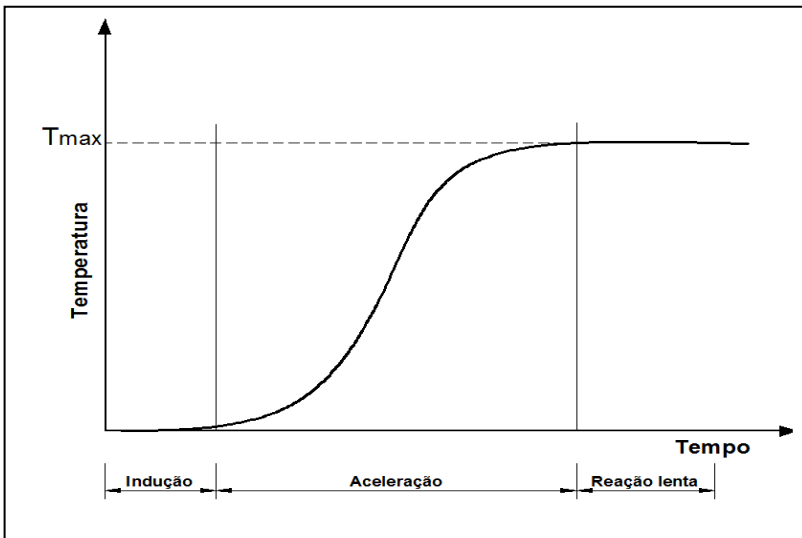


Figura 7 - Curva típica de elevação de temperatura – etapas da cinética de hidratação do gesso.

Fonte: SINGH; MIDDENDORF, (2007)e(LEWRY; WILLIAMSON, 1994a)

O início de pega do gesso é caracterizado pelo aumento da temperatura após o período de indução, enquanto o fim de pega ocorre próximo ao pico máximo de temperatura.

A hidratação é um fenômeno resultante da reação química do anidro em pó com a água, transformando-o em dihidrato. Após alguns minutos, o gesso misturado com água, forma uma pasta homogênea consistente e trabalhável. A consistência aumenta até o endurecimento da pasta, que ganha resistência.

De acordo com John e Cincoto (2010), a hidratação do hemidrato ocorre em quatro etapas:

A **Etapa 1** inicia com a introdução do pó na água. Este período dura 30 segundos. A água molha as superfícies e ocorre uma reação física sólido-água e inicia-se a *dissolução*.

A **Etapa 2**, denominada período de *indução*, depois de 2 ou 3 minutos, os hidratos existentes se estabilizam química e fisicamente, começam a se organizar formando um arranjo cristalino de acordo com a foto obtida através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) da Figura 8. Fatores como a relação água/gesso, grau de agitação da pasta, tempo de mistura, temperatura da água de amassamento, presença de impurezas e aditivos afetam o período de indução (SINGH; MIDDENDORF, 2007); (LEWRY; WILLIAMSON, 1994a).

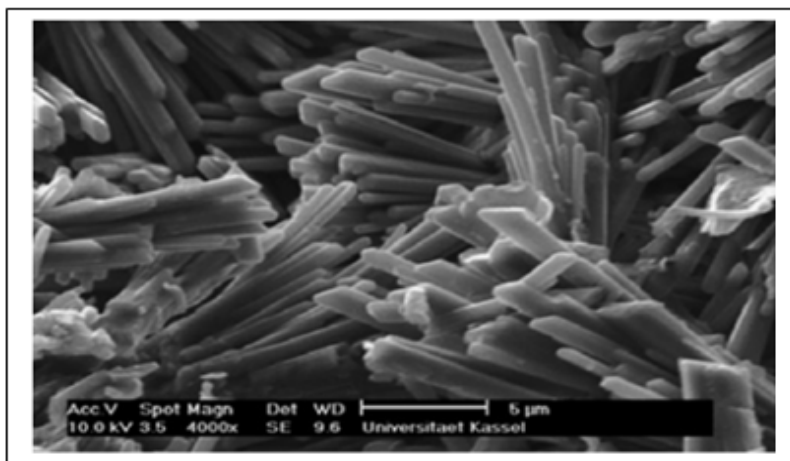


Figura 8 - Micrografia (MEV) dos cristais do hemidrato  
Fonte: (SHING e MIDDENDORF, 2007)

A **Etapa 3** inicia no final do período de indução, coincidindo com o *início de pega*. A solução torna-se supersaturada e os hidratos precipitam, formando cristais. Ocorre um forte aumento da temperatura, indicando o aumento da velocidade de reação. Nessa etapa, a fixação progressiva da água de hidratação vai reduzindo a água disponível e, simultaneamente, aumentando o volume de sólidos. Os cristais começam a ficar próximos, a porosidade diminui e a resistência aumenta.

Na **Etapa 4**, há uma diminuição da velocidade de reação, observando-se o fim da hidratação. Ainda nesta etapa tem-se crescimento dos cristais, o que vai influenciar diretamente as propriedades mecânicas.

A maior parte da hidratação, em condições ambientais normais e na ausência de aditivos retardadores, é completada em duas horas, quando se encerra a pega do gesso, mas a hidratação das anidritas podem levar meses. Porém o gesso continua a ganhar resistência até vinte horas depois da hidratação.

Além do processo de fabricação, a pega e endurecimento do gesso são influenciados por vários fatores como: a origem geológica da matéria prima, impurezas, finura e forma dos grãos, relação a/g, temperatura da água, velocidade e tempo da mistura e colocação de aditivos (KARNI e KARNI, 1995).

A compreensão destes fenômenos indica a forma com que será trabalhado o gesso, tanto na confecção de placas e molduras para forros, quanto na produção da pasta para revestimentos em alvenarias.

Guan *et al.* (2010) estudaram a relação entre a distribuição do tamanho das partículas de hemi-hidrato de sulfato de cálcio e a resistência à compressão para os gessos hidratados. Eles determinaram faixas de partículas de 0 a 20  $\mu\text{m}$ , 20 a 50  $\mu\text{m}$ , 50 a 90  $\mu\text{m}$  e 90 a 140  $\mu\text{m}$  e demonstraram que as faixas de partículas de frações de 20-50  $\mu\text{m}$  e 90-140  $\mu\text{m}$  tem um efeito positivo maior sobre a resistência à compressão.

A figura 9 apresenta um gráfico típico de distribuição do tamanho de partículas de um gesso de construção, feito com o uso de um analisador de partículas, que apresenta uma boa



distribuição granulométrica nas diversas faixas de dimensão das partículas.

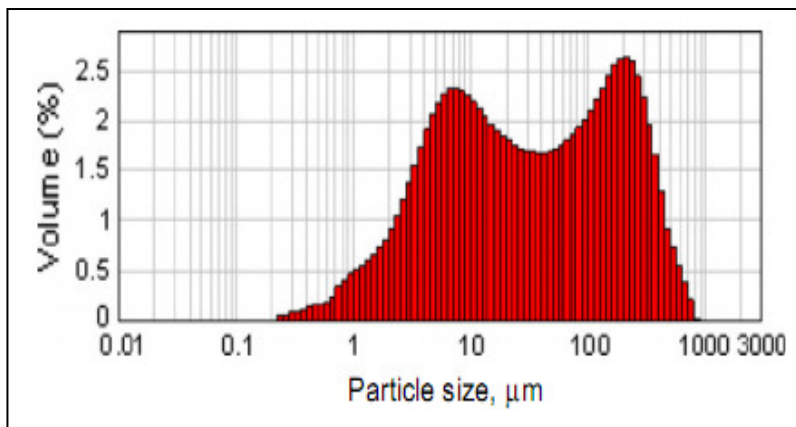


Figura 9 - Distribuição do tamanho de partículas de gesso de construção

Fonte: (LANZÓN e GARCÍA-RUIZ, 2012)

## 2.5 ADITIVOS.

Hoje em dia, a adição de pequenas quantidades de aditivos químicos para a hidratação do hemi-hidrato de sulfato de cálcio tornou-se uma necessidade para o desenvolvimento de novos tipos de produtos aglutinantes. Aditivos químicos são indispensáveis para a utilização em edifícios novos, para restaurar edifícios antigos e preservar monumentos históricos.

O uso de aditivos permite acelerar ou retardar o tempo de pega, aumentando ou diminuindo a velocidade de hidratação. São produtos orgânicos ou inorgânicos que podem ser adicionados ao gesso em pó ou água de amassamento em pequenas quantidades (<10%). Ao afetar a velocidade de hidratação, consequentemente, além de alterar o tempo de pega, os aditivos alteram também outras propriedades do material, como a resistência (SINGH e MIDDENDORF, 2007).

De acordo com (SINGH; MIDDENDORF, 2007), os cristais de gesso crescem por um mecanismo de nucleação e pela incorporação de unidades de crescimento no reticulado de uma

superfície. Os cristais de gesso tem uma estrutura em camadas consistindo de duas camadas de  $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$  paralelas à (010), conforme Figura 10, ligadas por interação iônicas formam um crescimento em fatias paralelos ao plano (010). Estas fatias de crescimento são separadas por camadas de  $\text{H}_2\text{O}$  paralelo ao (010). Uma clivagem perfeita ocorre ao longo das camadas de  $\text{H}_2\text{O}$  paralelo ao (010). Núcleos de superfície de mesmas dimensões são formados na superfície (010). Depois de um núcleo ser formado o crescimento ocorre através de passos de avanço em monocamadas, predominantemente paralelo ao (101) e ao (001).

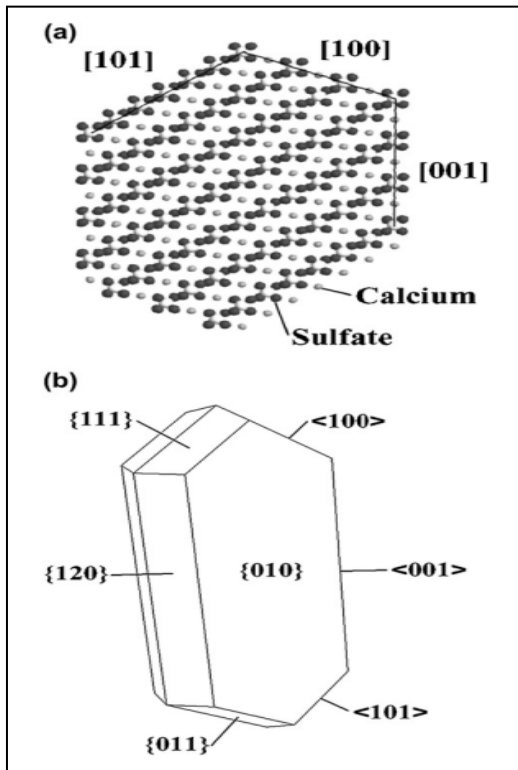


Figura 10 - (a) estrutura atômica de uma fatia do crescimento de gesso (010), (b) a morfologia gesso cristal com formas (010), (120), (011) e (111) comumente observadas.

Fonte: (SINGH; MIDDENDORF, 2007)

Os aditivos aceleradores são utilizados para promover a hidratação do hemi-hidrato, transformando em di-hidrato de sulfato de cálcio por dois mecanismos: pelo aumento da nucleação através de uma ação de sementeira e modificando a velocidade em que os de cálcio e de sulfatos são transportados e incorporados na estrutura na fase de crescimento do di-hidrato através do aumento da taxa de dissolução do hemi-hidrato (SINGH; MIDDENDORF, 2007).

Lewry e Williamson (1994) estudaram o efeito de um número de aceleradores de sulfatos durante a hidratação do hemi-hidrato. Di-hidratos quando adicionado à hidratação do hemi-hidrato, aceleram a hidratação. A área de superfície aumentada e o aumento de adições de di-hidratos acelera a hidratação, fornecendo locais de nucleação melhoradas.

Na presença de di-hidrato como um acelerador, a morfologia do cristal é alterada. Os cristais em forma de agulha do di-hidrato possuem dimensões de  $15\mu\text{m} \times 1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ . Quando adicionaram 2% de di-hidrato em peso, na hidratação do hemi-hidrato, houve um redução no tamanho dos cristais em forma de agulhas no processo de endurecimento da pasta, passando para  $10\mu\text{m} \times 0,5\mu\text{m} \times 0,5\mu\text{m}$ . Esta mudança na morfologia deu uma redução significativa no entrelaçamento dos cristais, o que resultou na diminuição da resistência da pasta endurecida.

Os aditivos orgânicos possuem massa molecular elevada. Misturados com água formam um gel ao redor dos grãos de hemidrato, atrasando o contato com a água e, portanto, atrasando a solubilização e cristalização do dihidrato, o que retarda o tempo de pega. Aditivos orgânicos são a queratina, caseína, goma arábica, gelatina, pepsina, peptona, albumina, alginatos, proteínas hidrolisadas, aminoácidos e formaldeídos condensados (JOHN; CINCOTO, 2010).

Os aditivos químicos são os ácidos cítrico, fórmico, acético, láctico, e seus sais alcalinos, como citratos, acetatos e lactatos, ácido bórico, ácido fosfórico, glicerina, álcool, éter, acetona e açúcar. Diminuem a velocidade de dissolução do hemidrato, pela introdução de outros íons na solução, afetando a solubilidade dos íons cálcio e sulfato, retardando a saturação da

solução. São também retardadores os boratos, fosfatos, carbonatos e silicatos alcalinos (JOHN; CINCOTO, 2010).

Outros aditivos são usados na produção de placas de gesso com o objetivo de impedir a absorção de água. São os aditivos hidrofugantes como o ELOTEX BNSEAL712, um aditivo em pó novo, desenvolvido com base em uma química especial alquiloxi-silano (ABERLE *et al.*, 2010).

Os aditivos ainda podem ser aerantes e umectantes, usados para aumentar o rendimento e melhorar o desempenho do bombeamento das máquinas de projetar argamassas ou pastas de gesso para revestimento (FILHO, 2010).

Aditivos reforçadores de aderência são polímeros sintéticos dispersivo em água. Melhoram a trabalhabilidade, aumentam a resistência à abrasão e melhoram à aderência ao substrato (PERES; BENACHOUR e SANTOS, 2008).

Aditivos fluidificantes são redutores de água para empastamento. Podem ser usados na fabricação de placas, elementos pré-fabricados, massas de acabamento, gesso cola e gesso cerâmico (FILHO, 2010).

O ácido cítrico é largamente utilizado na produção de pastas de gesso para revestimento como retardador de pega, para aumentar o tempo útil de manuseio da pasta. Lanzon e García-Ruiz (2012) estudaram o efeito da utilização do ácido cítrico nas propriedades mecânicas do gesso e comprovaram que o seu uso em pequenas quantidades não afeta a resistência da pasta endurecida. Porém doses acima de 1000 ppm afetam a microestrutura do arranjo cristalino do gesso, diminuindo a resistência à compressão e tração na flexão.

## 2.6 FABRICAÇÃO DE PLACAS E MOLDURAS

O gesso comercial em pó é empregado nos processos de fabricação de elementos pré-fabricados para forros e molduras de acabamentos. Um levantamento prévio foi realizado em fábricas da Grande Florianópolis para observação do processo de execução das placas e molduras.

Na confecção de placas de gesso para forro, a técnica utilizada, indica que o gesso tipo  $\beta$  (hemi-hidrato $\beta$ ), colocado sob a forma de polvilhamento em um recipiente com água, para a produção da pasta, deve ser misturado de forma contínua e intensa, por um equipamento tipo argamassadeira (Figura 11a) por aproximadamente um a dois minutos, o que acelera a formação dos cristais, diminuindo o tempo de espera (de início de pega) para a colocação do gesso nas formas e retirada do gesso das formas metálicas (Figura 11b) ou de silicone (Figura 11c), proporcionando um aumento de produtividade.



Figura 11 - Argamassadeira de misturar gesso para placas, forma metálica e de silicone  
Fonte: Fotos (FERNANDES; CÂMARA, 2012)

Após 10 a 20 minutos as placas são retiradas das formas e colocadas em um gradil de madeira coberto (Figura 11d) para

secar ao ar livre por aproximadamente cinco dias, quando podem ser transportadas para a obra. Este tempo é influenciado diretamente pela umidade relativa do ar. Períodos de chuva aumentam o tempo de permanência nas áreas de secagem das fábricas.

O gesso para confecção de molduras de acabamentos é o mesmo tipo do utilizado na fabricação das placas (hemi-hidrato  $\beta$ ). O processo de mistura da pasta (gesso + água) é semelhante a da confecção das placas. A pasta de gesso é espalhada em uma superfície lisa, untada por óleo com detergente ou parafina e depois de dois a quatro minutos é moldada de forma sucessiva no sentido longitudinal da peça, com o uso de um molde que define a forma da seção transversal, de acordo com a Figura 12(a) e (b).



Figura 12 - Confecção de molduras

Fonte: Acervo pessoal – Fábrica em Vargem Grande, Florianópolis.

A perda de gesso no processo de fabricação das placas e molduras de acabamento é estimada pelo fabricante em 5%. Ela é decorrente em sua maioria da fabricação de molduras que por ser um processo mais artesanal, sem o uso de formas produz resíduos que são recolhidos em bandejas ou masseiras de acordo com o indicado na figura 9, além dos resíduos que sobram no balde quando da confecção da pasta de gesso para molduras.

Os resíduos das placas são os provenientes das raspagens para acabamento e de eventuais quebra de placas no transporte ou retirada das formas. Há uma pequena quantidade de sobra

nos baldes, uma vez que o volume produzido de pasta é todo despejado na forma para a produção das placas.

## 2.7 REVESTIMENTO DE GESSO

O gesso empregado para o revestimento nas obras deve ser o gesso de revestimento, que tem um tempo de pega mais lento que o gesso de fundição.

Enquanto o gesso para produção de placas e molduras requer uma mistura mais rápida para diminuir o tempo de início de pega, o gesso utilizado em revestimento requer uma técnica diferente na produção da pasta. É necessário um tempo maior para aplicar o gesso em revestimentos antes do início do processo de pega. O profissional que trabalha na produção do revestimento (chamado na obra de gesseiro) se utiliza de um tonel, geralmente de forma cilíndrica, cortado no sentido longitudinal. Adiciona à água uma pequena quantidade de aditivo retardador de pega (ácido cítrico anidro, por exemplo). Este produto é colocado em uma metade do tonel e misturado levemente. O gesso é então polvilhado manualmente sobre a água, até o cobrimento total da superfície. Após este período o gesso fica em “descanso” por um período que varia aproximadamente de 15 a 25 minutos, quando a metade da massa do tonel é levemente misturada, enquanto a outra metade do tonel, na qual foi colocado o aditivo retardador de pega, permanece em repouso (Figura 13).



Figura 13 - Polvilhamento e mistura do gesso para revestimento  
Fonte: Acervo pessoal – Obra Município de Palhoça.

Esta prática utilizada pelos profissionais permite prolongar o tempo útil de trabalho da pasta, pois a parte da pasta que permaneceu em repouso, sem ser agitada, terá retardado o tempo de formação do arranjo cristalino, retardando o tempo de início de pega.

O tempo útil de trabalho é o tempo que se inicia quando a pasta de gesso adquire uma consistência pastosa que permite a sua aplicação, até o período do início da pega, no qual a formação do arranjo cristalino faz com que a pasta adquira uma consistência endurecida. Esta consistência endurecida impede a aplicação do gesso no revestimento da alvenaria, provocando imperfeições, pela formação de grãos duros na pasta. O gesso restante do recipiente deve ser descartado. O recipiente e as ferramentas devem ser limpos para não contaminar a pasta de gesso a ser confeccionada posteriormente.

A aplicação ocorre com o uso de desempenadeiras de comprimentos aproximados de 30 a 60 cm (Figura 14 a e b) São colocadas guias nas extremidades das paredes para garantir o acabamento e a espessura constante (Figura 14a). A pasta de gesso é aplicada em camadas sucessivas, sendo uma no sentido horizontal e outra no sentido vertical, até a regularidade do acabamento. Próximo aos cantos das paredes pisos e tetos também são utilizadas espátulas para o acabamento.

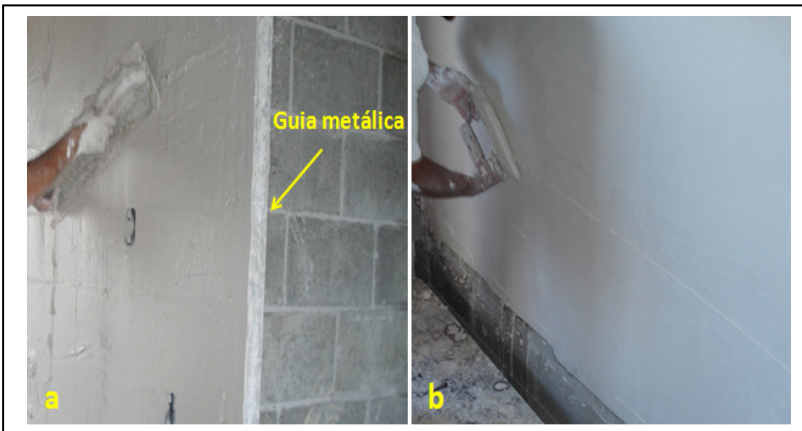


Figura 14 - Revestimento de gesso  
Fonte: Acervo pessoal – Obra Município de Palhoça.



As obras construídas na região da Grande Florianópolis não possuem a tradição do emprego de revestimento de pasta de gesso nas alvenarias. Como esta técnica de uso crescente na região não possui mão de obra qualificada, a totalidade dos profissionais encontrados em três obras visitadas é oriunda da região nordeste do Brasil.

## 2.8 GESSO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

No Brasil, o gesso utilizado na construção civil deve estar de acordo com a NBR 13.207 (ABNT, 1994), que fixa as condições exigíveis para o recebimento do gesso a ser utilizado em fundição e revestimento. Os métodos de ensaios bem como os limites exigidos são determinados pela ABNT conforme a Tabela 5.

As exigências químicas do gesso para construção determinadas pela NBR 13.207 (ABNT, 1994) devem atender às especificações da NBR 12.130 (ABNT, 1991d), tanto para o gesso de fundição (grosso e fino), quanto para o gesso de revestimento (grosso e fino). Fazem referência aos teores de água livre, água de cristalização, ao óxido de cálcio e ao anidrido sulfúrico (Tabela 5). A norma brasileira não faz nenhuma referência aos teores de impureza e aos percentuais das frações de hemi-hidrato e anidrita para a composição do gesso.

Tabela 5 – Exigências químicas, físicas e mecânicas do gesso para construção civil

<b>Exigências químicas do gesso para construção civil</b>			
Determinações químicas		Limites (%)	Normas
Água livre		máx. 1,3	NBR 12.130 (ABNT, 1991 d)
Água de cristalização		4,2 a 6,2	
Óxido de cálcio (CaO)		min. 38,0	
Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )		min. 53,0	

<b>Exigências físicas e mecânicas do gesso para construção civil</b>			
Determinações físicas e mecânicas	Unidade	Limites	Normas
Resistência à compressão	MPa	> 8,4	NBR 12.129 (ABNT, 1991 c)
Dureza	MPa	> 30,00	NBR 12.129 (ABNT, 1991 c)
Massa unitária	kg/m <sup>3</sup>	> 700,00	NBR 12.127 (ABNT, 1991 a)

Classificação do gesso	Tempo de pega (min) NBR 12.128 (ABNT, 1991 b)		Módulo de finura NBR 12.127 (ABNT, 1991 a)
	início	fim	
Gesso fino para fundição	4-10	20-45	< 1,10
Gesso grosso para fundição	4-10	20-45	> 1,10
Gesso fino para revestimento	> 10	> 45	< 1,10
Gesso grosso para revestimento	> 10	> 45	> 1,10

Fonte: NBR 13.207 (ABNT, 1994)

As exigências físicas e mecânicas do gesso para construção civil devem estar de acordo com o determinado na NBR 12.129 (ABNT, 1991c), conforme a NBR 13.207 (ABNT, 1994), e definem valores para a resistência à compressão, dureza superficial e massa unitária (Tabela 5). Os limites propostos para resistência à compressão e dureza, consideram a relação água/gesso necessária à obtida para uma pasta de consistência normal, sendo estes parâmetros considerados para todos os tipos de gesso.

As exigências físicas do gesso para construção civil distinguem os gessos para fundição (grosso e fino) do gesso para revestimento (grosso e fino) pelo tempo de início e fim de pega e pelo módulo de finura. Os limites de tempo de pega consideram a relação de água/gesso de uma pasta de consistência normal e devem estar de acordo com o estabelecido na Tabela 5.

A Norma Europeia *Gypsum binders and gypsum plasters. Test methods* (EN 13.279-2, 2004), utiliza um procedimento diferente em relação a Norma Brasileira. Recomenda colocar os corpos de prova para ensaios em ambiente condicionado, com umidade relativa do ar de 95 ( $\pm 5$ )%, temperatura de 20 ( $\pm 5$ )°C e por um período de 7 dias, secando em estufa após este período, com temperatura de 40 ( $\pm 2$ )°C até a massa constante, para serem submetidos aos ensaios. Na Norma Brasileira os corpos de prova de gesso não são condicionados em ambiente úmido e são secados ao ar livre.

Os valores de referência para os ensaios de resistência à compressão, resistência à tração na flexão e à dureza superficial relativos à EN 13.279-2 (2004), após 7 dias, são os apresentados na Tabela 6. Estes valores são muito diferentes, quando comparados com os valores da NBR 13.207 (ABNT, 1994) da tabela 6.

Tabela 6– Valores de referência de resistência e dureza da EN 13.279-2 (2004)

Resistência à compressão	>2,0 N/mm <sup>2</sup>
Resistência à flexão	>3,0 N/mm <sup>2</sup>
Dureza superficial	>10,0 N/mm <sup>2</sup>

$$1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ MPa}$$

## 2.9 GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE GESSO DE CONSTRUÇÃO

Os resíduos de gesso de construção civil são oriundos das fábricas de gesso, das fábricas de placas de gesso para forro, que no seu processo de produção desperdiça no transporte, fabricação e armazenagem (Figura 15). O desperdício de maior volume é o proveniente da execução dos serviços em obras, com a instalação de placas para forro, moldes de acabamento e serviços de revestimento de alvenarias com pasta de gesso (Figura 16a a f).



Figura 15 - Resíduos nas fábricas de placas e molduras para forro

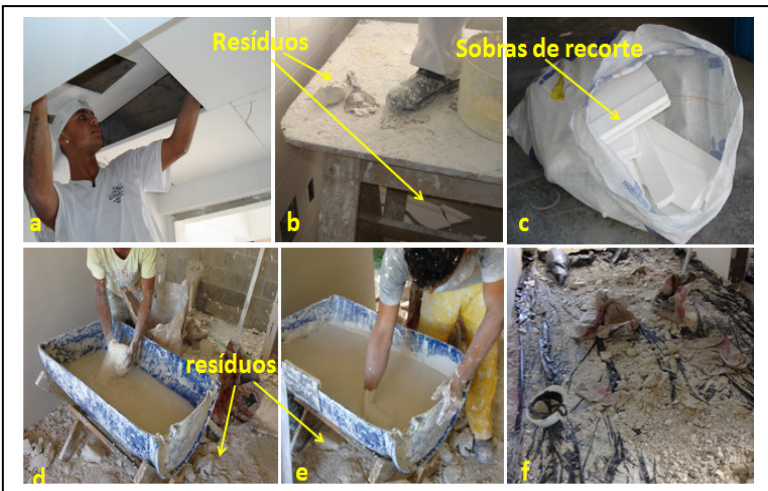


Figura 16 - Resíduos de gesso de placas e de revestimento

O desperdício é causado principalmente por técnicas e procedimentos inadequados na execução dos serviços em obras. Ações de planejamento, como modulação e fabricação de placas com dimensões variadas evitariam cortes e sobras desnecessárias de material.

O treinamento de operários, para adoção de procedimentos adequados na execução dos serviços de revestimento com pasta de gesso também contribuiriam para a redução deste desperdício, tais como: trabalho em dupla nos ambientes, para um melhor uso da pasta produzida, aproveitando de forma mais eficiente o tempo útil para a utilização da pasta; a observação do recomendado nas embalagens (Figura 17), como não colocar as mãos na pasta, pois este procedimento acelera o tempo de pega, diminuindo o tempo útil para a manipulação da pasta e conseqüentemente aumento do desperdício (Figura 16 d e e).

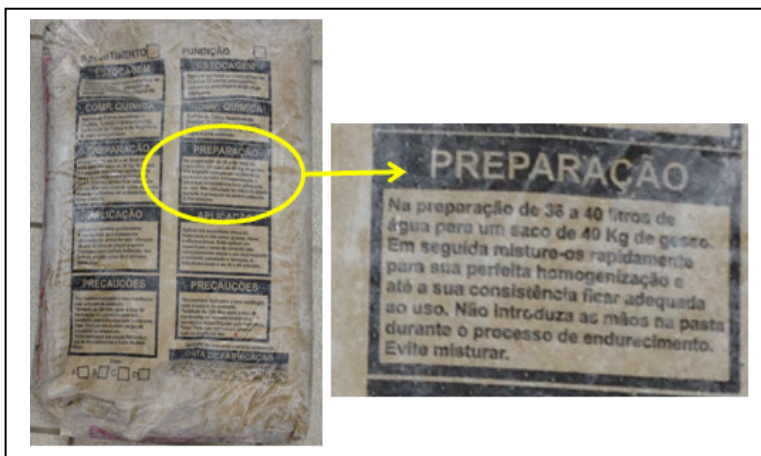


Figura 17 - Embalagem de gesso de fundição e revestimento

Ações de gerenciamento também poderiam contribuir para a redução de descartes inadequados (Figura 18), como colocação de baias para separação e armazenagem do gesso na obra, criação de estações de transbordo para o descarte do gesso no município, controle de saída e confirmação do recebimento do gesso nas estações de descarte através de guia de controle de transporte de resíduo, em atendimento a NBR 15112 de 2004 a

15114 de 2004 e outras providências como as sugeridas pelo SINDUSCON de SP (SINDUSCON, 2005).



Figura 18 - Descarte inadequado de gesso

A forração dos ambientes onde são executados os serviços de revestimento, além de permitir a retirada dos resíduos de gesso sem a contaminação de materiais cimentícios, propicia a limpeza mais rápida do ambiente, evitando patologias futuras na execução de pisos pela contaminação de gesso nas argamassas colantes, produzindo etringita que expande a argamassa e solta o piso cerâmico pouco tempo após colocação.

## 2.10 RECICLAGEM DO GESSO

A reciclagem dos resíduos sólidos de construção e demolição (RCD) é um fator importante para o aumento do ciclo de vida dos materiais, diminuindo o impacto causado na natureza, pela redução de extração de matérias primas, bem como pela diminuição das áreas de descarte. A meta da União Europeia, definida pela Diretiva 2008/98 é reaproveitar 70% dos resíduos de construção e demolição até o ano de 2020 (JIMÉNEZ RIVERO et al., 2016).

O gesso é um material que pode contribuir para o alcance desta meta, porque sua matéria prima, o hidrato de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), pode repetidamente alterar suas

propriedades através de uma reação de hidratação reversível, transformando o di-hidrato em hemi-hidrato de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ).

A Gypsum Recycling International (2016), uma empresa que atua em vários países da Europa (Dinamarca, Suíça, Finlândia, Noruega, Alemanha, Holanda, Bélgica) além dos Estados Unidos e Japão, desenvolveu um processo de reciclagem para placas de gesso acartonado, possibilitando o reaproveitamento de quase toda a matéria prima empregada nas placas. A empresa disponibiliza containers com tampa dianteira e superior que protegem da chuva, para a armazenagem dos resíduos de gesso descartados (1 e 2 da Figura 19). Este gesso é recolhido periodicamente e transportado para a indústria de reciclagem, onde são retirados os materiais contaminantes, como pregos, parafusos, madeiras ou plásticos, e separado o gesso do papel (3 e 4 da Figura 19). Cerca de 90 a 95% do material resultante é gesso em pó, que é reintroduzido na fabricação de novas placas de gesso acartonado numa proporção de no máximo 30% de gesso reciclado adicionado ao gesso não reciclado (6 e 7 da Figura 19). Os 5% de papeis retirados são enviados para uma unidade recicladora de papel, onde são descontaminados e transformados em papel reciclado (A, B, C e D da Figura 19). Para cada tonelada de gesso reciclado, são salvos 200 kg de  $\text{CO}_2$ , enquanto para cada tonelada de papel reciclado 2,3 ton de  $\text{CO}_2$  são salvos de acordo com Gypsum Recycling International (2016).



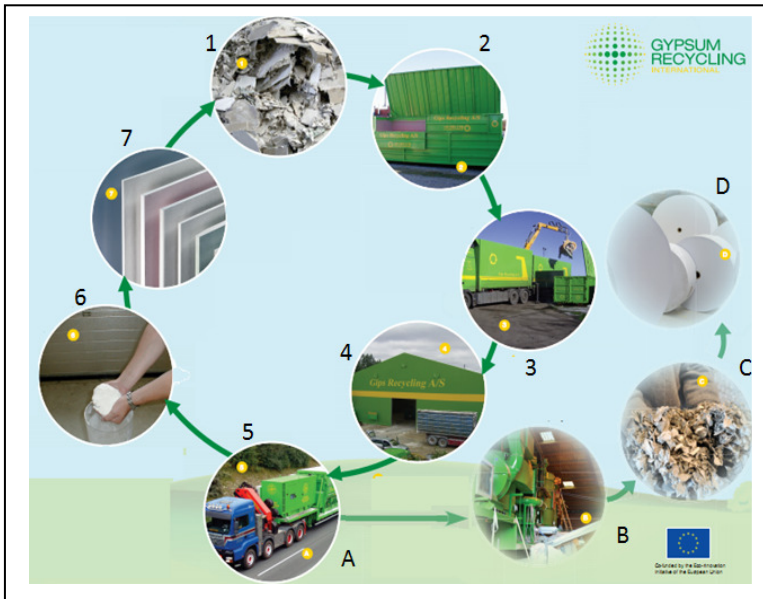


Figura 19 - Ciclo de reciclagem do gesso acartonad  
 Fonte: Gypsum Recycling International (2016)

No Brasil a legislação que trata dos resíduos sólidos não determina metas de reciclagem para os resíduos de construção civil. Existem em vários estados, usinas de reciclagem de RCD, que produzem agregados que são utilizados principalmente em pavimentação ou em produtos de concreto sem função estrutural como peças de meio fio. São poucas as iniciativas para a reciclagem do gesso. Em Santa Catarina uma indústria de reciclagem de fosfogesso para uso agrícola em corretivos para o solo, localizada no município de Imbituba, está armazenando e reciclando o gesso de construção civil.

Os municípios da região da Grande Florianópolis não possuem um local adequado a destinação do gesso, como uma estação de transbordo coberta. Eles são colocados junto aos aterros de inertes, comprometendo o uso futuro da reciclagem de RCD depositados. Os gessos recolhidos de forma adequada por algumas construtoras são encaminhados diretamente ao município de Imbituba.



## 2.11 REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE GESSO

O reaproveitamento de resíduos de gesso de construção oriundos da fabricação de placas, moldes ou blocos, bem como da execução de serviços de forro ou revestimentos de alvenarias, devem produzir um produto que atendam as exigências de normas indicadas para o gesso comercial.

Com este objetivo as pesquisas buscam adequar estas características no processo de transformação do gesso. Estudo da reciclagem do gesso de construção (NITA *et al.*, 2004) analisou a possibilidade de aproveitamento de duas maneiras. Propõe adicionar percentuais (de 1%, 2% e 4%) de gesso moído na forma de dihidrato, na pasta de gesso para revestimento, como forma de aproveitar parte do resíduo na própria obra. De outra forma, propôs também adicionar à pasta, na forma de hemidrato após moagem e calcinação a 140° C, os mesmos percentuais, indicando aumento da resistência do gesso hidratado e aumento do rendimento do produto final.

Trovão (2012), estudou a viabilidade de reaproveitamento de resíduos de gesso para o uso na própria obra em revestimentos de alvenaria. Os ensaios indicam a viabilidade de adição de 5% de resíduos à pasta de gesso, quando associado a incorporação do aditivo retardador de pega bórax, ampliando o tempo de utilização da pasta e aumentando as propriedades mecânicas ensaiadas.

Tavares *et al* (2010) e Bernhoeft (2010), estudaram a viabilidade do reaproveitamento de resíduos de gesso na execução de revestimento interno de vedação vertical, adicionando percentuais de 5% e 10%, de resíduos de gesso moído, sem calcinar, à massa de gesso para revestimento. Estudos sobre as propriedades mecânicas das pastas de gesso para revestimentos com percentuais de adição de 5% a 25% confirmam a viabilidade técnica da adição de resíduos de gesso, indicando melhor resultado na faixa de 10% (SOBRINHO, 2009).

Ribeiro (2006) produziu hemi-hidrato de sulfato de cálcio (gesso  $\beta$ ) a partir de resíduos de gesso de construção, calcinando em panela de alumínio, simulando a técnica dos antigos fornos de barriga quente. Adotou temperaturas de calcinação que variaram de 130° C a 180° C. Indica que a

temperatura mais adequada ao seu experimento foi de 140° C e com um fator água/gesso igual a 0,75 que levou a um melhor desempenho da pasta. Os resultados apresentam conformidade com a norma brasileira, indicando a viabilidade do uso do gesso reciclado na construção.

Bardella (2011) avalia as propriedades das pastas de gesso reciclado para o uso em revestimentos de bloco cerâmicos. Ele produz gessos grossos e finos, calcinados nas temperaturas de 150° C, 180° C e 200° C por um período de 24h. Avalia também misturas de gesso reciclado com o gesso comercial em proporção de 50% para cada tipo. Indica que as pastas mistas apresentaram valores de resistência à compressão e dureza inferiores às pastas de gesso comercial e as pastas compostas apenas com gesso reciclado.

Savi *et al* (2013) observa que a massa unitária do gesso reciclado geralmente é menor do que a do gesso comercial. Avalia a microestrutura e indica que a redução da massa unitária do gesso reciclado é influenciada pela forma de organização do arranjo cristalino do gesso reciclado em relação ao observado para o gesso comercial, além da propensão natural para formação de grumos.

O trabalho de Pinheiro, (2011) avalia o processo de ciclos de reciclagem consecutivos do gesso, de forma a confirmar a ideia de que o material pode hidratar-se ou desidratar-se, continuamente, tornando o gesso um material que em princípio pode ser infinitamentereciclado(ABERLE *et al.*, 2010). Em uma primeira etapa, foram avaliadas amostras de gesso calcinado, a temperaturas de 120° C, 150° C e 200° C, com tempo de permanência em estufa de 1 h, 2 h, 5 h, 8 h, 16 h e 24 h. Na segunda etapa foram realizados cinco ciclos de reciclagem. Foram adotadas temperatura de calcinação de 150° C e tempo de permanência em estufa de uma hora, produzindo pastas com o uso de aditivos superplastificantes em proporções que variavam de 1,0% a 2,2%. Os resultados indicam que os gessos reciclados em pó apresentam características químicas e micro estruturais semelhantes em todos os ciclos de reciclagem, porém apresentaram perda da trabalhabilidade/fluidez ao longo do processo dos diversos ciclos de reciclagem.

Os estudos apresentados com o uso do gesso reciclado mostram em alguns casos que as propriedades mecânicas de resistência à compressão e tração na flexão podem apresentar valores maiores que o gesso comercial de referência. É o caso do trabalho de Pinheiro (2011) (Figura 20).

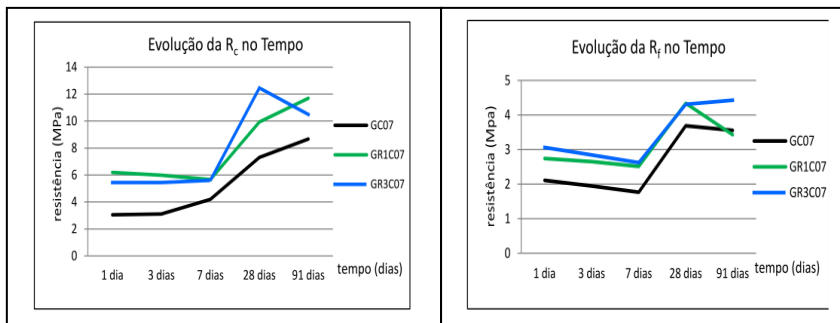


Figura 20 - Evolução da Resistência à Compressão e Tração na Flexão no tempo para gessos reciclados e comercial  
Fonte: Pinheiro (2013)

Para a maioria dos estudos apresentados foi utilizado algum tipo de aditivo para o gesso reciclado. Desta forma este trabalho pretende avaliar a viabilidade técnica para o reaproveitamento de resíduos de gesso de placas para forro e de gesso de revestimento de alvenarias internas e verificar se as condições operacionais propostas, se aplicam ao gesso empregado na região da grande Florianópolis para o uso em revestimentos e componentes de placas e acabamentos (sancas) para forro, sem o uso de aditivos.



### 3. PROGRAMA EXPERIMENTAL:

Para a avaliação da viabilidade técnica do reaproveitamento dos resíduos de gesso, provenientes da execução de serviços de forro e revestimento de alvenarias, para o uso em revestimentos internos (e/ou placas de forro), o trabalho foi dividido em duas etapas. A primeira etapa foi destinada à coleta para a preparação dos resíduos de gesso. Na segunda etapa feita em laboratórios foi realizado o processo de produção do gesso reciclado, transformando os di-hidratos em hemi-hidratos de sulfato de cálcio. Foram realizadas as análises das propriedades físicas, químicas e mecânicas. O esquema do método descrito está apresentado de acordo com a Figura 21..

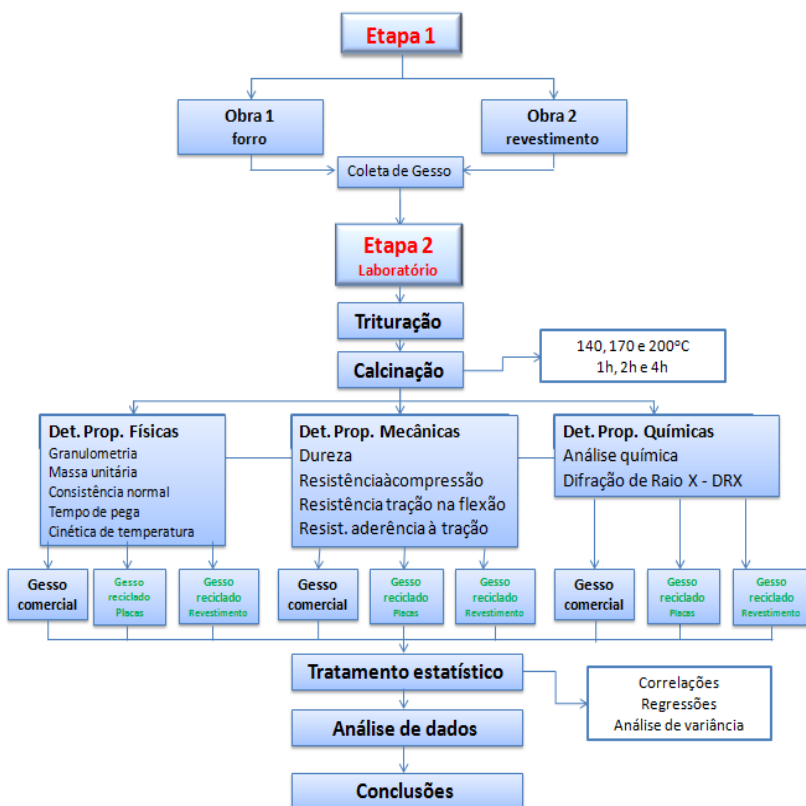


Figura 21 - Etapas Metodológicas

### 3.1. ETAPA I - COLETA

Na primeira etapa foram realizadas visitas em quatro obras da região da Grande Florianópolis, com os serviços de revestimentos e forros em execução, para obtenção dos resíduos destinados à pesquisa. Os resíduos de gesso foram recolhidos, embalados e pesados para a determinação das características físicas, químicas e propriedades mecânicas. Os resíduos de gesso de placas de forro foram recolhidos em duas obras e em uma fábrica de placas e moldes para forro, localizadas em Florianópolis. Os resíduos de gesso de revestimento foram recolhidos em duas obras, sendo uma localizada no município de Palhoça e outra localizada no município de São José, que fazem parte da região da Grande Florianópolis.

#### 3.1.1 Metodologia para coleta do material:

Para a obtenção dos resíduos, os locais de coleta foram forrados com plástico, de maneira a não contaminar o gesso recolhido com outros resíduos da construção. Este processo foi realizado tanto nas obras para recolher resíduos de gesso de placas (Figura 22b), quanto nas obras para recolher resíduos de gesso de revestimento (Figura 22a). Os resíduos foram ensacados e transportados para armazenagem em local próximo ao laboratório (Figura 23).

O gesso recolhido em uma fábrica de placas para forro foi proveniente de placas compradas, quebradas no processo de fabricação e transporte para secagem, bem como gesso recolhido diretamente da caçamba de armazenagem do gesso a ser descartado.



Figura 22 - Forração do piso para recolhimento do gesso

Após a realização das etapas de coletas dos resíduos nas obras e fábricas de placas de forro, as amostras dos resíduos de forro e revestimentos foram selecionadas, ensacadas e armazenadas em local coberto para serem utilizadas no programa experimental realizado em laboratórios da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), conforme Figura 23.

O gesso comercial de referência (GC) armazenado no Laboratório, foi comprado em uma fábrica de placas para forro em Florianópolis, que também fornece às obras, o gesso de revestimento.



Figura 23 - Armazenagem dos resíduos de gesso

### 3.2. Etapa II

O programa experimental teve por objetivo produzir uma quantidade de gesso a partir do gesso recolhido, transformando o di-hidrato de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) resultante da produção de placas de forro e pastas de revestimentos, em hemi-hidrato de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) em pó, pelo processo de calcinação e moagem dos resíduos e verificar se atendem as determinações das normas para gesso da ABNT.

A desidratação ou calcinação do gesso reciclado realizada no Laboratório de Solos e Materiais do IFSC, a partir do gesso recolhido, foi feita em uma estufa marca Jung com temperaturas de calcinação de 140°C, 170°C e 200°C, com tempo de permanência na estufa de 1h, 2h e 4h para cada temperatura, recebendo uma nomenclatura de acordo com a Tabela 7. Os resíduos foram separados em gesso de placas de forro e moldes de acabamento, denominados GP1 a GP9 e o gesso de revestimento de alvenarias GR1 a GR9.

A calcinação foi realizada separadamente, tomando-se os resíduos de gessos de placas (GP) e de gesso de revestimento (GR) para se verificar as diferenças de propriedades físicas, químicas e mecânicas e compara-las com as propriedades do gesso comercial de referência denominado GC.

A desidratação foi realizada em resíduos de gesso triturados em um triturador forrageiro obtendo-se um material passante na peneira de 2 mm.

Tabela 7– Nomenclatura adotada para o gesso reciclado

Gesso Reciclado de Placas - GP	Gesso Reciclado de Revestimento - GR	Temperatura de Calcinação	Tempo de Calcinação
GP1	GR1	140°C	1h
GP2	GR2	140°C	2h
GP3	GR3	140°C	4h
GP4	GR4	170°C	1h
GP5	GR5	170°C	2h
GP6	GR6	170°C	4h
GP7	GR7	200°C	1h
GP8	GR8	200°C	2h
GP9	GR9	200°C	4h

GC = Gesso comercial de referência



No resíduo de gesso de revestimento (GR) recolhido em uma obra foi usado o retardador de pega ácido cítrico e o recolhido em outra obra não foi usado retardador de pega, de acordo com informações dos aplicadores da pasta de gesso, porém o gesso após a moagem foi homogeneizado. Não é possível a diferenciação dos resíduos com ou sem retardador, pois o uso do retardador não causa nenhuma modificação no aspecto visual do gesso produzido e dos resíduos resultantes.

A etapa realizada em laboratório foi dividida em duas partes. Na primeira parte foi produzido o gesso em pó, a partir do gesso reciclado. O gesso recolhido foi triturado manualmente, seco em estufa, moído e calcinado, nos diversos tempos e temperaturas determinados para o experimento (Tabela 7).

Na segunda parte foram realizados os ensaios para a determinação das propriedades físicas, mecânicas e químicas. Cada ensaio foi realizado em amostras de gesso reciclado de placas (GP) e de gesso reciclado de revestimento (GR), sempre comparando com os ensaios realizados em amostras de gesso comercial de referência (GC), de acordo com o esquema das etapas metodológicas (Figura 21).

### 3.2.1 Produção do gesso em pó reciclado – Moagem.

Para a produção do gesso a partir dos resíduos recolhidos e armazenados, o gesso foi triturado manualmente com a utilização de martelo e marreta, em pedaços de aproximadamente 2 cm. Posteriormente foi disposto em bandejas metálicas em camadas não superiores a 5 cm para secagem até a constância de massa em uma estufa Fabbe-Primarcom temperatura de 45<sup>o</sup> C, de maneira a garantir apenas a retirada da água, sem afetar a estrutura do di-hidrato de sulfato de cálcio (Figura 24a a d).



Figura 24 - Secagem dos resíduos de gesso

Após a secagem o gesso foi moído em um triturador TRAPP FR 400, com o uso da peneira 2 mm de maneira a atingir o módulo de finura preconizado pela NBR 13.207 (ABNT, 1994) para gesso fino de revestimento ( $<1,10$ ) e gesso fino de fundição ( $<1,10$ ) e de acordo com o determinado pela NBR 12.127 (ABNT, 1991). O gesso moído foi homogeneizado, ensacado e armazenado para posterior calcinação (Figura 25 a, b e c).



Figura 25 - Moagem, homogeneização e embalagem dos resíduos de gesso

### 3.2.2 Calcinação.

Em seguida foi realizada a calcinação dos resíduos de gesso de placas e de revestimento de forma separada, à temperaturas de 140, 170 e 200°C, e com tempos de 1h, 2h e 4h. Para a calcinação foi utilizado um forno da marca Jung, com termostato para controle de temperatura (Figura 26).



Figura 26 - Temperaturas de calcinação: 140°C, 170°C e 200°C

O gesso para calcinar foi colocado em bandejas, em camadas finas, de no máximo 2 cm de altura, de maneira a garantir uma temperatura uniforme em toda a amostra a ser calcinada (Figura 27a a c). Foram realizadas bateladas de 6 bandejas de gesso de placas (GP) e 6 bandejas de gesso de

revestimento (GR), totalizando 12 bandejas por batelada (Figura 27d).



Figura 27 - Preparação das bandejas para calcinação

Aos tempos de permanência considerados neste experimento devem ser acrescentados os tempos de aquecimento, que a estufa levou para atingir a temperatura prevista e o tempo de resfriamento das diversas bateladas, que variaram de aproximadamente de 70 à 300 minutos e com uma taxa de aquecimento do forno que variou de 0,46 °C/min à 4,47 °C/min de acordo com a Tabela 18 do Apêndice A.

Após atingir a temperatura inferior à 50° C o gesso foi retirado da estufa, ensacado, etiquetado e armazenado em recipientes hermeticamente fechados (Figura 28), para os ensaios previstos de determinação de propriedades físicas, mecânicas e químicas.

As etapas de trituração e calcinação para produção do gesso foram realizadas no Laboratório de Materiais e Solos do Departamento Acadêmico da Construção Civil do IFSC.



Figura 28 - Armazenagem do gesso calcinado

### 3.2.3 Ensaios para a determinação das propriedades físicas e mecânicas – Granulometria

Para a determinação das propriedades físicas do pó de gesso os ensaios foram realizados de acordo com a NBR 12.127 (ABNT, 1991) e NBR 13.207 (ABNT, 1994). Os ensaios requeridos nesta norma são os de granulometria, para determinação do módulo de finura e massa unitária.

Para a determinação do módulo de finura, toma-se 100g de gesso e registra-se o material retido em cada peneira de 0,840mm, 0,420mm, 0,210mm e 0,105mm e calculado pelas equações 7 a 9. O cálculo foi dividido em duas partes, de acordo com a Norma:

- Para peneiras de 0,840mm e 0,420mm

$$R = \frac{m}{M} \cdot 100 \quad (7)$$

Onde: R = Material retido, em percentagem  
 m = Resíduo na peneira, em gramas  
 M = Massa inicial, em gramas

- Para as peneiras de 0,210mm e 0,105mm:

$$R = \frac{m}{M_1} \cdot D \cdot 100 \quad (8)$$

Onde: R = Material retido, em percentagem  
 m = Resíduo na peneira, em gramas  
 M<sub>1</sub> = Massa total de material retido no jogo de peneiras (0,210mm, 0,105mm e fundo), em gramas  
 D = Diferença entre a massa inicial (M) e os resíduos das peneiras (0,840mm e 0,420mm) dividido por 100

O cálculo do módulo de finura é feito pela equação 9:

$$MF = \frac{\sum Ra}{100} \quad (9)$$

Onde: MF = Módulo de finura

$\sum Ra$  = Somatório do percentual retido acumulado em cada peneirada série padrão.

Para a determinação da composição granulométrica e determinação do módulo de finura foi usado um Granulômetro a laser modelo Microtac S3500, do Laboratório Nanotec do Departamento de Engenharia Civil da UFSC, que permite a determinação de grãos que variam de 4 a 1400  $\mu m$  (Figura 29). As análises foram realizadas nas amostras de gesso comercial GC, gessos reciclados de placas (GP8) e reciclados de revestimento (GR9), que no tratamento assegurou um melhor desempenho quanto à resistência mecânica aos 28 dias.

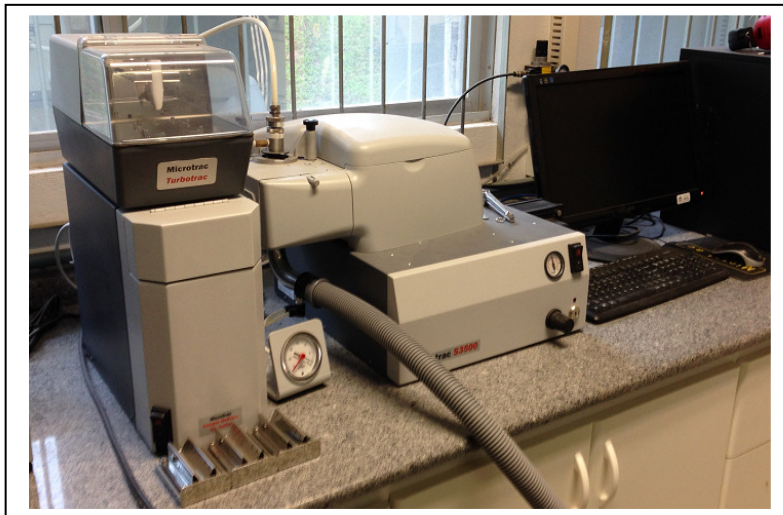


Figura 29 - Granulômetro à laser – Microtrac S3500  
Laboratório Nanotec – Departamento de Engenharia Civil – UFSC

### 3.2.4 Massa unitária:

Para a determinação da massa unitária foi utilizado um aparelho constituído de um funil cônico de material não corrosivo (aço inoxidável), sobre tripé, com peneira de 2 mm ajustada na metade da altura do funil e um recipiente medida com capacidade de  $1000 (\pm 20) \text{ cm}^3$ , de material não corrosivo de acordo com a Figura 30. Foi utilizada uma balança marca Marte, com precisão de uma casa decimal em grama. A Massa Unitária foi calculada pela média de dois procedimentos para cada tipo de gesso.



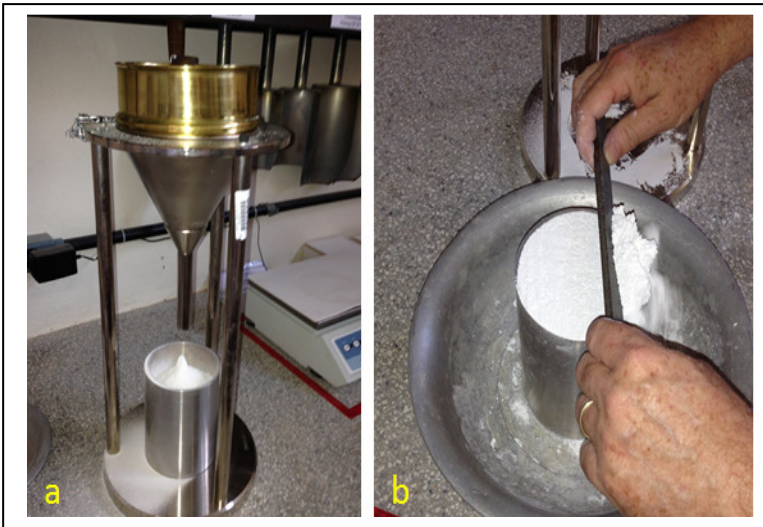


Figura 30 - Ensaio de Massa Unitária

### 3.2.5 Determinação das propriedades físicas da pasta – Consistência normal

Para a determinação das propriedades físicas da pasta foram realizados os ensaios de consistência normal e tempo de início e fim de pega, de acordo com o determinado pela NBR 12.128 (ABNT, 1991b) e NBR 13.207 (ABNT, 1994).

Nos ensaios de determinação de consistência normal foi utilizado o aparelho de Vicat modificado com sonda cônica acoplada na haste móvel, um molde de formato tronco cônico de material não corrosivo (nylon) e não absorvente, uma placa de vidro para base do molde e um cronômetro (Figura 31a). A pasta de gesso é considerada de consistência normal quando for obtida uma penetração de 30 ( $\pm 2$ ) mm do tronco de cone na pasta previamente preparada com um retardador de pega. De acordo com a NBR 12.127, a consistência normal determina o fator água/gesso na qual se obtém uma fluidez da pasta adequada à manipulação.



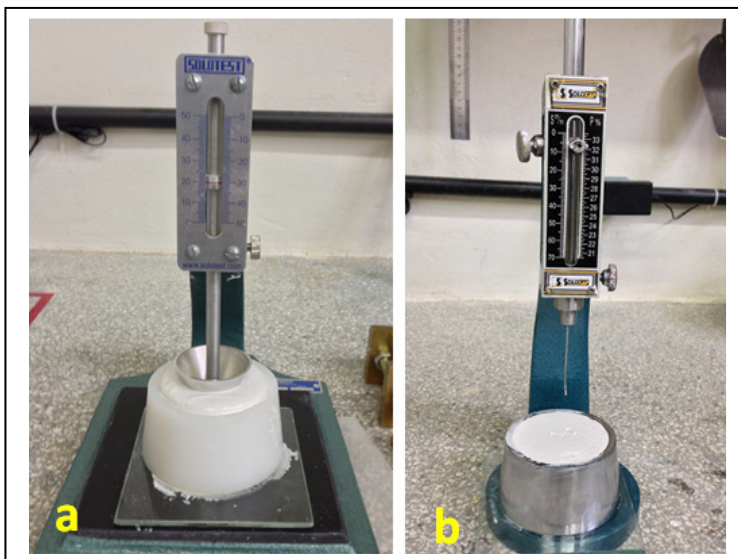


Figura 31 - Aparelho de Vicat modificado (a) para ensaio de consistência normal. Aparelho de Vicat (b) para ensaio de tempo de pega

### 3.2.6 Determinação do tempo de pega

Para os ensaios de determinação de tempos de início e fim de pega foi utilizado o aparelho de Vicat, um molde de formato tronco cônico de material não corrosivo e não absorvente, uma placa de vidro para base do molde e um cronômetro (Figura 31b).

### 3.2.7 Ensaio de Cinética de Temperatura:

A evolução da hidratação das pastas de gesso pode ser analisada por meio de ensaios calorimétricos que fornecem informações sobre o incremento da temperatura ao longo do tempo (SINGH; MIDDENDORF, 2007); (LEWRY; WILLIAMSON, 1994a).

O ensaio para a determinação da cinética de temperatura da pasta de gesso foi realizado com o uso de um recipiente de EPS, pseudoadiabático confeccionado em laboratório (Figura

32), que proporciona um isolamento térmico do material com o ambiente externo. No interior do recipiente foi colocada a pasta de gesso a ser analisada, conectadas por termopares a um datalogger Agilent, modelo 34972A, com 6 canais de leitura e com termopares tipo K (Figura 33). Este equipamento registrou o incremento de temperatura ao longo do tempo para cinco amostras em cada procedimento, sendo que um canal registrou a temperatura ambiente que foi mantida a  $22 (\pm 2)^{\circ}\text{C}$ .

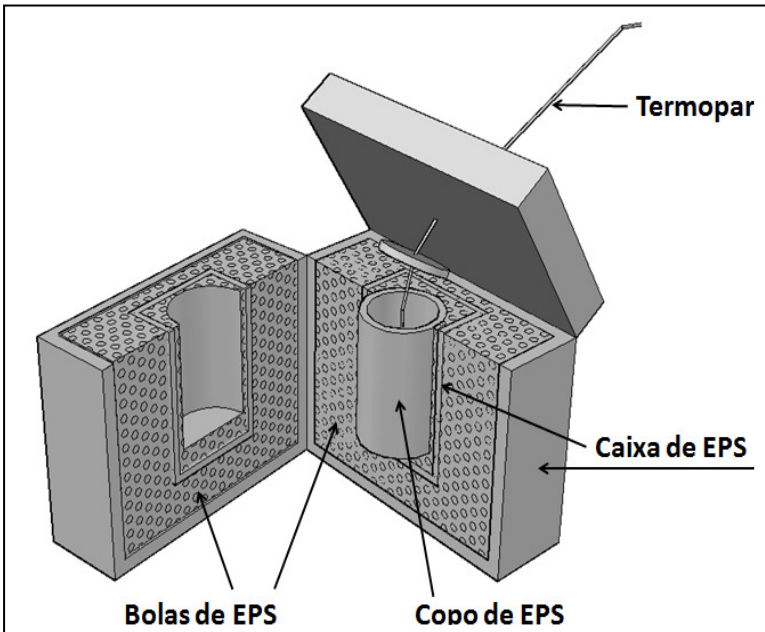


Figura 32 - Recipiente pseudoadiabático

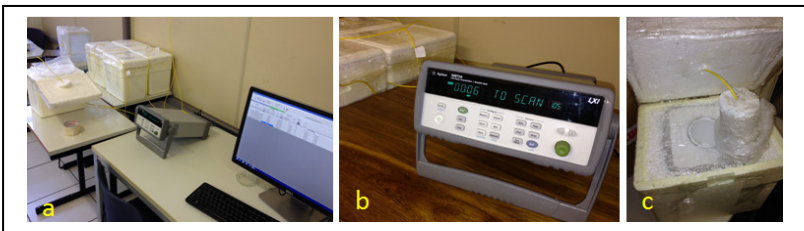


Figura 33 - Sistema de medição da temperatura - Recipiente pseudoadiabático de EPS (c)- Laboratório de Microestrutura do DACC – IFSC

### 3.2.8 Determinação das propriedades mecânicas - Resistência à compressão e dureza

Para a determinação das propriedades mecânicas, foram realizados os ensaios de resistência a compressão e dureza de acordo com a NBR 12.129 (ABNT, 1991c) e NBR 13.207 (ABNT, 1994).

Para os ensaios foi utilizado a Máquina Universal de Ensaio EMIC, com capacidade de carga de até 300 kN, do Laboratório de Materiais e Solos, do Departamento Acadêmico da Construção Civil do IFSC.

Foram confeccionados corpos de prova de 50 x 50 x 50 mm, com o auxílio de moldes de nylon e metálicos (Figura 34 a, b e c).

Os moldes confeccionados em nylon apresentaram maior facilidade de manuseio, pelo menor número de parafusos e maior facilidade de retirada dos corpos de prova, que exigiam um tempo de permanência menor do gesso do que os confeccionados nos moldes metálicos.



Figura 34 - Moldagem dos corpos de prova para ensaios de resistência à compressão e dureza

Após a moldagem, os corpos de prova foram identificados e colocados em bandejas metálicas para secagem em temperatura ambiente no laboratório (Figura 34c e d). Os corpos de prova foram utilizados para os ensaios de dureza e resistência a compressão, nas idades de 3, 7, 28 e 91 dias.

Para cada tipo de gesso reciclado foram moldados 12 corpos de prova, sendo rompidos três a cada idade. Os corpos de prova foram pesados para a determinação da perda de massa com uma balança da marca Bioscale de precisão de duas casas decimais em gramas.

A norma não especifica períodos para o rompimento, determinando que o ensaio seja feito após a constância de massa. . A Figura 35(a) apresenta o ensaio de dureza enquanto a Figura 35(b) mostra o ensaio de resistência à compressão.

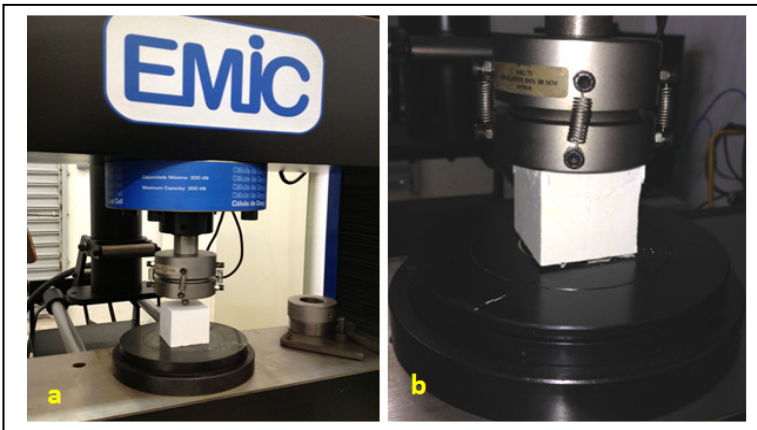


Figura 35 - Ensaio de dureza (a) e Ensaio de resistência à compressão (b)

O valor para a resistência à compressão é dado pela Equação 10, calculada em função da carga de ruptura nos corpos de prova.

$$R = \frac{P}{S} \quad (10)$$

Onde: R = Resistência à compressão, em MPa.

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

S = área da seção transversal de aplicação da carga, em mm<sup>2</sup>.

Para a determinação da dureza foi utilizada a Equação 11, calculada pela profundidade de impressão de uma esfera de aço duro de diâmetro 10,0 mm  $\pm$  0,5 mm, sob uma carga de 50N, aumentada em 2s para 500N por 15s. Após este tempo, a carga foi retirada e medida a profundidade de impressão da esfera nos corpos de prova.

$$D = \frac{F}{\pi \cdot \phi \cdot t} \quad (11)$$

Onde: D = Dureza, em N/mm<sup>2</sup>

F = carga, em N.

$\phi$  = diâmetro da esfera, em mm.

t = média da profundidade, em mm.

### 3.2.9 Ensaio de Resistência à Tração na Flexão:

Para os ensaios de resistência à tração na flexão, foram confeccionados corpos de prova prismáticos de 40 x 40 x 160 mm (Figura 36a) de acordo com a NBR 13.279 (ABNT, 2005), com a utilização da Máquina de Ensaio Universal da EMIC, com capacidade de 300 kN de força e célula de carga para pequenas forças (Figura 36b). Foi utilizado um dispositivo de carga composto por 2 roletes cilíndricos inferiores de apoio ao corpo de prova, espaçados 10 cm e um rolete superior para aplicação de carga vertical, posicionado no eixo dos cilindros inferiores de acordo com o desenho da Figura 37.

Os corpos de prova foram confeccionados em número de 12 para cada tipo de gesso para o rompimento nas idades de 3, 7, 28 e 91 dias. Para cada idade foram rompidos três corpos de prova.



Figura 36 - Moldagem de corpos de prova (a) Rompimento no ensaio de tração na flexão (b).

Para o cálculo da resistência de tração na flexão foi utilizada a Equação 12.

$$R_f = \frac{1,5FtL}{40^3} \quad (12)$$

Onde:  $R_f$  = Resistência à tração na flexão, em MPa.

$Ft$  = carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em N.

$L$  = Distância entre os suportes, em mm.

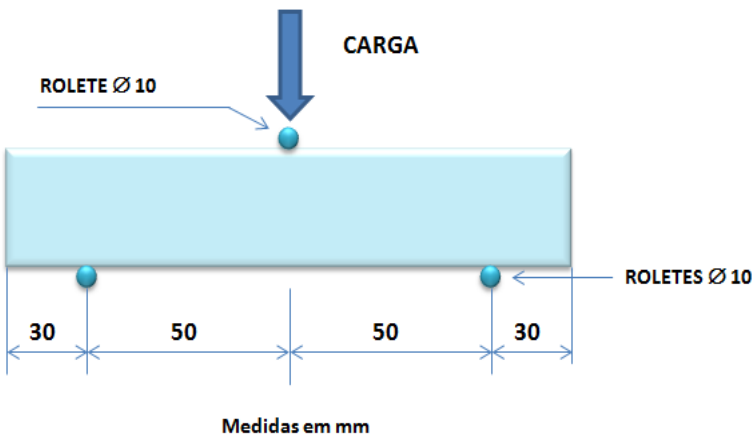


Figura 37 - Esquema do carregamento das amostras prismáticas – ensaio de tração na flexão.

Após a realização dos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração na flexão e determinação da dureza conforme as Normas Brasileiras foram feitos também, os mesmos ensaios de acordo com a Norma Europeia.

A Norma Europeia *Gypsum binders and gypsum plasters. Test methods* EN 13.279-2 (2004), recomenda colocar os corpos de prova para ensaios em ambiente condicionado, com umidade relativa do ar de  $95(\pm 5)\%$ , temperatura de  $20(\pm 5)^\circ\text{C}$  e por um período de 7 dias. Após este período, os corpos de prova devem secar em estufa com temperatura de  $40(\pm 2)^\circ\text{C}$  até a massa constante, verificada após duas pesagens sucessivas, quando então são submetidos aos ensaios.

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração na flexão e dureza de acordo com a EN 13.279-2 (2004), foram confeccionados corpos de prova de  $40 \times 40 \times 160$  mm, com os gessos comercial de referência (GC), reciclados de placa (GP8) e reciclados de revestimento (GR9), escolhidos por apresentarem o melhor resultado nos respectivos ensaios realizados de acordo com as Normas Brasileiras.

Os corpos de prova foram acondicionados em uma caixa de EPS (Figura 38), simulando uma câmara de umidade, com uma lâmina de água de aproximadamente 5 cm e fechada hermeticamente para garantir o teor de umidade determinado. Os corpos de prova foram apoiados em suporte de PVC, de maneira a não ter contato direto com a água.

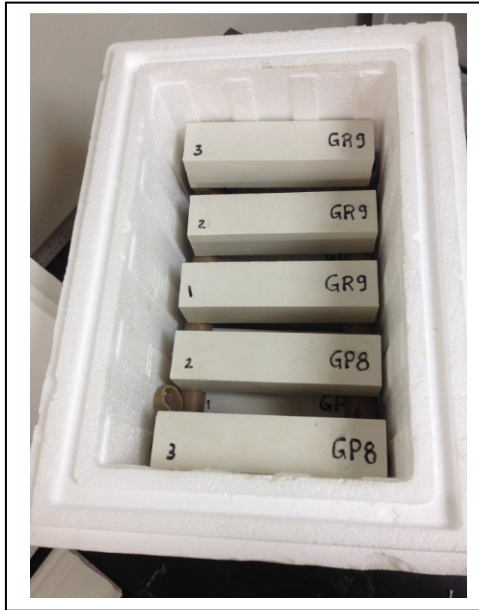


Figura 38 - Caixa de umidade

### 3.2.10 Ensaio de Resistência de Aderência à Tração (Arrancamento)

Para avaliar o desempenho da aderência das pastas de gesso recicladas aplicadas como revestimento interno, foi realizado o ensaio de resistência de aderência à tração, de acordo com o que preconiza a NBR 13.528 (ABNT, 1995), Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração, a NBR 13.529 (ABNT, 1995b), a NBR 13.749 (ABNT, 1996), de Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação e a NBR 13.867 (ABNT, 1997), de Revestimento interno de paredes e tetos com pasta de gesso – Materiais, preparo, aplicação e acabamento.

Foram escolhidos, produzidos (segunda batelada) e testados dois tipos de gesso reciclado que apresentaram os



melhores resultados nos ensaios de resistência a compressão (GP8 e GR9), para o revestimento de blocos cerâmicos estruturais e de blocos de concreto estruturais, comparando-os com blocos revestidos com o gesso de referência comercial (GC).

Para estes ensaios foram revestidos 18 blocos cerâmicos estruturais, sendo 6 revestidos com o GP8, 6 revestidos com o GR9 e 6 revestidos com o GC. Foram revestidos também 18 blocos de concreto estruturais com o número de 6 para cada tipo de gesso adotado (GP8, GR9 e GC), totalizando 36 blocos escolhidos de forma aleatória.

Os blocos previamente umedecidos com o auxílio de uma escova foram revestidos com o uso de espátulas metálicas e de plástico, em camadas sucessivas e perpendiculares entre si, simulando a aplicação realizada em uma parede de área maior, com espessura aproximada de  $3 (\pm 1)$  mm. Para garantir a espessura foi utilizada uma forma gabarito de acordo com a Figura 39 a, b, c e d.

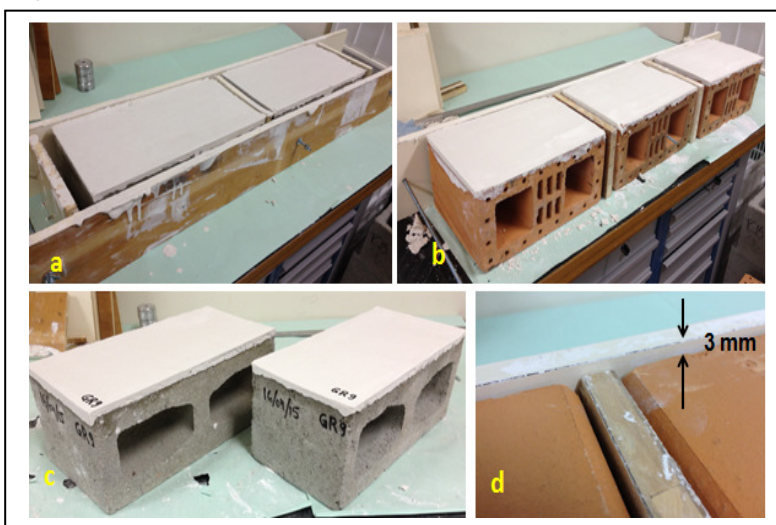


Figura 39 - Revestimento de gesso em blocos de alvenaria estrutural

Após a execução dos revestimentos de gesso, os blocos foram armazenados em prateleiras em uma sala climatizada

( $\pm 23^{\circ}\text{C}$ ) para a secagem. Os blocos foram pesados para a determinação da constância de massa.

Após a secagem das pastas de gesso e pelo menos dois dias antes do ensaio realizado aos 28 dias de idade, foram demarcadas com o auxílio de uma serra copo o local onde foram coladas pastilhas metálicas de diâmetro de 50 mm para serem fixadas no aparelho arrancador Pull of test conforme Figura 40 a, b e c.

Para a execução dos ensaios foi utilizado um equipamento de tração *pulloff*, mecânico, Figura 40 c, com um dispositivo de leitura, onde foi aplicada uma carga de 25 N/s. As pastilhas foram coladas com cola *Araldite® 10minutos*. O cálculo para a determinação da resistência de aderência à tração foi realizado de acordo com a Equação 13:

$$Ra = \frac{P}{A} \quad (13)$$

Onde: Ra = Resistência de aderência à tração, em MPa

P = carga da ruptura, em N

A = área da pastilha, em  $\text{mm}^2$



Figura 40 - Ensaio de resistência de aderência à tração – furação, colagem e arrancamento das pastilhas

Os ensaios para a determinação das propriedades físicas e mecânicas do gesso foram realizados no Laboratório de Materiais e Solos do Departamento Acadêmico de Construção Civil do IFSC e os resultados e discussões são apresentados no Capítulo 4.

### 3.2.11 Avaliação das Placas Lisas de Gesso Para Forros

Para a avaliação das medidas e desempenho das placas lisas de gesso para forro foi utilizada a NBR 12.775 – Placas lisas de gesso para forro – Determinação das dimensões e propriedades físicas (ABNT, 1992).

Para estes ensaios foram produzidas a terceira batelada de gesso reciclado de placas GP8 e de gesso reciclado de revestimento GR9, escolhidos pelo melhor desempenho nos ensaios mecânicos. Os gessos foram armazenados em sacos plásticos de aproximadamente 7 kg e transportados a uma fábrica de placas e componentes para forro, localizada no bairro Vargem Grande em Florianópolis, para a produção das placas de gesso para os ensaios posteriores realizados no Laboratório de Solos e Materiais do IFSC.

A confecção das placas foi realizada por um funcionário da fábrica, de modo a realizar da mesma forma como são confeccionadas as placas produzidas comercialmente. Desta maneira a relação água/gesso foi determinada de forma empírica, acrescentando mais gesso à medida que o funcionário “sentisse” que a pasta estava na consistência adequada para ser lançada na fôrma de silicone.

Os gessos restantes nos sacos foram pesados no Laboratório. A água colocada no recipiente foi calculada antes da colocação do gesso, de maneira a se obter a relação água/gesso produzida em cada placa (Tabela E1 do Apêndice E).

Foram confeccionadas um total de 9 placas, sendo 4 placas de gesso GP8 e 5 do gesso GR9. A sequência de produção das placas está apresentada nas fotos da Figura 41. Observa-se que o instrumento medidor do gesso é um capacete de plástico, utilizado em todas as indústrias visitadas na região da Grande Florianópolis. O gesso foi adicionado a um recipiente

contendo 6,87 a 7,44 litros aproximados de água (Tabela E1 do Apêndice E), onde ficou em repouso por cerca de um a dois minutos. Posteriormente ele foi misturado por aproximadamente um minuto e depositado numa forma de silicone. Em seguida foi baixada a tampa de plástico rígido que dá forma as saliências da estrutura superior das placas. As tampas utilizadas na indústria são de dois tipos. Uma com saliências ortogonais que gera um reforço na parte superior das placas (Figura 41d e e) e outra lisa, sem os reforços na parte superior, que estão substituindo a primeira, sob a alegação de economia de gesso, visto que as com reforço demandam mais gesso nas placas.

Após 5 a 10 minutos, quando o gesso já adquiriu uma consistência dura, a tampa foi levantada e foi realizada uma raspagem com o auxílio de uma espátula do gesso excedente à placa. Passado aproximadamente mais 5 minutos, a placa de gesso foi retirada do molde de silicone e armazenada em baias para a secagem (Figura 41f).



Figura 41 - Produção das placas de gesso reciclado GP8 e GR9

As placas confeccionadas ficaram na Indústria por 19 dias para secagem ao ar livre, quando foram transportadas para o Laboratório para realização dos ensaios na idade de 28 dias.

Os ensaios realizados foram os de dimensões das placas, como lados, diagonais, encaixe macho/fêmea, espessura da região central, espessura e largura do reforço lateral, além da massa específica e resistência à flexão, realizados a partir de corpos de prova retirados das placas, de acordo com o croqui da Figura 42 da NBR 12.775 (ABNT, 1992) e foto da Figura 43a.

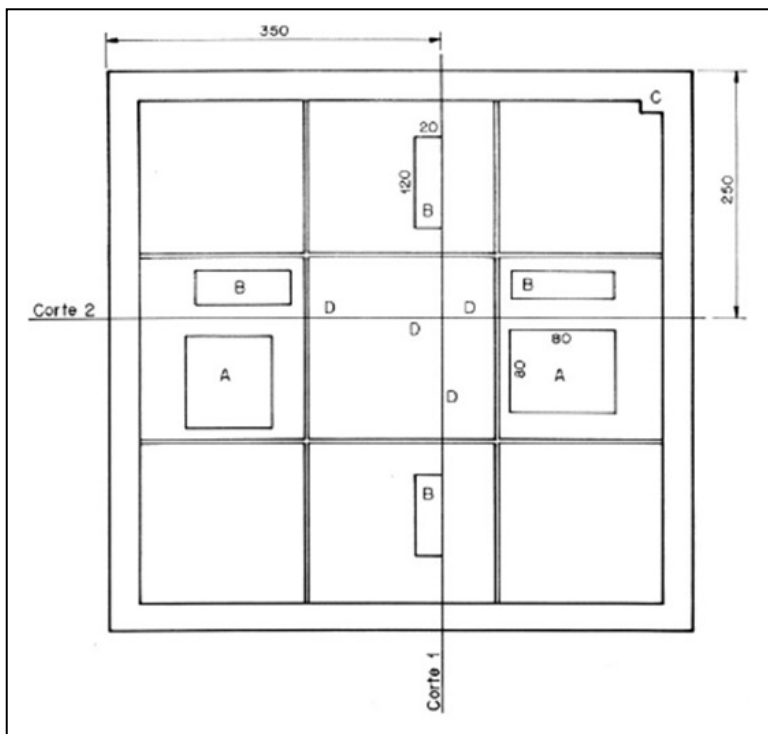


Figura 42 - Croqui para ensaio de placas lisas de forro – NBR 12.775

Os ensaios de flexão foram realizados na Máquina de Ensaio Universal EMIC, do Laboratório de Solos e Materiais do IFSC, com célula de carga de 100 kg e com roletes de apoio com 5 cm de distância, de acordo com a foto da Figura 43b.

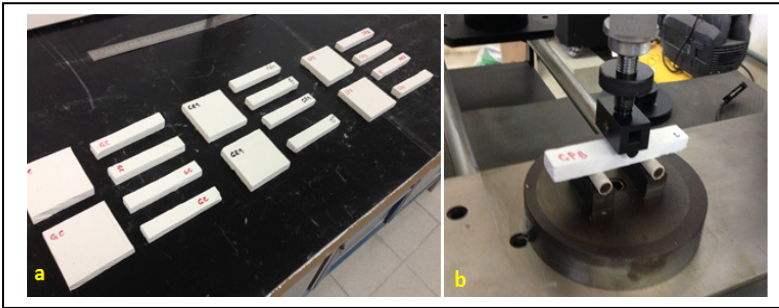


Figura 43 - Moldes (a) Ensaio de flexão (b) – placas de gesso liso

O cálculo para a determinação da resistência à flexão nos moldes retirados das placas é dado pela fórmula da Equação 14:

$$R_f = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (14)$$

Onde:  $R_f$  = Resistência à flexão, em MPa  
 $P$  = carga de ruptura, em N  
 $L$  = distância entre apoios, em mm  
 $b$  = base do corpo de prova, em mm  
 $h$  = altura do corpo de prova, em mm

### 3.2.12 Avaliação de peças de acabamento – molduras

Após a confecção das placas para forro, feitas em uma fábrica localizada no bairro da Vargem Grande, em Florianópolis, foram confeccionados também moldes para acabamento (sancas) das placas de gesso para forro, conforme fotos da Figura 44, utilizando gesso reciclado de placas GP8 e gesso reciclado de revestimento GR9.

O procedimento de execução da pasta de gesso para as peças foi o mesmo indicado para as placas, sendo realizada a mistura de forma empírica, de maneira que o funcionário que executou o serviço “sentisse” a consistência da pasta, assim como ele faz com a mistura do gesso comercial. Ele adiciona gesso gradativamente até a pasta adquirir a consistência própria

para o trabalho, que é menos fluida que o gesso utilizado nas placas..



Figura 44 - Fabricação de peças de acabamento de forro de gesso

Após a mistura, a pasta fica em repouso por cerca de um a dois minutos e em seguida ela é distribuída ao longo de uma mesa de granito, previamente untada com uma mistura de óleo diesel e detergente (Figura 44 b). Quando ela adquire a consistência um pouco mais endurecida, o funcionário desliza uma peça com o perfil a ser executado (Figura 44c e d), passando e completando com a pasta de gesso várias vezes até finalizar o acabamento.

As peças de acabamento ou molduras são confeccionadas em bancadas revestidas com granito para produção de até 10 m de comprimento, sendo cortadas em pedaços de um metro.

Foram confeccionadas duas peças de um metro, sendo uma com o gesso reciclado de placas GP8 e outra com o gesso reciclado de revestimento GR9.



### 3.2.13 Determinação das propriedades químicas – Água livre e de cristalização e teores de cálcio e anidrido sulfúrico:

Para a determinação das propriedades químicas, foram realizados os ensaios de determinação de água livre e de cristalização e teores de cálcio e anidrido sulfúrico, bem como o ensaio de difração de raio X (DRX).

Para a determinação da água livre, da água de cristalização, dos teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico nas diversas amostras do gesso para construção, foram realizados ensaios de acordo com a NBR 12.130 (ABNT, 1991d) e comparados com os valores de referência preconizados pela NBR 13.207 (ABNT, 1994).

Foram escolhidas 7 amostras para estas análises, uma do gesso comercial de referência GC e 6 das que tiveram os melhores resultados nos ensaios de resistência à compressão nas diversas temperaturas de calcinação para os gessos reciclados. Foram analisados o GP3 e GR3 calcinados a 140°C, o GP4 e GR4 calcinados a 170°C e os GP8 e GR9 calcinados a 200°C. Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Físico Química do Departamento Acadêmico de Construção Civil do IFSC (Figura 45).



Figura 45 - Análises químicas – Laboratório de Físico - Química - DACC – IFSC



### 3.2.15 Difração de raios-X

O uso da técnica das análises de difração aos raios X teve por objetivo identificar as fases mineralógicas presentes na amostra comercial e nos gessos reciclados, tomando como escolhas as amostras GP8 e GR9 que alcançaram melhor desempenho na resistência mecânica, de acordo com o exemplo apresentado na Figura 46.

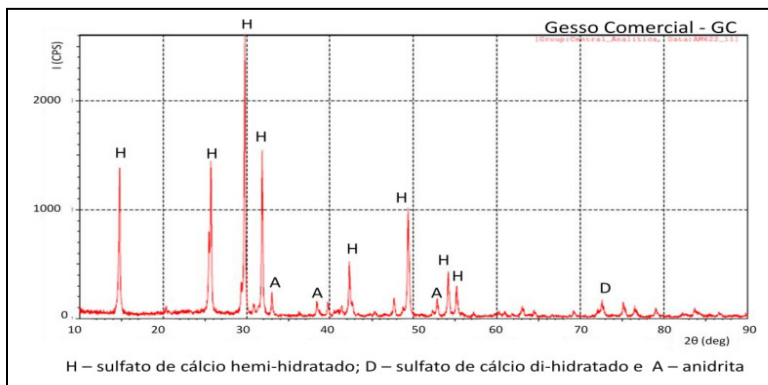


Figura 46 - Difratograma do gesso comercial

Fonte: Pinheiro (2011)

Para os ensaios de Difração de Raios-X, foi utilizado um Difrátômetro do Laboratório de Materiais do PGMAT da UFSC.

### 3.2.16 Análise de Imagens – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Os ensaios de MEV foram realizados no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da UFSC, com o uso do microscópio eletrônico de varredura modelo **JEOL JSM-6390LV** (Figura 47), que permite a observação morfológica do arranjo cristalino das pastas de gesso e do gesso em pó não hidratado, com ampliações de até 10.000x.

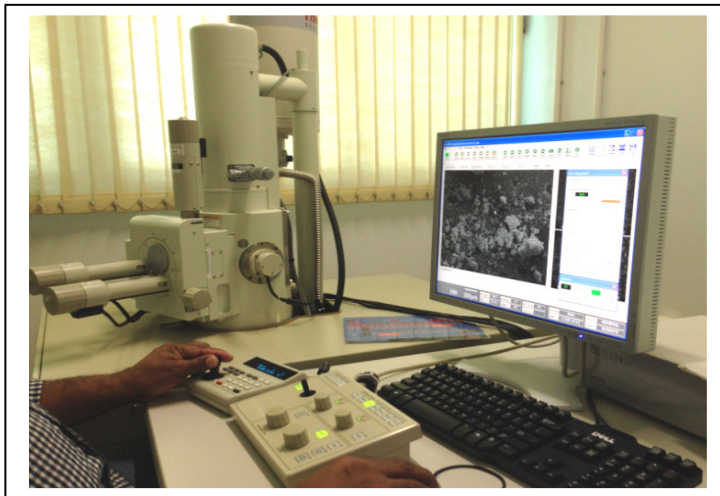


Figura 47 - Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)do **LCME da UFSC**

Foto acervo pessoal

Foram analisadas um total de 10 amostras, sendo 3 de gesso em pó (GC, GP8 e GR9) e sete amostras de gesso em pasta, escolhidas dos gessos reciclados de placas e reciclados de revestimento, que apresentaram os melhores desempenhos no ensaio de resistência à compressão, calcinados nas temperaturas de 140°C, 170°C e 200°C (GP3, GR3, GP4, GR4, GP8 e GR9), comparadas com a amostra de referência, que é o gesso comercial GC.

As amostras de gesso em pó e da pasta de gesso foram colocadas em uma fita dupla face de carbono (Figura 48a) revestidas com uma lâmina de ouro para facilitar a condutividade dos elétrons e colocadas em um recipiente para introduzir no microscópio (Figura 48b).

Os resultados dos ensaios, análise e discussão estão apresentados no Capítulo 4.

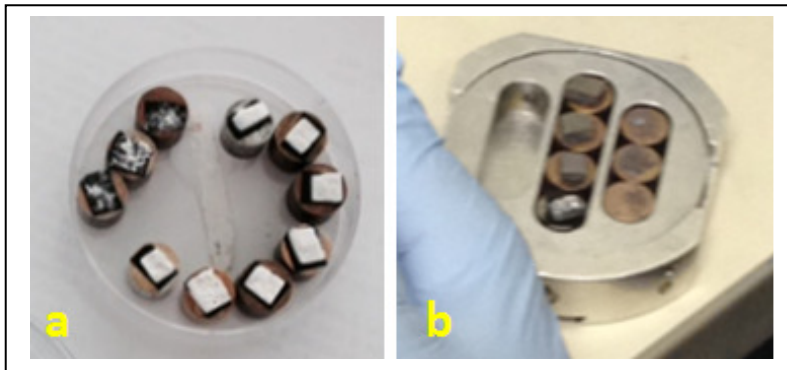


Figura 48 - Amostras para MEV

A tabela 10 apresenta um resumo dos ensaios e procedimentos realizados na pesquisa. Para cada ensaio da determinação das propriedades mecânicas foram realizadas no mínimo três verificações, de forma a garantir a representatividade das amostras recolhidas, comparado com resultados mínimos exigidos, de acordo com a NBR 13.207 (ABNT, 1994).

Os ambientes onde foram executados os ensaios possuíam equipamentos para controle de temperatura e umidade relativa do ar.

Os dados foram tratados de forma estatística, de maneira a se verificar as correlações existentes entre os parâmetros de resistência, tempo de pega, temperatura de calcinação, etc, obtidos com os diferentes tipos de gesso reciclado (em função do tempo e temperatura de calcinação) comparando com o gesso comercial de referência (não reciclado).



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentadas as análises dos resultados obtidos nos ensaios propostos para análise das propriedades físicas, mecânicas e químicas do gesso reciclado de placas para forro e gesso reciclado de revestimento, comparando com o gesso comercial de referência, à luz da revisão bibliográfica, apresentados da seguinte forma.

### 4.1. Propriedades Químicas e Mineralógicas

A Tabela 9 apresenta as características químicas dos gessos analisados, com relação a determinação de percentuais de água livre, água de cristalização, óxido de cálcio (CaO) e anidrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>).

Os gessos analisados foram os que apresentaram o melhor resultado nas temperaturas de 140°C, 170°C e 200°C nos ensaios de resistência à compressão. Foram selecionados GP3, GR3, GP4, GR4, GP8, GR9 e o gesso comercial GC, comparando com os valores de referência da NBR 13.207 – Gesso para Construção Civil – Especificação (ABNT, 1994).

Tabela 9– Características químicas dos gessos

Características Químicas dos Gessos Estudados (%)								
Determinações Químicas	GP3	GR3	GP4	GR4	GP8	GR9	GC	Valor de Referência NBR 13.207 (%)
Água Livre	1,41	1,61	0,59	0,48	0,72	0,34	1,74	Máx. 1,3
Água de Cristalização	0,61	0,1	6,14	6,53	5,42	6,33	4,83	4,2 a 6,2
Óxido de Cálcio (CaO)	48,1	69,6	75,3	65,4	41	66,2	67,2	Mín. 38,0
Anidrido Sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	51,4	45,5	46,5	46,4	49,7	51	50	Min. 53,0

Os valores de água livre, de água de cristalização e anidrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>) estão próximos dos valores de referência determinados pela NBR 13.207 para os gessos GP4, GR4, GP8, GR9 e GC. Os valores de óxido de cálcio (CaO) também atendem o preconizado pelos valores de referência. De acordo com a Tabela 4 de composição teórica dos sulfatos, a relação CaO/SO<sub>3</sub> deve ser igual ou próximo a 0,7. Quando este valor ultrapassa 0,7 indica que há um

excesso de CaO no gesso (JOHN; CINCOTO, 2010). O óxido de cálcio reage rapidamente em presença de umidade. Para todos os gessos analisados houve excesso de CaO.

#### 4.2. Difração de raio-X – DRX

Na figura 49 são apresentados o difratograma do gesso comercial (GC), os difratogramas dos gessos hidratados residuais de placas (GP) e de revestimentos (GR), antes do processo de calcinação e os difratogramas dos gessos reciclados calcinados à 200°C por 2 h (GP8) e à 200°C por 4 horas (GR9).

Pode se observar que os componentes presentes no gesso comercial são os mesmos presentes nos gessos residuais de placa e de revestimento. Foram identificados picos característicos de bassanita, identificado pela letra B, que é o composto mineral do hemi-hidrato de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ), bem como picos característicos de gipsita, que é o di-hidrato de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), identificado pela letra G.

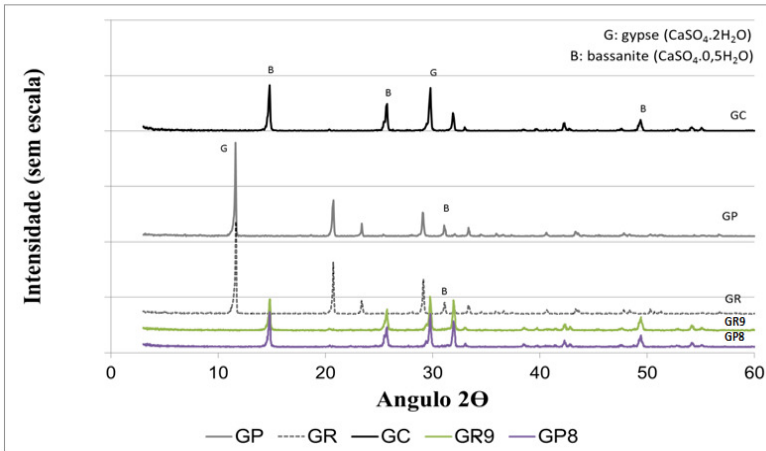


Figura 49 - Difração de raio-X do GC, GP e GR

A presença de gipsita no gesso comercial indica uma percentagem de material não calcinado, pois em algumas

regiões do forno a temperatura não atinge o valor necessário para a transformação do di-hidrato em hemi-hidrato (BARDELLA, 2011).

Os gessos residuais de placa e revestimento apresentam a presença de picos mais intensos de di-hidrato de sulfato de cálcio (gipsita), fato que indica uma composição mineralógica idêntica, com maior presença de di-hidrato.

O difratograma dos gessos reciclados GP8 e GR9, apresentam conformação semelhante, indicando pouca variabilidade de componentes com a predominância de Bassanita, e pouca incidência de di-hidratos de sulfato de cálcio, caracterizando uma calcinação adequada.

#### 4.3. Propriedades Físicas do Pó de Gesso

No processo de calcinação foram realizadas bateladas de 6 bandejas para cada tipo de gesso, conforme o descrito no item 3.2.2 do capítulo 3. O gesso produzido apresentou uma perda de massa na calcinação conforme Tabela 10.

Tabela 10– Perda de Massa do Resíduo de Gesso na Etapa de Calcinação

Temperatura de calcinação	Tempo de calcinação	Gesso	Gesso para calcinar	Gesso Calcinado	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	Gesso	Gesso para calcinar	Gesso Calcinado	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
140°C	1h	GP1	6300,6	5559,4	741,2	11,76	GR1	7545,5	6778,7	766,8	10,16
140°C	2h	GP2	6300,6	5254,8	1045,8	16,60	GR2	7443,0	6370,4	1072,6	14,41
140°C	4h	GP3	6300,6	5116,8	1183,8	18,79	GR3	7509,4	6171,5	1337,9	17,82
170°C	1h	GP4	6300,6	5102,0	1198,6	19,02	GR4	7464,7	6104,8	1359,9	18,22
170°C	2h	GP5	6300,6	5086,5	1214,1	19,27	GR5	7548,0	6165,5	1382,5	18,32
170°C	4h	GP6	6300,6	5133,5	1167,1	18,52	GR6	7478,1	6132,7	1345,4	17,99
200°C	1h	GP7	6300,0	5069,1	1230,9	19,54	GR7	7456,3	6027,0	1429,3	19,17
200°C	2h	GP8	6300,0	5057,4	1242,6	19,72	GR8	7456,3	6024,1	1432,2	19,21
200°C	4h	GP9	5936,2	4717,5	1218,7	20,53	GR9	7457,0	5945,1	1511,9	20,27



Os gessos GP7, GP8, e GP9, bem como os gessos GR7, GR8 e GR9 apresentam perda de massa maior em relação aos demais, o que pode ser explicado pela maior temperatura de calcinação (200 °C). O tempo de permanência na estufa também aumenta a perda de massa. O gesso que ficou 4 horas (GP3, GP9, GR3 e GR9) perdeu mais massa dos que ficaram 1 ou 2 horas. A exceção acontece no GP6 e GR6, fato que pode ser explicado pelo tempo de permanência na estufa antes da sua retirada. Os gessos GP6 e GR6 ficaram pouco mais de 24 horas na estufa, o que pode ter contribuído com o processo de estabilização que é a etapa de fabricação na qual o gesso fica armazenado em ambiente com atmosfera de 80% de umidade relativa do ar após 12 horas ocorre a hidratação da anidrita III (anidrita solúvel) transformando-a em hemi-hidrato (JOHN; CINCOTO, 2010). É possível que este tempo de armazenagem a mais e com o desligamento do ar condicionado e desumificador do ambiente neste período, tenha contribuído para esta perda de massa menor e consequente hidratação da anidrita III.

Após o processo de calcinação foram realizados os ensaios para a determinação das propriedades físicas do pó de gesso reciclado e do pó de gesso comercial. Os resultados para a massa unitária (MU) e para o módulo de finura (MF) são apresentados na Tabela 11. Os gessos receberam a nomenclatura de acordo com o apresentado na Tabela 7 do item 3.2 do Capítulo 3.

Tabela 11– Massa Unitária e Módulo de Finura dos Gessos Reciclados e Comercial

Gesso	Temperatura Tempo de Calcinação	MU (Kg/m <sup>3</sup> )	MF	Gesso	MU (Kg/m <sup>3</sup> )	MF
GC		703,12	0,625			
GP1	140 °C - 1h			GR1		
GP2	140 °C - 2h	265,40		GR2		
GP3	140 °C - 4h	242,00		GR3	399,20	
GP4	170 °C - 1h	255,80		GR4	403,40	
GP5	170 °C - 2h	237,00		GR5	371,40	
GP6	170 °C - 4h	253,50		GR6	386,34	
GP7	200 °C - 1h	244,88		GR7	368,59	
GP8	200 °C - 2h	253,11	0,325	GR8	391,87	
GP9	200 °C - 4h	253,66		GR9	389,37	0,775

Para os gessos GP1, GR1 e GR2 não foram realizados o ensaio de massa unitária. Na confecção dos corpos de prova para os ensaios de resistência à compressão e dureza, os gessos reagiram rapidamente em contato com a água, impedindo a confecção dos corpos de prova em tempo hábil. Este fato ocorreu, por um tempo de permanência pequeno, associado a baixa temperatura de calcinação., não produzindo hemi-hidratos suficientes para completar a ligação entre os cristais.

Os gessos reciclados de placas (GP) apresentaram valores de massa unitária que variavam de 237,00 Kg/m<sup>3</sup> (GP5) a 265,40 Kg/m<sup>3</sup> (GP2), enquanto os gessos reciclados de revestimento (GR) tiveram valores de massa unitária entre 368,59 Kg/m<sup>3</sup> para o GR6 e 403,40 Kg/m<sup>3</sup> para o GR4. Estes valores são menores do que os de massa unitária obtidos pelo gesso comercial que foi de 703,12 Kg/m<sup>3</sup> e menor também que o preconizado pela Norma Brasileira que indica uma massa unitária maior que 700 Kg/m<sup>3</sup>. Este fato associado ao módulo de finura produzirá um gesso mais leve, com maior volume de vazios e por consequência menor resistência, conforme visto adiante.

De acordo com a literatura, observa-se ser comum a massa unitária do gesso reciclado resultar menor que o do gesso comercial, (SAVI *et al.*, 2013), (BARDELLA, 2011) e (PINHEIRO, 2011). O fato dos resultados apresentarem números tão baixos, pode ser explicado por ter sido usado uma malha de peneira menor que 2mm de diâmetro no triturador de forragem TRAPPY, usado para moagem dos resíduos de gesso, o que produziu partículas pequenas que se formaram em grumos (Figura 50 a, b e c). As partículas pequenas produzem uma força eletrostática que se repelem, fato observado no processo de peneiramento e na lupa estereoscópica Zeis, com ampliação de 50 vezes.



Figura 50 - Pó de gesso reciclado

Embora não haja uma diferença significativa (ver estatística no Apêndice A-1) entre a perda de massa dos gessos reciclados de placas (GPs) e dos gessos reciclados de revestimentos (GRs) no processo de calcinação (Tabela 10), observa-se que os gessos reciclados de placa tiveram uma perda de massa maior para todos os tempos e temperaturas.

Os gessos reciclados de revestimento (GR) apresentaram valores de massa unitária 54,45% maior que o do gesso reciclado de placas (GP). Isto pode ser explicado pela diferença de composição química dos gessos reciclados de revestimento que apresentam outros componentes como Carbonato de Cálcio e de Magnésio, argila e sais solúveis além do grau de impureza menor que 2%, conforme apresentado na Figura 51, que mostra os componentes descritos no saco de gesso de revestimento. Estes componentes atuam como retardadores de pega e diminuem a velocidade de dissolução do hemidrato, pela introdução de

outros íons na solução, afetando a solubilidade dos íons cálcio e sulfato, retardando a saturação da solução (JOHN; CINCOTO, 2010).

A estes fatores somam-se as impurezas provenientes do contato do gesso com a alvenaria de blocos de concreto, que carregam junto partículas das argamassas de assentamento dos tijolos. Por mais que o plástico utilizado para forrar o chão, quando do recolhimento, proteja os resíduos de gesso que caem na aplicação do revestimento, o caminhar por cima do gesso contamina-os mais do que os gessos de placa, que são recolhidos aos pedaços. Nos sacos de gesso de fundição observados na fábrica de placas não havia informação de outros elementos químicos, além do hemi-hidrato de sulfato de cálcio.

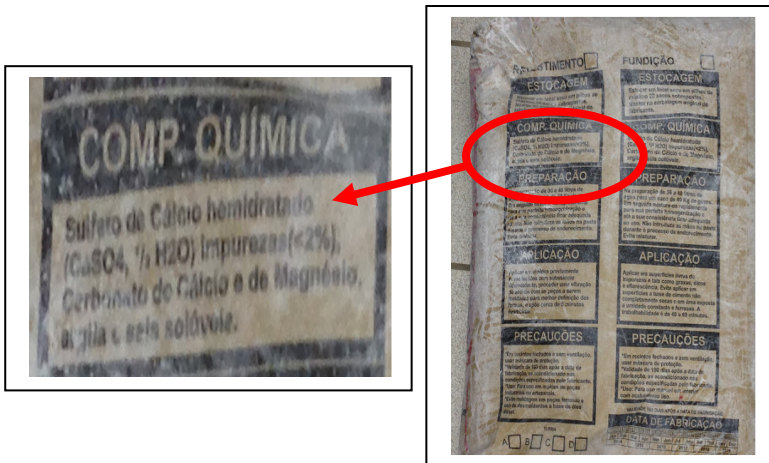


Figura 51 - Composição Química do gesso comercial indicada na embalagem

A determinação do módulo de finura MF foi realizada com o uso de um Granulômetro a Laser, de acordo com o descrito no item 3.2.1 do Capítulo 3. Considerando que o processo de moagem dos gessos a reciclar foram os mesmos para todos os tipos de gesso produzidos, realizaram-se apenas ensaios nos gessos reciclados de placas GP8 e gessos reciclados de revestimentos GR9, que tiveram os

melhores resultados de resistência à compressão, comparados com o gesso comercial de referência GC.

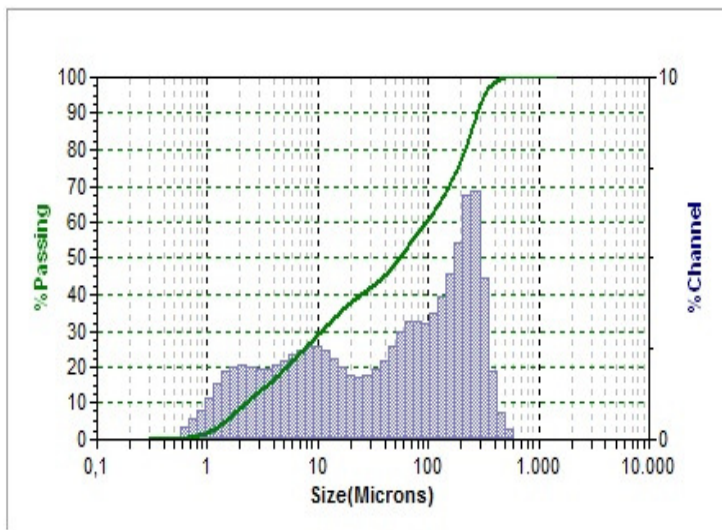


Figura 52 - Curva granulométrica – GC–MF = 0,625

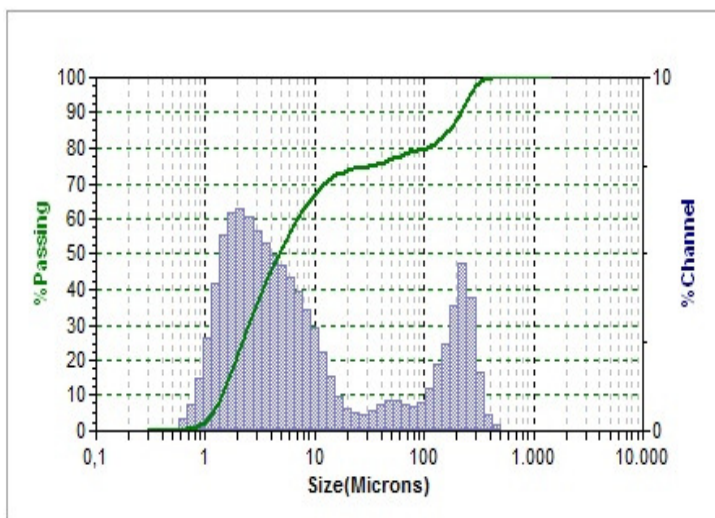


Figura 53 - Curva granulométrica – GP8– MF = 0,325

Os resultados do módulo de finura, calculados de acordo com a NBR 12.127 e demonstrados no item 3.2.3 do capítulo anterior, estão apresentados na Tabela 11 e as figuras das curvas granulométricas (Figura 52 a Figura 54), apresentam o percentual de massa correspondente aos diversos tamanhos de partículas de gesso analisada.

Observa-se no GP8 um percentual de finos maior que GC e GR9. Isto explica o resultado da massa unitária menor para o GP8 em relação ao gesso comercial de referência GC e também ao gesso reciclado de revestimento GR9, e esta de acordo com o apresentado por Saviet *al* (2013), para gessos  $\beta$  reciclados de construção civil.

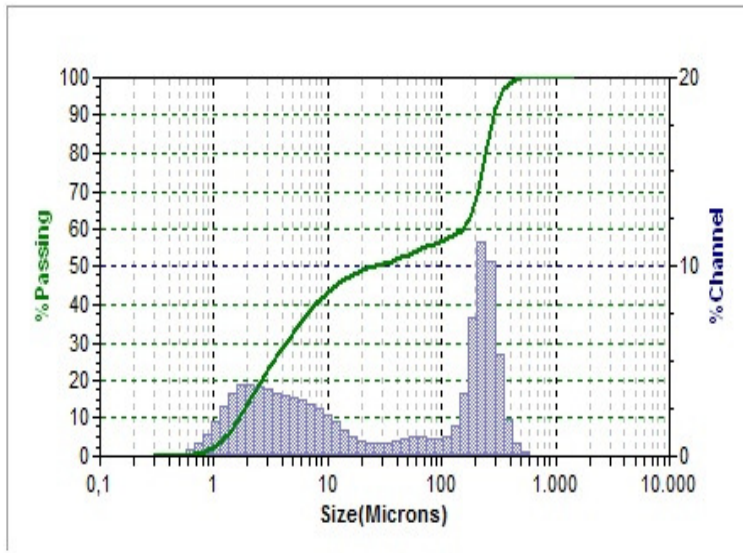


Figura 54 - Curva granulométrica GR9– MF = 0,775

As três amostras analisadas (GC, GP8 e GR9), apresentaram módulo de finura (MF) GC=0,625, GP8=0,325 e GR9=0,775 compatível com o gesso fino de revestimento e o com o gesso fino de fundição, de acordo com o preconizado pela NBR 13.207 (1994) que determina valores menores que 1,10 para o módulo de finura (MF).

Porém de acordo com Guan *et al.* (2010) as faixas granulométricas entre 20 e 50  $\mu\text{m}$  e entre 90 a 140  $\mu\text{m}$  apresentam um efeito positivo maior na resistência à compressão do que a faixa de 0 a 20  $\mu\text{m}$ . De acordo com o gráfico das curvas granulométricas de GP8 (Figura 49) e GR9 (Figura 50) a faixa entre 20 e 50  $\mu\text{m}$  e entre 90 a 140  $\mu\text{m}$  é a que tem menor quantidade de grãos. Observa-se também um percentual maior de finos para o GP8 em relação ao GR9. A correção da distribuição granulométrica no processo de moagem é importante para obtenção de ganho de resistência nas pastas de gesso reciclado, buscando-se aumentar a produção de partículas na faixa entre 20 e 140  $\mu\text{m}$ .

#### 4.4. Propriedades Físicas das Pastas de Gesso

Para a determinação das propriedades físicas das pastas de gesso foram realizados os ensaios de consistência normal, que permite determinar a relação água/gesso na qual se obtém uma fluidez da pasta adequada à manipulação (ABNT, 1991b), os ensaios de tempo de início e tempo de fim de pega, permitem verificar o período do acréscimo brusco das reações químicas até o momento do endurecimento da pasta de gesso. Também foi realizado o ensaio para determinar o calor de hidratação do gesso.

Os resultados dos ensaios de consistência normal e os tempos de início e fim de pega estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Tempo de Início e Fim de Pega dos Gessos Reciclados e Comercial

Gesso	A/G*	Início de Pega (min:seg)	Fim de pega (min:seg)	Gesso	A/G*	Início de Pega (min:seg)	Fim de pega (min:seg)
GC	0,75	20:23,7	30:31,1				
	0,75	19:14,2	29:00,1				
GP1	1,15	Reagiu muito rápido		GR1	1	Reagiu muito rápido	
	1,15	Reagiu muito rápido			1	Reagiu muito rápido	
GP2	1,15	11:01,8	19:30,9	GR2	1	03:49,1	09:06,3
	1,15	11:49,9	19:48,8		1	03:23,6	08:46,7
GP3	1,15	18:31,9	27:54,3	GR3	1	18:36,4	29:36,9
	1,15	19:08,7	27:38,8		1	20:01,9	30:56,0
GP4	1,15	23:42,3	32:29,0	GR4	1	18:46,3	27:15,2
	1,15	20:06,0	29:38,0		1	16:19,2	24:23,2
GP5	1,15	24:50,3	34:29,0	GR5	1	21:25,8	30:40,8
	1,15	23:10,2	31:59,9		1	21:39,4	30:51,6
GP6	1,15	25:01,9	34:30,3	GR6	1	27:57,7	39:43,8
	1,15	24:03,7	31:03,0		1		
GP7	1,15	27:22,1	39:07,2	GR7	1	31:25,2	53:36,2
	1,15	25:32,3	36:30,2		1		
GP8	1,15	30:31,9	46:02,0	GR8	1	18:10,0	30:57,2
	1,15	28:47,2	43:20,0		1	17:16,0	27:41,1
GP9	1,15	23:17,0	36:13,5	GR9	1	26:48,6	41:42,6
	1,15	25:31,3	35:15,0		1	25:02,0	39:30,5

\*Fator Água/Gesso definido pelo ensaio de Consistência Normal



Os módulos de finura e massa unitária (Tabela 11) de valores baixos indicam que foi produzido um produto muito fino que necessita muita água para adquirir uma plasticidade ou consistência que permitam uma boa manipulação da pasta de gesso. Isto pode ser observado no resultado de consistência normal realizado com o aparelho de Vicat modificado. Para o gesso reciclado de placa GP1 a GP9 a relação água/gesso (A/G) foi de 1,15 e para o gesso reciclado de revestimento GR1 a GR9 a relação A/G ficou em 1. Os valores da consistência normal para o gesso comercial foram de 0,75 para a relação A/G. A relação A/G igual a 1 dos GR1 a GR9 estão de acordo com o indicado pelo fabricante de gesso de revestimento que indica o uso de 36 a 40 litros de água por saco de gesso de 40 kg.

Os tempos de início e fim de pega foram maiores, quanto maior foi o tempo de calcinação. Isto pode ser observado quando se compara os tempos de GP2 e GP3 ou GR2 e GR3 que foram calcinados a 140°C ao tempo de 2 e 4 horas respectivamente. A mesma observação pode ser feita para os gessos calcinados a 170°C, que foram os GP4, GP5 e GP6 ou GR4, GR5 e GR6. O tempo de início e fim de pega do GP6 de 25 a 34 minutos embora maior que os do GP4 e GP5, apresentaram valores muito próximos entre si, variando de 20 a 25 minutos para o início de pega, até 29 a 35 minutos para o fim de pega. Os gessos calcinados a 200°C, os GP7, GP8 e GP9 ou GR8 e GR9 também apresentaram tempo de início e fim de pega maior para os tempos de calcinação maior.

Os gessos GP1 e GR1 calcinados a temperatura de 140°C por um período de 1 hora reagiram imediatamente, não permitindo o tempo de espera para a mistura e não sendo possível sua colocação no molde do aparelho de Vicat para o ensaio de tempo de pega. O gesso de revestimento GR2 foi misturado antes do tempo de repouso (2min) exigido por norma, para que pudesse ser medido os tempos de início e fim de pega, que resultaram de 3:30 min à 9:00 min respectivamente.

Com exceção dos gessos GP1, GP2, GR1 e GR2 todos os demais tipos de gesso reciclados de placas (GPs) ou

revestimento (GRs), assim como o gesso comercial analisado, atendem ao preconizado na NBR 13.207 de acordo com a Tabela 2.7 do Capítulo 2 para o gesso de fundição que indicam tempos de início de pega de 4 a 10 minutos e tempos de fim de pega de 20 a 40 minutos tanto para os gessos finos como para os grossos.

Os gessos GP8, com tempos de início de pega de 30':31" e fim de pega 46':02" e os gessos GR7 com os tempos de 31':25" e 53':36" para os tempos de início e fim de pega respectivamente atendem também o tempo preconizado pela NBR 13.207 (ABNT, 1994) para os gessos de revestimento.

O gesso comercial GC apresentou valores de 20 a 30 minutos para os tempos de início e fim de pega respectivamente. Embora o gesso comercial (GC) utilizado tenha a especificação de gesso de revestimento, ele também não atendeu ao tempo especificado na norma para gesso de revestimento, que é maior que 20 minutos para o início de pega e maior que 45 minutos para o fim de pega. Este fato indica a necessidade do uso de retardador de pega para aumentar o tempo útil de manuseio da massa de gesso. Henao e Cincotto (1997) estudaram o uso de vários aditivos retardadores, que retardam o tempo de pega do gesso em uma hora, indicando uma concentração de 0,03% para o ácido cítrico. Nas obras onde foram recolhidos os resíduos de gesso de revestimento (GR) a serem reciclados, foi usado o ácido cítrico anidro adicionado pelos profissionais aplicadores do revestimento.

#### 4.5. Calorimetria

Os ensaios de Calorimetria permitem determinar a variação da temperatura da pasta de gesso ao longo do tempo no processo de hidratação.

Para os ensaios de calor de hidratação foram usados os equipamentos descritos no item 3.2.7 do Capítulo 3. Os termopares só foram colocados após a mistura das pastas, seguindo o procedimento previsto na norma para a confecção

da pasta de gesso. Depois de pesado a água e o gesso, para manter-se as relações a/g determinadas, pulveriza-se o gesso sobre a água durante um minuto, deixando em repouso por dois minutos e mistura-se por mais um minuto, coloca-se a pasta no recipiente pseudoadiabático e em seguida é colocado o termopar, fechando o recipiente. Este tempo até a colocação do termopar é de aproximadamente 5 minutos.

Para a observação do que ocorre no período logo após a colocação do gesso na água até o quarto minuto, foi utilizado um termômetro de raio infravermelho, modelo SCANTEMP da Incoterm, que permite verificar a temperatura superficial da mistura água/gesso. Foram observados picos de temperatura a partir do segundo minuto em pontos distintos da superfície, que variaram de 36°C a 80,9°C até próximo do final do terceiro minuto (Figura 55). A partir do quarto minuto as temperaturas baixavam à medida que a água envolvia a superfície das partículas do gesso, atingindo temperaturas entre 30°C e 33°C aproximadamente e só tornando a aumentar próximo ao vigésimo minuto para a maioria dos gessos analisados e de acordo com as curvas de calor de hidratação apresentadas nos gráficos das Figuras 56 à Figura 63.

Estes picos de temperatura podem se explicados pela presença de Anidrita III (solúvel), que reage rapidamente em presença da água, transformando-a em hemi-hidrato de sulfato de cálcio (MAKSOUUD; ASHOUR, 1981); (JOHN; GINCOTO, 2010).



Figura 55 - Medição da temperatura superficial da pasta de gesso no período de descanso. Acervo pessoal

As curvas do calor de hidratação das pastas de gesso analisadas estão representadas nas Figuras 56 à Figura 63. Junto com as figuras das curvas de hidratação foram colocadas retas verticais indicativas dos tempos de início e fim de pega determinadas com o uso do aparelho de Vicat. O momento em que a curva inicia o aumento de temperatura indica o início de pega, que é determinado pelo aumento brusco das reações de hidratação, transformando o hemi-hidrato de sulfato de cálcio em di-hidrato de sulfato de cálcio, quando acontece o processo de cristalização do gesso pela incorporação da água na sua estrutura (JOHN; CINCOTO, 2010). Da mesma forma quando a pasta de gesso atinge o pico máximo de temperatura, indica o fim de pega, quando a maior parte da pasta já formou o arranjo cristalino, continuando as reações por mais algumas horas.

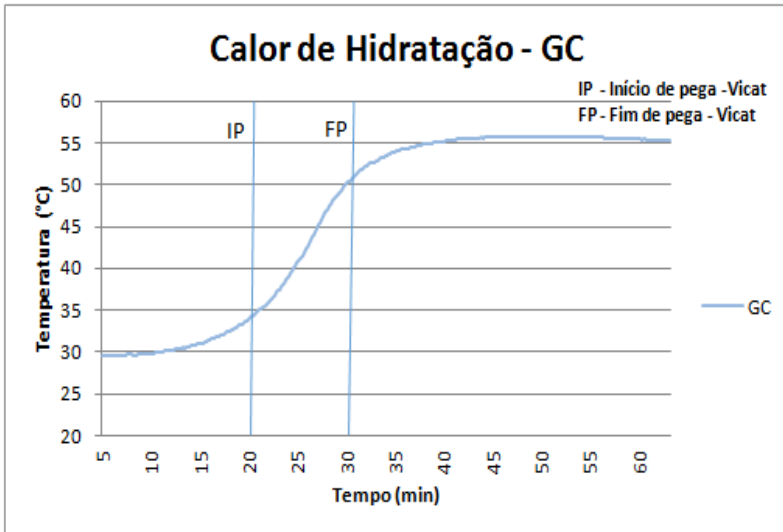


Figura 56 - Curva de Evolução de Temperatura – GC – Relação A/G = 0,75

Na maioria dos casos, este aumento da temperatura coincide com o início do tempo de pega do gesso medido pelo aparelho de Vicat. Este fato ocorre para os gessos GC, GP3 a GP8 e GR3 a GR8. Isto pode ser observado nos gráficos de calor de hidratação apresentado nas Figura 57 à Figura 64.

Da mesma forma, o fim de pega ocorre pouco antes da pasta de gesso atingir o pico máximo de temperatura.

O gesso comercial atingiu o maior pico de temperatura (55,8°C) quando comparado com os gessos reciclados GPs e GRs. Os gessos reciclados de revestimento (GRs) alcançaram temperaturas maiores do que os gessos reciclados de placas (GPs) para a maioria das amostras, quando comparadas o mesmo tempo e a mesma temperatura de calcinação. A exceção ocorre para os gessos GR3 e GR5 que apresentaram temperaturas máximas de hidratação menores que os gessos GP3 e GP5 respectivamente.

O gesso comercial de referência (GC), que atingiu a maior temperatura no processo de hidratação da pasta (Figura 56), também atingiu o maior valor no ensaio de

resistência à compressão, de acordo com a tabela 4.4 e os gráficos das Figuras 70 a 72.

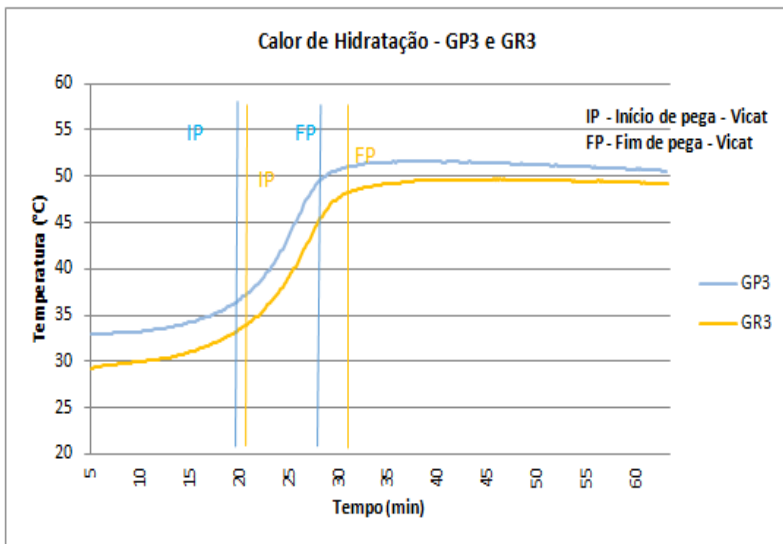


Figura 57 - Curvas de Evolução de Temperatura– GP3 e GR3  
 –GP3– Relação A/G = 1,15  
 – GR3 – Relação A/G = 1

Os gessos de placas produzidos com uma relação a/g maior foram os que produziram as menores temperaturas no processo de hidratação, para a maioria dos pares analisados, calcinados em um mesmo tempo e temperatura. Estes resultados estão de acordo com a literatura, que diz que o aumento da relação a/g reduz a atividade cinética das reações de hidratação pela menor concentração de íons de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , retarda a formação de centros de nucleação e fechamento da estrutura dos cristais e conseqüentemente aumenta o tempo de início e fim de pega (KARNI; KARNI, 1995), (LEWRY; WILLIAMSON, 1994a) e (SINGH; MIDDENDORF, 2007) conforme pode ser observado na Tabela 14.

Podem ser observados que os gessos reciclados de placas e de revestimento que atingiram temperaturas maiores no processo de hidratação da pasta também foram os gessos que tiveram os maiores valores nos ensaios de resistência à

compressão. Isto pode ser observado para os GR4, GR6, GR8 e GR9 (gráficos das Figuras 58, Figura 60, Figura 62 e Figura 63) comparando com os gráficos da Figura 67 a Figura 69).

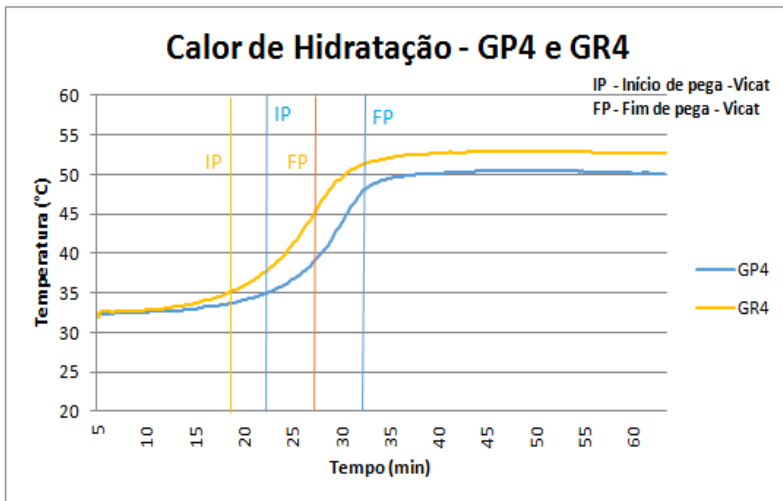


Figura 58 - Curvas de Evolução de Temperatura – GP4 e GR4  
– GP4 – Relação A/G = 1,15 – GR4 – Relação A/G = 1

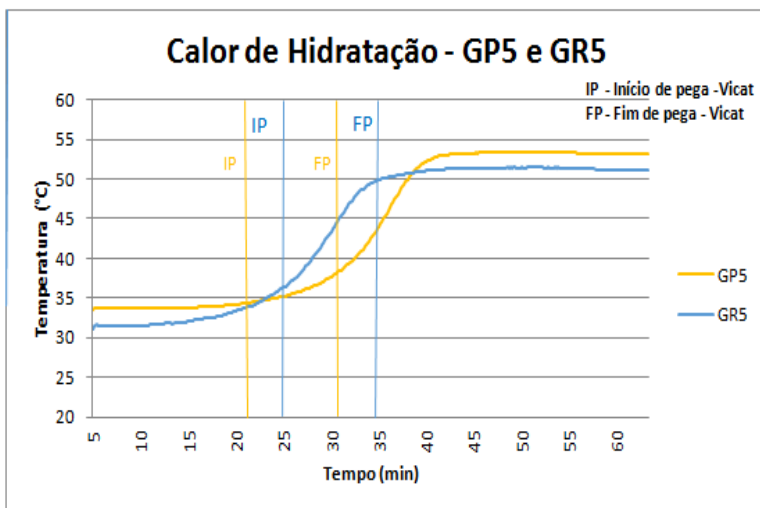


Figura 59 - Curvas de Evolução de Temperatura – GP5 e GR5  
– GP5 – Relação A/G = 1,15 – GR5 – Relação A/G = 1

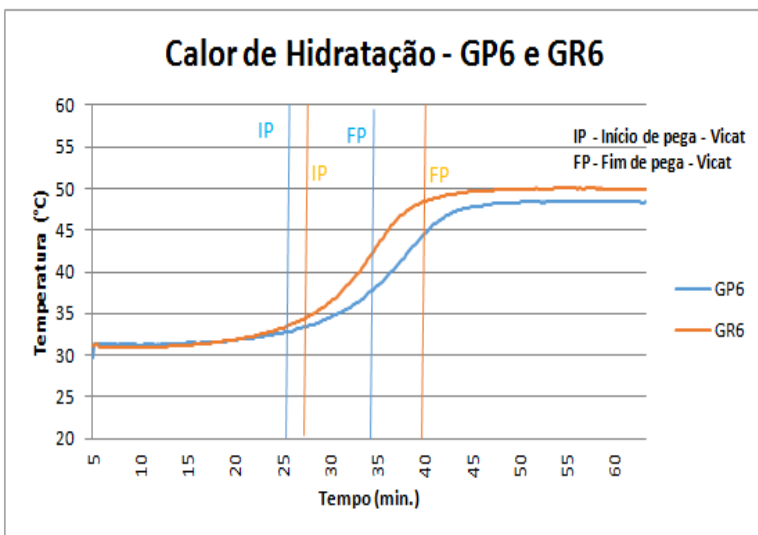


Figura 61 - Curvas de Evolução de Temperatura – GP6 e GR6

–GP6 – Relação A/G = 1,15

–GR6 – Relação A/G = 1

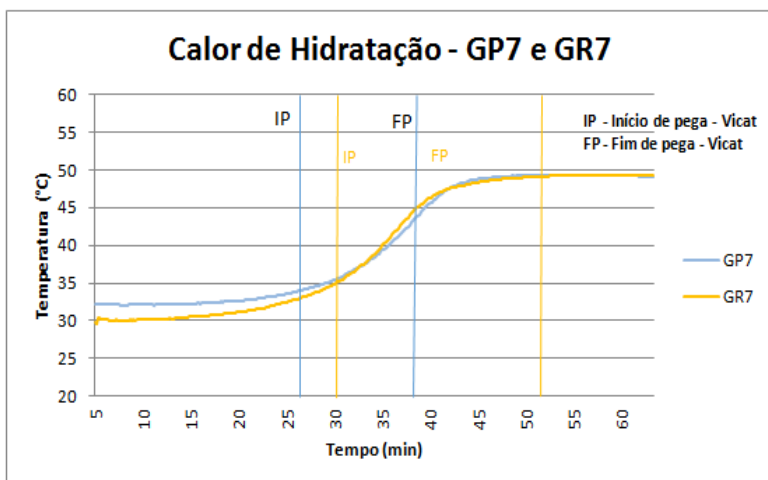


Figura 62 - Curvas de Evolução de Temperatura – GP7 e GR7

–GP7 – Relação A/G = 1,15

–GR7 – Relação A/G = 1



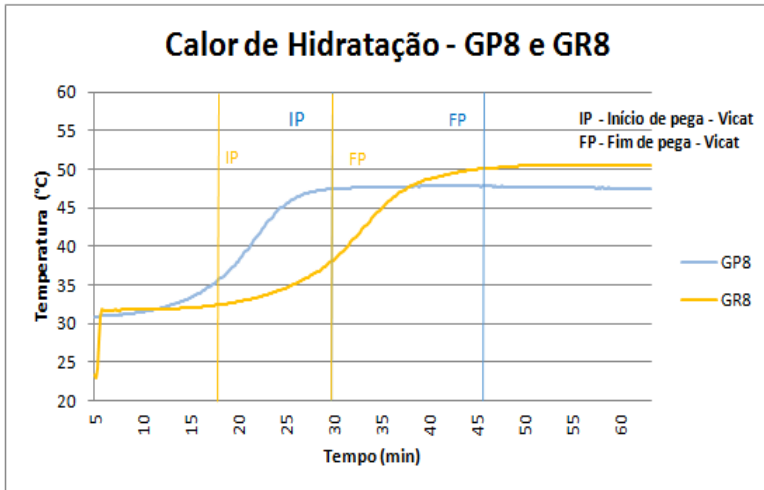


Figura 63 - Curvas de Evolução de Temperatura – GP8 e GR8  
 –GP8 – Relação A/G = 1,15  
 –GR8 – Relação A/G = 1

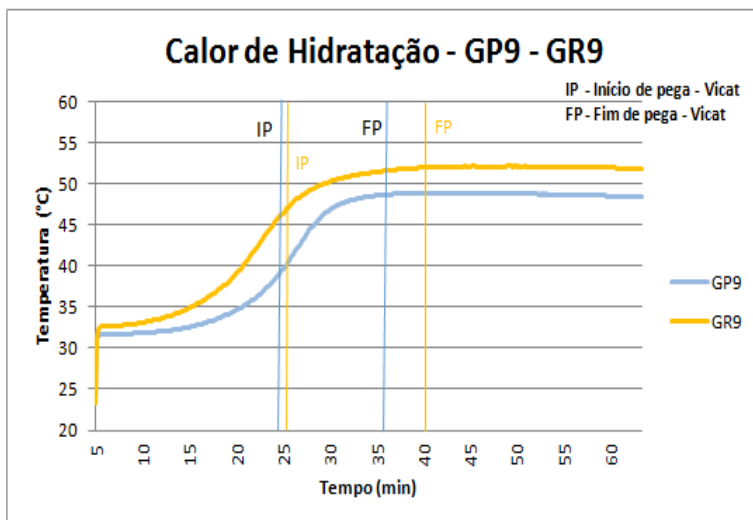
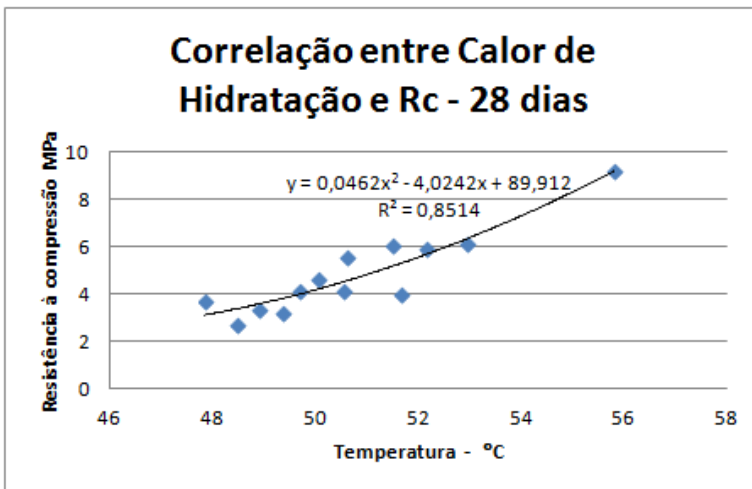


Figura 64 - Curvas de Evolução de Temperatura – GP9 e GR9  
 –GP9 – Relação A/G = 1,15  
 –GR9 – Relação A/G = 1

De acordo com Karni e Karni (1995), John e Cincoto (2010) e (SINGH; MIDDENDORF, 2007), o processo de pega e endurecimento depende de fatores como impurezas, finura e forma dos grãos, relação a/g, a temperatura da água de amassamento, a presença e o tipo de aditivos, bem como a velocidade e o tempo da mistura. Temperaturas maiores indicam maior reação da água/gesso (MAKSOD; ASHOUR, 1981),(LEWRY; WILLIAMSON, 1994a), portanto maior entrelaçamento dos cristais, que pode ser observado nas análises de imagem feitas na microscopia eletrônica de varredura – MEV, (Figura 70 a Figura 72) proporcionando maior resistência à compressão.

Temperaturas maiores observadas nos gráficos de calor de hidratação das pastas de gesso analisadas indicam também uma tendência de resistência à compressão maior, de acordo com o comprovado na análise estatística de correlação entre a resistência à compressão e o calor de hidratação (Figura 64 e Tabela 20 do Apêndice A.1).



$$r = 0,910241334$$

Figura 65 - Correlação entre calor de hidratação e Rc – 28 dias

#### 4.6. Resistência à Compressão –Rc

Para todos os gessos analisados nos ensaios de resistência à compressão, foram extraídas as médias de três corpos de prova rompidos a 3, 7, 28 e 91 dias de acordo com o descrito no item 3.2.8 do capítulo 3. A Tabela 13 e a Figura 65 apresentam os resultados dos ensaios de resistência à compressão do gesso comercial de referência GC.

Os valores atingidos aos 28 dias de 9,22 MPa determinados pelo ensaio de resistência à compressão, atendem aos preconizados pela NBR 13.207, que indica uma resistência maior que 8,40 MPa.

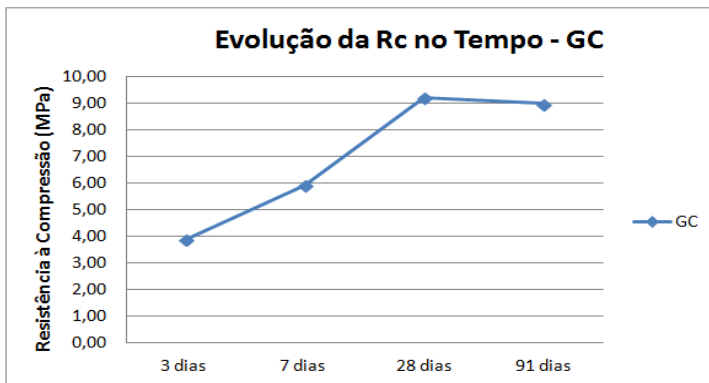


Figura 66 - Evolução da Resistência à Compressão no Tempo – GC

Para os gessos GP1 e GR1, calcinados a 140°C e 1 h de permanência no forno, não foram realizados os ensaios de resistência à compressão, pois os gessos reagiam rapidamente em contato com a água, impedindo a confecção dos corpos de prova em tempo hábil.

Os corpos de prova do gesso reciclado GR2 foram confeccionados com tempo de descanso da pasta antes da mistura, menor do que o determinado pela NBR 12129 (2 minutos) para garantir a moldagem dos mesmos. Os resultados de resistência à compressão apresentados para o GR2 foram os menores entre todos os gessos analisados. A

Tabela 13 e a Figura 68 indicam os resultados obtidos para o GP2 e o GR2.

Não foram realizados os ensaios com idade de 91 dias para os corpos de prova dos gessos reciclados GR2 e GP3.

Os gessos reciclados de placas GP2, calcinados em tempo de duas horas a temperatura de 140°C, apresentou melhor resistência aos 28 dias de idade, que o gesso de revestimento GR2, calcinado ao mesmo tempo e mesma temperatura (Figura 66).

Tabela 13–Resistência média à compressão (MPa) – GC e gessos calcinados à 140°C

Pasta	Idade			
	3 dias	7 dias	28 dias	90 dias
GC	3,90	5,93	9,22	9,00
GP2	1,36	2,02	3,88	3,69
GP3	1,56	1,64	3,94	

Pasta	Idade			
	3 dias	7 dias	28 dias	90 dias
GR2	0,97	0,71	3,29	
GR3	1,65	1,73	4,15	3,75

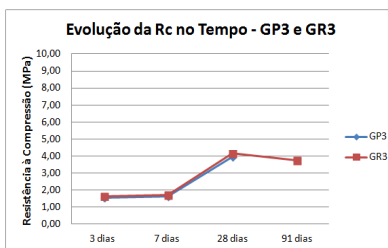
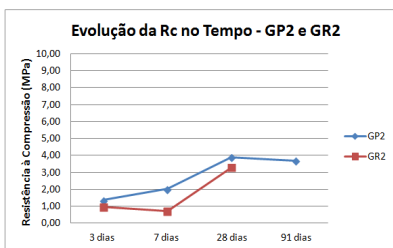


Figura 68 - Evolução da Resistência à compressão no tempo – GP2 e GR2 – GP3 e GR3

Para os gessos calcinados a 140°C durante 4 horas, os resultados apresentam valores bem próximos entre os gessos GP3 e GR3, havendo diferença significativa (mas não relevante) entre eles, aos 28 dias, conforme observado nas análises estatísticas (Anexo B.5) e na Tabela 13 e na Figura 66.

Os valores de resistência à compressão da pasta de gesso, obtidos para gessos reciclados de placas e reciclados de revestimento, calcinados na temperatura de 140°C e nos

tempos de 2 e 4 horas estão abaixo do preconizado pela NBR 12.129, porém de acordo com os resultados obtidos por Bardella (2011), para gessos reciclados finos, misturado na proporção de 50% com gesso comercial.

A evolução da resistência à compressão ao longo das idades de 3, 7, 28 e 91 dias, para os gessos calcinados a 170°C e ao tempo de 1, 2 e 4 horas apresentou comportamento semelhante para todos os pares comparados de gesso reciclados de placa (GP) e gesso reciclados de revestimento (GR). Os gessos reciclados de revestimento apresentaram valores maiores que os gessos reciclados de placas, com uma diferença significativa entre eles (Anexo B.5).

Os ensaios de resistência à compressão indicam um melhor resultado tanto para os GP, como para os GR, na calcinação realizada ao tempo de 1 hora (GP4 e GR4) e na idade de 28 dias, de acordo com as médias da Tabela 14 e do gráfico da Figura 67.

Tabela 14– Resistência média à compressão (MPa) – gessos calcinados à 170°C

Pasta	Idade			
	3 dias	7 dias	28 dias	90 dias
GP4	1,52	1,64	4,14	3,64
GP5	1,30	1,26	3,35	2,97
GP6	1,29	1,12	2,68	2,64

Pasta	Idade			
	3 dias	7 dias	28 dias	90 dias
GR4	2,63	2,81	6,09	5,90
GR5	2,47	2,83	6,06	5,38
GR6	1,96	1,80	4,65	4,69

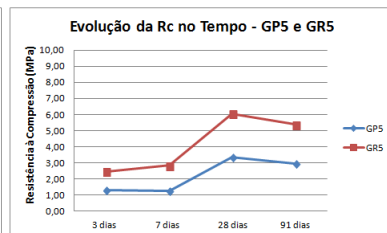
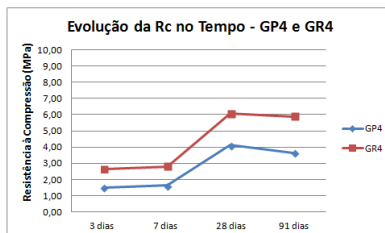


Figura 67 - Evolução da Resistência à compressão no tempo – GP4 e GR4 – GP5 e GR5

Para os gessos reciclados de revestimento (GR) não há uma diferença significativa entre a resistência à compressão para queimas em 1 e 2 horas, diminuindo a resistência para calcinação à 4 horas. Estes resultados estão de acordo com o obtido por Pinheiro (2011) para gessos reciclados calcinados à 120° C, 150° C e 200° C, nas temperaturas de 1h, 2h, 5h, 8h, 16h e 24h respectivamente.

Para os GRs calcinados à 200° C, quanto maior o tempo de calcinação, maior a resistência à compressão, conforme observado na Tabela 15 e nos gráficos das Figuras 68, Figura 69 e Figura 72.

Tabela 15– Resistência média à compressão (MPa) – gessos calcinados a 200°C

Pasta	Idade			
	3 dias	7 dias	28 dias	90 dias
GP7	1,28	1,15	3,19	3,67
GP8	1,57	1,40	3,73	4,05
GP9	1,46	2,07	3,34	3,88

Pasta	Idade			
	3 dias	7 dias	28 dias	90 dias
GR7	2,35	2,23	5,68	5,39
GR8	2,41	2,52	5,57	6,30
GR9	2,45	2,58	5,87	6,64

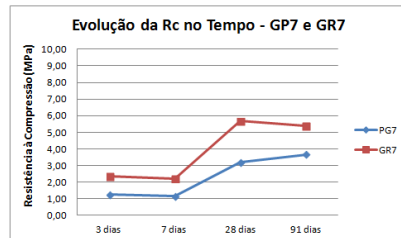
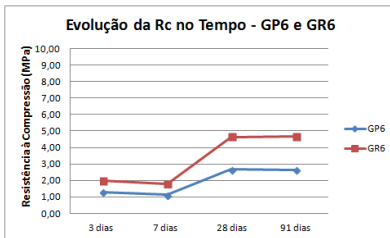


Figura 68 - Evolução da Resistência à compressão no tempo – GP6 e GR6 – GP7 e GR7

A relação A/G determinada pelo ensaio de consistência normal para o gesso comercial de referência é de 0,75, enquanto para os GPs é de 1,15 e para os GRs é igual a 1. Isto explica a perda de massa maior na cura do gesso reciclado, tanto maior quanto mais água é usada para a confecção das pastas (ver Apêndice Tabelas 1 à 16). A perda de água pela secagem dos corpos de prova, que não foi utilizada nas reações químicas no processo de endurecimento da pasta, produz um aumento de porosidade

no gesso endurecido. Este fato também pode explicar a resistência à compressão maior no gesso comercial (GC) em relação aos gessos reciclados de placa (GP) e aos gessos reciclados de revestimento (GR), bem como a maior resistência à compressão dos GRs que utilizam menos água em relação aos GPs (Figura 66 à Figura 69).

A análise estatística (Anexo B.7), indica uma diferença significativa da resistência à compressão, para a maioria dos diversos tipos de gesso GC, GPs e GRs, quando comparada em uma mesma temperatura (140°C, 170°C e 200°C) e em um mesmo tempo de calcinação (1h, 2h ou 4h).

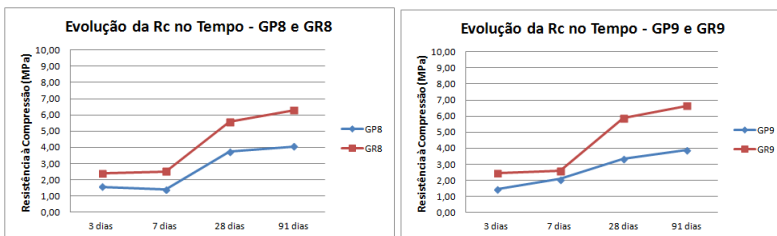


Figura 69 - Evolução da Resistência à compressão no tempo – GP8 e GR8 – GP9 e GR9

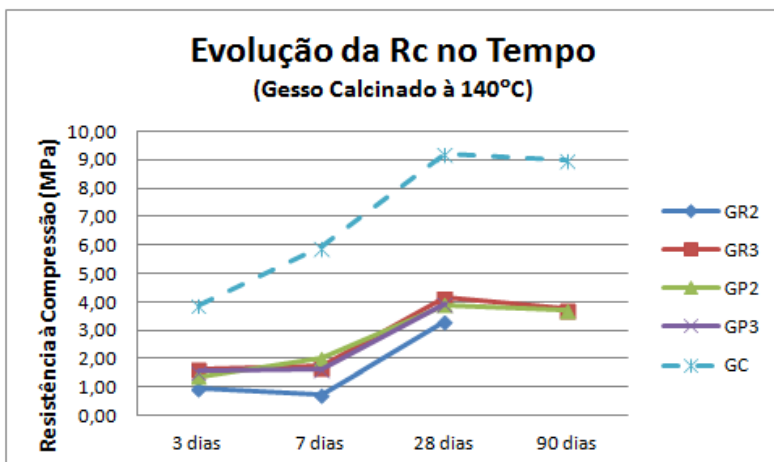


Figura 70 - Evolução da Resistência à compressão no tempo – Gesso calcinado à 140°C

Pode-se observar que existe uma influência direta entre o tempo de calcinação e o aumento da resistência à compressão para os gessos calcinados, de acordo com a análise multivariada (de 3 fatores) apresentada na Tabela 16 e desenvolvida no Apêndice B.9 e B.10 e evidenciada na temperatura de 170°C.

Os valores obtidos para os gessos reciclados de placa (GP) são maiores para a resistência à compressão em tempos menores de calcinação. Isto pode ser observado no gráfico da Figura 71 e Tabela 14, onde GP4, calcinado por um tempo de uma hora, apresenta valor médio maior (3,64 MPa) que GP6 (2,64 MPa), calcinado por um tempo de 4 horas.

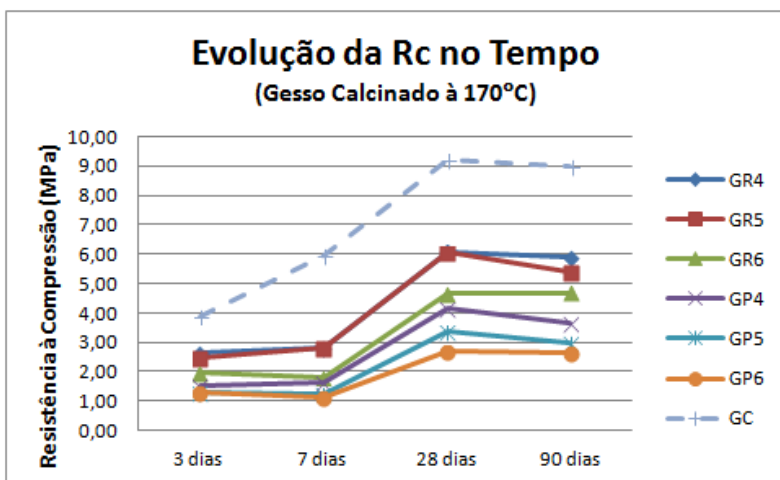


Figura 71 - Evolução da Resistência à compressão no tempo – Gesso calcinado à 170°C

Dos gessos reciclados de revestimento analisados, o gesso reciclado GR9, calcinado por 4 horas a 200°C, é o que apresenta melhor resultado de resistência à compressão na idade de 91 dias, enquanto que para os gessos reciclados de placas, GP8 calcinado por duas horas à 200°C, foi que apresentou o melhor resultado para a resistência à compressão.



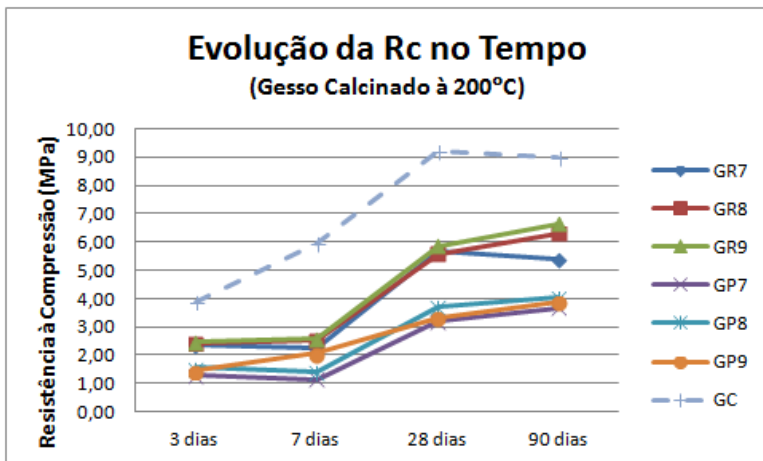


Figura 72 - Evolução da Resistência à compressão no tempo – Gesso calcinado à 200°C

Em resumo, pode-se afirmar com 95% de confiança, que existe uma influência direta do tempo de calcinação na resistência à compressão dos gessos reciclados analisados nas temperaturas de 140°C, 170°C e 200°C, com fatores A/G = 1,15 e 1.

Da mesma forma, com 95% de confiança, pode-se afirmar que para os gessos reciclados analisados, existe uma influência direta da temperatura de calcinação e do fator A/G nas resistências à compressão. Quanto maior a temperatura de calcinação, maior a resistência à compressão e quanto menor o fator água/gesso, maior a resistência. Isto pode ser observado no resumo estatístico de análise multivariada do experimento fatorial de 3 fatores da Tabela 16 e da análise desenvolvida e apresentada no Apêndice B (Tabelas B.10 e B.11).

Tabela 16– Influência de Tempo, Temperatura de calcinação e relação A/G na resistência à compressão dos gessos reciclados.

Influência em separado de cada tratamento								
FONTE		SQ	GDL	MQ	F	F <sub>0,05</sub>		
A/G		26,9240	1	26,9240	943,91	4,11	Existe influência	
Tempo		16,0833	2	8,0416	281,92	3,26	Existe influência	
Tempratura		59,9740	2	29,9870	1051,29	3,26	Existe influência	
A/G	Tempo	0,0623	2	0,0312	1,09	3,26	Não existe influência	
Tempo	Temperat	43,4669	4	10,8667	380,97	2,63	Existe influência	
A/G	Temperat	17,5013	2	8,7507	306,78	3,26	Existe influência	
A/G	Tempo	Temperat	0,7697	4	0,1924	6,75	2,63	Existe influência
Residual (SQR)		1,0269	36	0,0285				
TOTAL (SQT)		165,81	53					

Após a execução dos ensaios de dureza (item 4.7) e de resistência à tração na flexão (item 4.8), foram verificados valores médios altos obtidos para o gesso de revestimento GR9, conforme Tabela 19 e Figura 71 deste capítulo.

Foram então, realizados com os corpos de prova, resultante deste ensaio ( $R_f$ ), outro ensaio de resistência à compressão ( $R_c$ ) para a verificação e comprovação dos dados anteriores. O resultado determinou um valor médio de 10,84 MPa para o gesso reciclado GR9 e 11,14 MPa para o gesso comercial de referência GC (Apêndice B – Tabela B-7). Portanto valores que estão acima do preconizado pela NBR 13.207 (ABNT, 1994), que determina um valor de resistência à compressão maior que 8,40 MPa. Estes últimos resultados não fizeram parte da análise estatística.

Esta diferença em relação à resistência à compressão analisada anteriormente, pode ser explicada em parte pela variabilidade no adensamento ou vibração aplicada nos moldes dos corpos de prova, que foi mais intensa nos corpos de prova do ensaio de resistência à tração na flexão (40 x 40 x 160 mm) e menos intensa nos moldes do ensaio de resistência à compressão (50 x 50 x 50 mm), produzindo menor volume de vazios pela retirada maior das bolhas de ar.

#### 4.7. Ensaio de Dureza.

Os ensaios de dureza foram realizados de acordo com o descrito no item 3.2.8 e em consonância com as normas NBR 12.129 (ABNT, 1991) e a NBR 13.207 (ABNT, 1994). Os valores encontrados para o gesso comercial de referência (GC) e os gessos reciclados de placas e revestimentos (GP3 e GR3, GP4 e GR4, GP8 e GR8) encontram-se na Tabela 19, para ensaios realizados com a idade de 28 e 91 dias com a média de três corpos de prova e com três medidas cada.

Os fatores  $a/g$  utilizados são os seguintes: GC = 0,75, GP = 1,15 e GR = 1.

Tabela 17– Dureza superficial média (N/mm<sup>2</sup>)

Pastas	Dureza	
	Idade	
	28 dias	91 dias
GC	19,16	18,97
GP3	5,98	8,76
GR3	10,51	10,35
GP4	6,16	7,25
GR4	9,67	10,50
GP8	6,43	6,96
GR9	10,02	19,02

Assim como nos resultados do ensaio de resistência à compressão, os valores obtidos para os ensaios de dureza superficial possuem uma relação direta com os valores obtidos para as pastas de gesso equivalentes, calcinadas em uma mesma temperatura e em um mesmo tempo. Quanto maior a resistência à compressão, maiores os valores médios obtidos para o ensaio de dureza. Este fato pode ser comprovado pela análise estatística de correlação conforme gráfico da Figura 73 e Tabela C.2 do Apêndice C. O gesso comercial de referência apresentou um resultado de 19,16 MPa, que é significativamente maior que os GP8 que teve como resultado de Dureza média 6,43 MPa. O GC também é significativamente maior que o GR3 que obteve uma Dureza média de 10,51 MPa que foram os melhores resultados encontrados para os gessos reciclados de revestimento, não existindo diferença significativa entre o GC e o GR9 para a idade de 28 dias.

Com relação ao que preconiza a NBR 13.207 (ABNT, 1994), tanto o gesso comercial de referência (GC), como os gessos reciclados de placas (GP) e de revestimento (GR) os valores obtidos no ensaio de dureza ficaram abaixo dos 30 N/mm<sup>2</sup>.

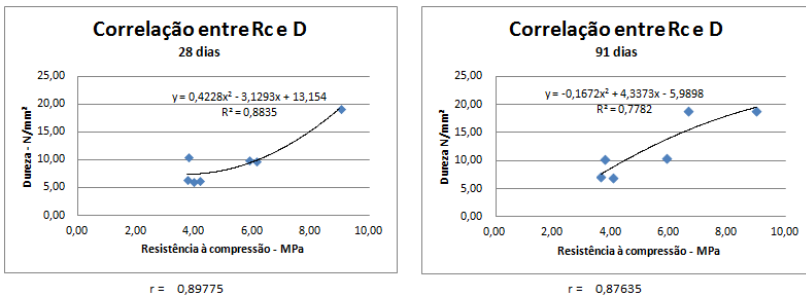


Figura 73 - Correlação entre Rc e D aos 28 e 91 dias

#### 4.8. Resistência a Tração na Flexão - Rf

Os ensaios de resistência à tração na flexão foram realizados de acordo com o descrito no item 3.2.9 do capítulo 3e escolhidos gessos reciclados de placa e revestimento que apresentaram os melhores resultados nos ensaios de resistência à compressão para cada temperatura de calcinação, independente do tempo de calcinação (GP3, GR3, GP4, GR4, GP8 e GR9), comparando-os com o gesso comercial de referência GC. Os resultados são apresentados nas Tabelas 18 e 19 e Figura 74 à Figura 76.

Os resultados mostram que a resistência à tração na flexão permaneceu constante nas primeiras idades de 3 e 7 dias, aumentando a resistência aos 28 dias, quando o gesso atinge a constância de massa.

Os dados foram tratados estatisticamente, conforme anexo B.9 e mostram uma diferença significativa entre a resistência à tração na flexão entre os gessos comercial de referência e os gessos GP e GR até a idade de 28 dias. Também é possível observar uma diferença significativa entre os gessos reciclados de placa (GP) e os gessos reciclados de revestimento (GR) para os valores de resistência a tração na flexão na idade de 28 dias e 91 dias.

Com relação ao gesso reciclado de revestimento GR9, houve um aumento significativo de sua resistência à tração na

flexão na idade de 91 dias, tendo apresentado o maior valor em relação aos demais (3,98 MPa), inclusive quando comparado com o gesso de referência comercial GC (3,44 MPa). Estes resultados estão em conformidade com os resultados apresentados no trabalho de Pinheiro (2011) para o gesso reciclado com o uso de plastificantes e apresentam melhor desempenho que o gesso reciclado utilizado por Bardella (2011), que utiliza uma mistura de 50% de gesso comercial e 50% de gesso reciclado. Os resultados são compatíveis com os valores encontrados para o ensaio de flexão de gesso reciclado para confecção de placas, realizado por Trovão, (2012).

Tabela 18 – Resistência média à tração na flexão (MPa) – GC, GP3 e GR3

Pastas	Idade			
	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
GC	1,96	1,84	3,55	3,44
GP3	0,97	1,23	1,78	2,31
GR3	1,30	1,25	2,54	2,44

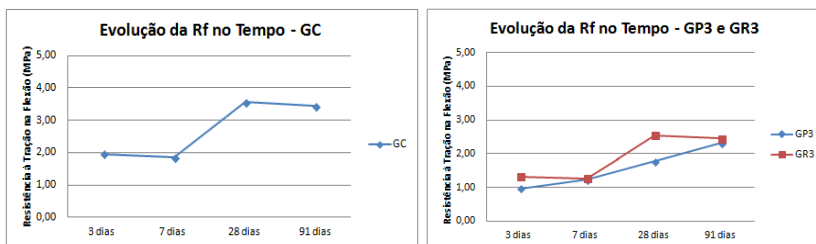


Figura 74 - Evolução da Resistência à tração na flexão no tempo – GC – GP3 e GR3

Os valores menores obtidos para de resistência à tração na flexão nos gessos reciclados de placa (GP), podem ser explicados pela maior quantidade de água utilizada na confecção da pasta de gesso, que proporcionou uma maior

perda de massa na cura (ver tabelas 1 a 17 do Apêndice A), produzindo uma pasta com maior volume de vazios.

Tabela 19 – Resistência média à tração na flexão (MPa) – GP4, GR4, GP8 e GR9

Pastas	Idade				Pastas	Idade			
	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias		3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
GP4	0,95	0,92	1,63	1,99	GP8	0,89	1,30	1,73	1,83
GR4	1,20	1,22	2,25	2,73	GR9	1,38	1,24	2,30	3,88

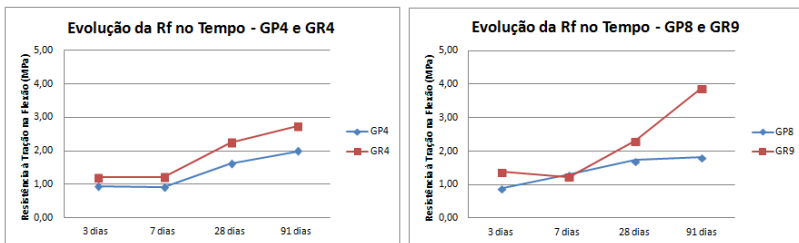


Figura 75 - Evolução da Resistência à tração na flexão no tempo – GP4 e GR4 – GP8 e GR9

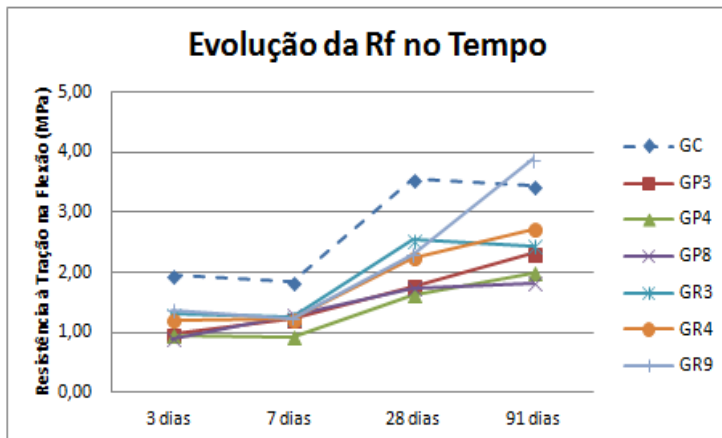


Figura 76 - Evolução da Resistência à tração na flexão no tempo

A Figura 77 mostra que existe uma correlação entre a resistência à compressão e a resistência à tração na flexão para os diversos tipos de gesso analisado nas diversas

temperaturas e tempo de calcinação, conforme Tabela C.3 do Apêndice C. Quanto maior a resistência à compressão, maior a resistência à tração na flexão.

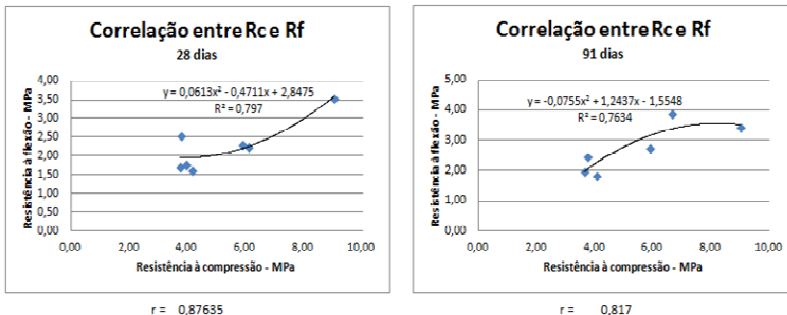


Figura 77 - Correlação entre R<sub>c</sub> e R<sub>f</sub> aos 28 e 91 dias.

Após a realização dos ensaios de compressão, tração na flexão e dureza, foram realizados os mesmos ensaios de acordo com o procedimento indicado pela Norma Europeia EN 13.279-2 (2004). Os corpos de prova de seção 40 x 40 x 160 mm foram colocados em um recipiente de EPS hermeticamente fechado, conforme descrito no item 3.2.9 do capítulo 3, permaneceram por 7 dias, quando foram retirados e secados em estufa elétrica com temperatura de 40° C (± 2) até a constância de massa (5 dias). Em seguida foram realizados os testes cujos resultados são apresentados na Tabela 20.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão, tração na flexão e dureza atendem ao valor mínimo preconizado pela Norma Europeia para os gessos comercial GC e reciclado GR9. O gesso reciclado GP8 atende apenas ao preconizado para a resistência à compressão, tendo valores abaixo dos valores de referência para o ensaio de resistência à tração na flexão e dureza.

Apenas o gesso comercial GC atende ao preconizado pelas Normas Brasileiras, para os ensaios de resistência à compressão, conforme pode ser observado nos valores comparativos indicados na Tabela 21, para os ensaios realizados de acordo com a referida norma.



Tabela 20– Resistências médias para Tf, Rc e dureza pela EN

Ensaio pela Norma Europeia EN 13.279-2 (2004)			
	Tf	Rc	Dureza
Gc	5,17	10,27	18,59
GP8	2,11	3,25	6,44
GR9	3,13	6,40	10,49
Valor ref. EN	>3	>2	>10

Tabela 21- Resistências médias para Tf, Rc e dureza pelas NBs

Ensaio pelas Normas Brasileiras			
	Tf (MPa)	Rc (MPa)	Dureza (N/mm <sup>2</sup> )
Gc	3,44	9,00	18,97
GP8	1,83	4,05	6,96
GR9	3,88	6,64	19,02
Valor ref. NB	>?	>8,4	>30

Os valores menores de resistência apresentados pelos gessos reciclados de placas e revestimentos, podem também ser explicados pelo processo de moagem, que apresentou módulo de finura muito baixo, necessitando de muita água e por consequência resultando maior volume de vazios pela evaporação da água não utilizada nas reações químicas durante o processo de hidratação do gesso.

Isto pode ser confirmado pelos ensaios pilotos, realizados antes do desenvolvimento desta pesquisa (FERNANDES; RODRIGUES, 2013), com gessos de placas moídos em moedor de rolo e que apresentaram módulo de finura maior, bem como resistências maiores do que às apresentadas neste trabalho conforme tabela B.12 do anexo B.

#### 4.9. Análise de Imagens - Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

O uso da microscopia eletrônica de varredura (MEV) permitiu a observação da morfologia e dos arranjos dos cristais de hemi-hidrato de sulfato de cálcio (gesso em pó) e do di-hidrato de sulfato de cálcio (gesso em pasta).

##### 4.9.1. Gesso em pó

As Figura 78 e 79 mostram as imagens do gesso em pó comercial (GC) ampliadas 80x, 2.500x e 5.000x respectivamente. Observa-se nestas fotos obtidas, que as partículas do pó de gesso, formada por um aglomerado de microcristais de forma e dimensões variadas, possuem medidas que variam até próximo de  $10\mu$  se aglutinam em partículas maiores (maior que  $200\mu$ ), indicando um processo de início de hidratação, apresentando formas não definidas e irregulares, sendo morfologicamente semelhante ao descrito por Lewry e Williamson, (1994) e Pinheiro (2011), típicos do gesso do tipo  $\beta$ , utilizado na construção civil.

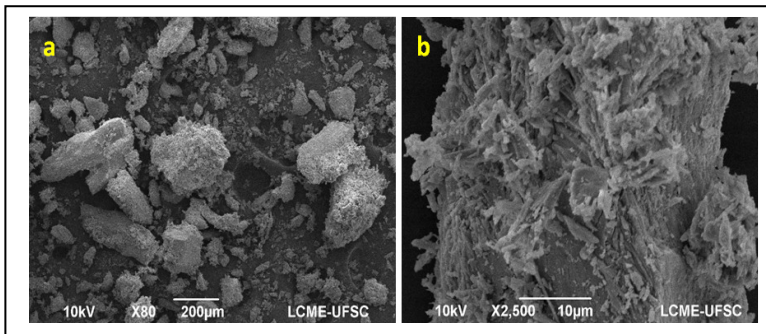


Figura 78 - Micrografia do GC em pó – ampliações 80x (a) e 2.500x (b)

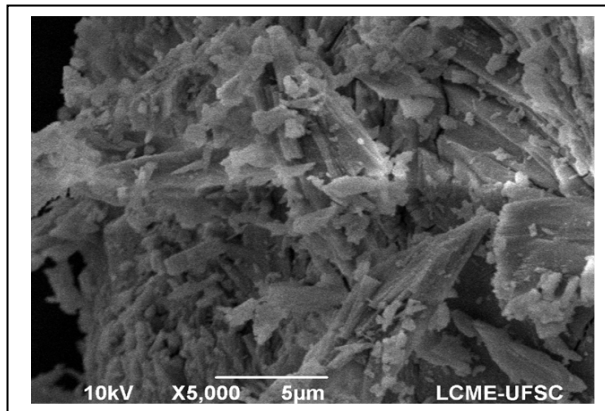


Figura 79 - Micrografia do GC em pó – Ampliação 5000x

A Figura 80 mostra as imagens do gesso em pó reciclado, não hidratado GP8(a) e GR9(b) ampliadas 80x. Observa-se a formação de grumos aglutinando as partículas, mostrando conformação semelhante entre os dois tipos de gesso, reciclados de gessos de placas e de gesso de revestimento e que tiveram o mesmo tipo de moagem, conforme descrito no capítulo 3, item 3.2.1.

Imagens obtidas na lupa estereoscópica com ampliação de 40x confirmam os grumos observados que se assemelham a forma de nuvens (Figura 50).

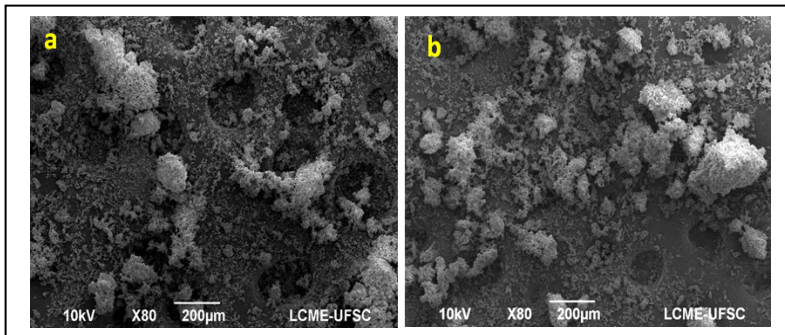


Figura 80 - Micrografia do gesso em pó – GP8 (a) e GR9 (b) – Ampliação 80x

Os grãos, observados nas micrografias do gesso em pó não hidratado GP8 ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ), calcinado na temperatura de  $200^\circ\text{C}$ , por 2 horas (Figura 81), nas ampliações de 2.500x e 5.000x respectivamente, são formados por microcristais irregulares, geralmente de forma alongada e de dimensões variadas, com comprimentos que variam entre um e  $10\mu$  aproximadamente, com falhas e fraturas nos cristais, semelhantes a descrito por Pinheiro (2011) e Lewry e Williamson, (1994), apresentando morfologia típica do gesso  $\beta$ , utilizado na construção civil.

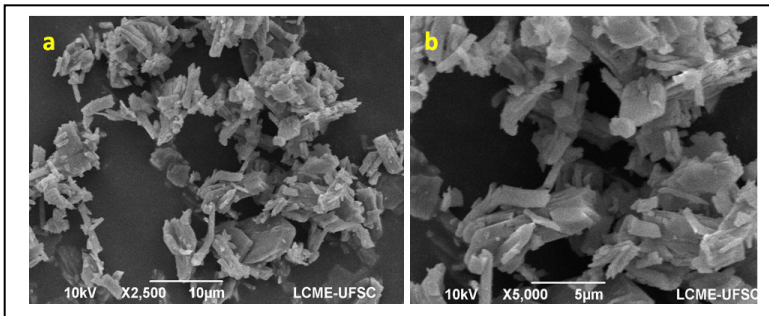


Figura 81 - Micrografia do gesso em pó – GP8 (a) e (b) – Ampliações 2.500x e 5.000x

A Figura 82 apresenta a micrografia do gesso em pó não hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ), produzido a partir do gesso de revestimento, calcinado na temperatura de  $200^\circ\text{C}$ , por 4 horas, GR9. Os grãos formados por microcristais apresentam forma alongada, de dimensões variadas, com comprimentos que variam entre 1 e  $15\mu$  aproximadamente, apresentam falhas e fraturas nos cristais. Pode-se afirmar que os gessos reciclados de placas GP8 e os gessos reciclados de revestimento GR9 possuem morfologias semelhantes entre si e semelhança com o gesso comercial de referência GC e segundo Lewry e Williamson, (1994) e Pinheiro (2011), típicos do gesso do tipo  $\beta$ , utilizado na construção civil.

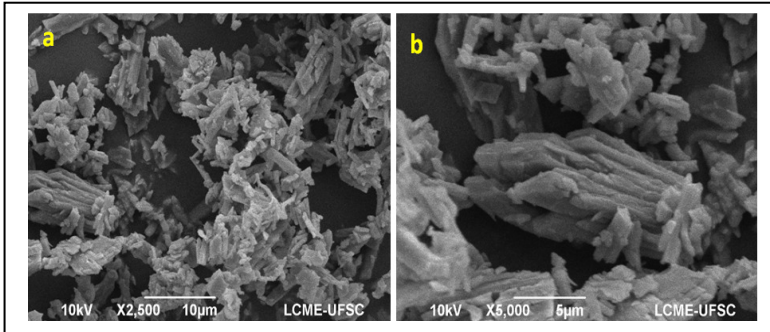


Figura 82 - Micrografia do gesso em pó – GR9– Ampliações 2.500x (a) e 5.000x (b)

#### 4.9.2. Gesso em pasta

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada para a observação da morfologia e do arranjo cristalino das pastas de gesso no estado endurecido, na idade de aproximadamente 90 dias, com fragmentos retirados da parte interna dos moldes produzidos para os ensaios de resistência à tração na flexão.

As pastas avaliadas foram confeccionadas com o gesso comercial de referência GC, produzida com uma relação água/gesso de 0,75, em massa e com os gessos reciclados de placas (GP3, GP4 e GP8) e com o gesso reciclado de revestimento (GR3, GR4 e GR9), selecionados pelo melhor desempenho nos ensaios de resistência à compressão, nas diversas temperaturas de calcinação (140° C, 170° C e 200° C).

As pastas de GP3, GP4 e GP8 foram produzidas com uma relação água/gesso igual a 1,15 em massa, enquanto as pastas de GR3, GR4 e GR9 foram produzidas com uma relação água/gesso igual a 1.

As Figura 83 e Figura 84 apresentam a micrografia das pastas de gesso comercial GC, nas ampliações de 120x, 1.000x, 2.000x e 5.000x respectivamente. Na Figura 83a pode-se observar a formação de bolhas de ar, indicada pela

seta na conformação da estrutura do fragmento de pasta de gesso analisado, bem como poros, que são os vazios que se encontram entre o arranjo cristalino formado pela hidratação do gesso, transformando o hemi-hidrato em um di-hidrato de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), (Figura 83b).

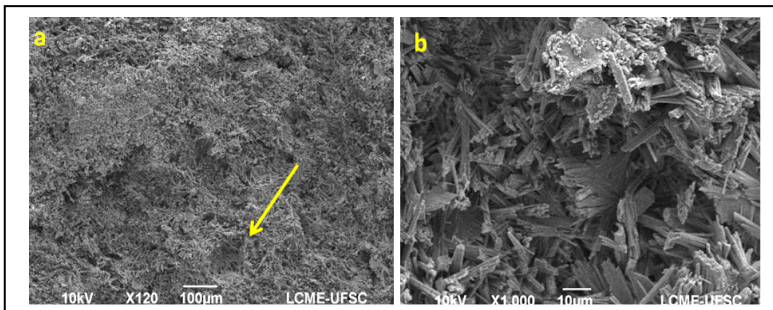


Figura 83 - Micrografia da pasta de GC –Ampliações 120x (a) e 1.000x (b)

Os cristais produzidos no processo de hidratação possuem forma acicular alongada bem definida, com comprimentos que variam de 5 a 15µ e diâmetro de 1 a 3µ aproximadamente. Os cristais em forma de agulha apresentam conformação individual que se tocam ou não em suas faces laterais, ou se arranjam em forma de tufo, formando também um entrelaçamento que dá firmeza a estrutura do arranjo cristalino (Figura 84a e b). Os vazios ou poros são resultantes da evaporação da água restante daquela usada na hidratação do gesso. Há também a presença de placas eventuais conforme indicado na Figura 84a.

As formas dos cristais, bem como a conformação do arranjo cristalino observado no gesso comercial GC, estão de acordo com os descritos por Lewry e Williamson, (1994), Sing e Middendorf, (2007), ARAÚJO *et al.* (2008), John e Cincoto, (2010) e Pinheiro (2011) para as pastas de gesso  $\beta$  usado na construção civil.

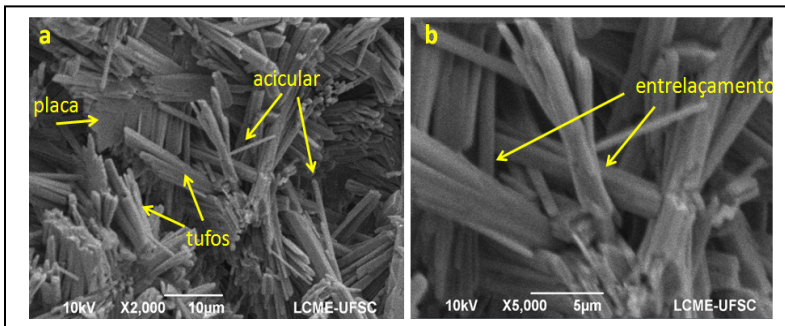


Figura 84 - Micrografia da pasta de GC – Ampliações 2.000x (a) e 5.000x (b)

As Figura 85 e 86 apresentam a micrografia dos gessos reciclados de placa e revestimento, calcinados à 140° C por um período de 4 horas. Na Figura 85, a micrografia ampliada 2.000x da pasta de gesso GP3, os cristais de dihidrato de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), de forma acicular apresentam-se com estrutura quebradiça onde aparecem cristais de tamanho menores que os apresentados na pasta de GC e observam-se pequenos pedaços, indicando a possibilidade de não haver sido completado o processo de cristalização. As dimensões dos cristais aciculares de GP3 variam de 2 a 12µ aproximadamente. Estas observações estão de acordo com o apresentado por Bardella (2011), para o gesso reciclado, calcinado a uma temperatura de 150° C.

As micrografias das Figura 86 apresentam a estrutura cristalina do gesso reciclado de revestimento GR3, calcinado a 140° C por um período de 4 horas, nas ampliações de 1000x, 2.000x respectivamente. Apresentam uma estrutura acicular mais alongada que GP3, com a estrutura de cristais se entrelaçando, tendo a aparência de um ninho de pássaros. O comprimento dos cristais aciculares variam de 5 a pouco mais de 20µ aproximadamente.

Embora haja uma diferença no tamanho e forma dos gessos GP3 e GR3 isto não representou uma diferença significativa entre eles, para os resultados de resistência à compressão para a idade de 28 dias. Entretanto para a resistência à tração na flexão houve uma diferença



significativa aos 28 dias, maior para GR3, que deixou de existir aos 91 dias, de acordo com o descrito no item 4.5 (Figura 74) deste capítulo.

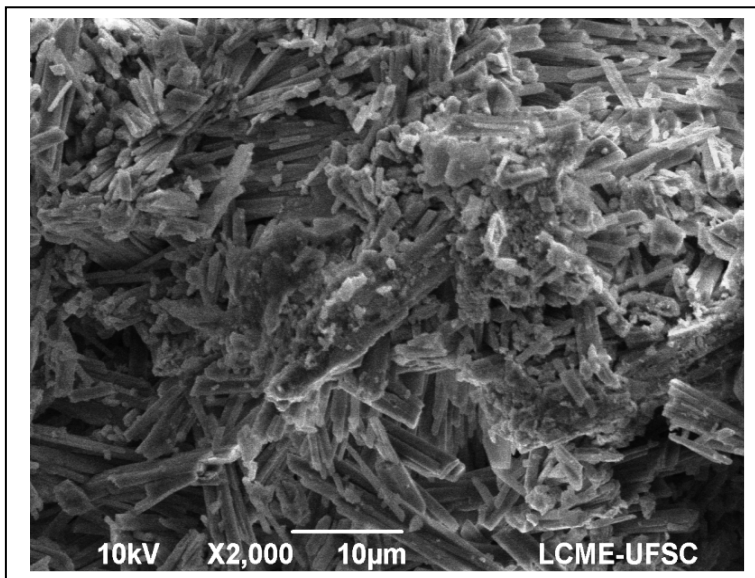


Figura 85 - Micrografia da pasta de GP3 – Ampliação 2.000x

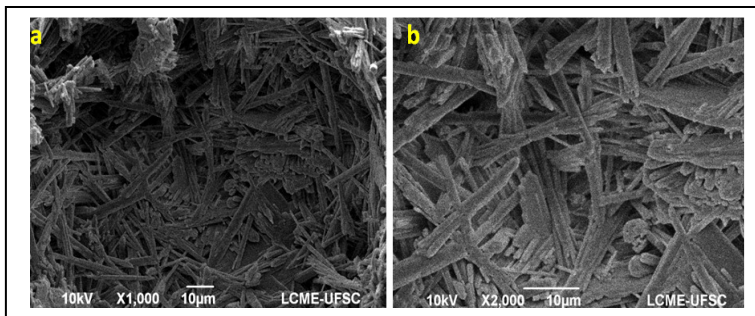


Figura 86 - Micrografia da pasta GR3 – Ampliações 1.000x (a) e 2.000x (b)

As micrografias da microscopia eletrônica de varredura (MEV), apresentadas para as pastas de gessos GP3 e GR3 estão em conformidade com o descrito para as



pastas de gessos reciclados por Bardella (2011), Pinheiro (2011), Júnior (2008) e com o descrito por Lewry e Williamson (1994), Sing e Middendorf (2007), para o gesso tipo  $\beta$  utilizado na construção civil.

As micrografias da Figura 87 apresentam o gesso reciclado de placas GP4, calcinado à  $170^{\circ}\text{C}$  por um tempo de uma hora, nas ampliações de 1.000x, 2.000x respectivamente. Observa-se também a formação de cristais de di-hidrato de sulfato de cálcio, em forma acicular, com comprimentos variando entre 6 e  $20\mu$  aproximadamente, com diâmetros entre 0,5 e  $3\mu$ . O arranjo cristalino se dá em forma de tufos, com os cristais apoiando-se lateralmente entre si e com a ocorrência de entrelaçamento dos tufos e cristais.

Entre os cristais observa-se a presença de vazios resultado da evaporação da água não utilizada no processo de cristalização.

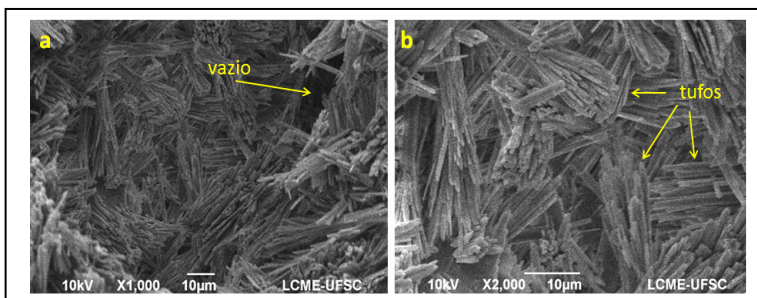


Figura 87 - Micrografia da pasta GP4 – Ampliações 1.000x (a) e 2.000x (b)

As Figuras 88 e 89 apresentam as micrografias observadas no MEV para o gesso reciclado de revestimento GR4, calcinado na temperatura de  $170^{\circ}\text{C}$  pelo período de uma hora, ampliadas 2.000x e 5.000x, com uma relação água/gesso igual a 1.

A formação do di-hidrato de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) pela hidratação do gesso reciclado, apresenta uma estrutura de cristais entrelaçados e de forma acicular, apoiados lateralmente entre si, ou arranjados em forma de tufos, observando-se a presença de pequenos fragmentos

quebradiços (menor que  $1\mu$ ) de forma irregular. Pode se observar também a presença de placas, com  $5\mu$  a  $8\mu$  de comprimento e  $3$  a  $4\mu$  de largura. O formato destas placas indica a possibilidade de formação de Hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), também presente na hidratação do cimento ou sugere a presença de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) no fragmento de amostra analisado, conforme especificação descrita no saco de gesso de revestimento utilizado na obra em que foi recolhido os resíduos (Figura 51). Outra possibilidade é a contaminação de pequena fração de impureza na amostra, conforme também relatado por Bardella (2011).

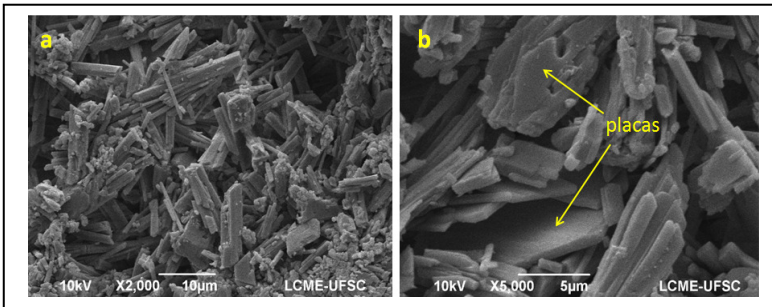


Figura 88 - Micrografia da pasta GR4 – Ampliações 2.000x (a) e 5.000x (b)

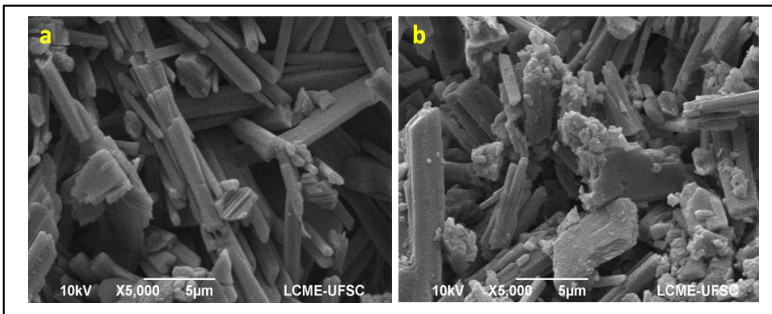


Figura 89 - Micrografia da pasta GR4 – Ampliações 5.000x (a) e (b)

As pastas de gesso reciclados GP4 e GR4, embora tenham apresentado uma diferença significativa nos resultados de resistência à compressão, apresentam semelhança na morfologia, com o descrito para o gesso

comercial de acordo com Lewry e Williamson (1994), Sing e Middendorf (2007) e estão de acordo com o descrito por Júnior (2008), Bardella (2011) e Pinheiro (2011) para o gesso reciclado tipo  $\beta$  utilizado na construção civil.

As micrografias apresentadas nas Figuras 90 e 91 representam a pasta de gesso reciclado de placas (GP8), calcinado a  $200^{\circ}\text{C}$ , por um tempo de 2 horas, com fator água/gesso igual a 1,15, nas ampliações de 120x, 1.000x, 2.000x, 5.000x.

A amostra fraturada da pasta de gesso GP8 apresenta de forma bem definida, bolhas de ar na sua estrutura interna (Figura 90a), ocasionadas por falta de um processo de adensamento adequado na confecção dos corpos de prova. Os cristais formados pela hidratação do hemi-hidrato de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ), apresentam forma acicular alongada apoiadas lateralmente entre si, ou organizadas em forma de tufo radiais (Figura 90b, Figura 91a e b) com a presença de poros, provenientes da evaporação da água livre, não utilizada no processo de hidratação do gesso.

Quanto mais água for utilizada na confecção da pasta, maior será a quantidade de vazios ou poros formados na hidratação do gesso, afastando os cristais entre si e por consequência diminuindo a resistência da pasta (LEWRY; WILLIAMSON, 1994b) e causando também uma diminuição na expansão da pasta de gesso, pelo fato de que uma maior quantidade de água deixar mais espaço para o crescimento dos cristais (KARNI; KARNI, 1995).

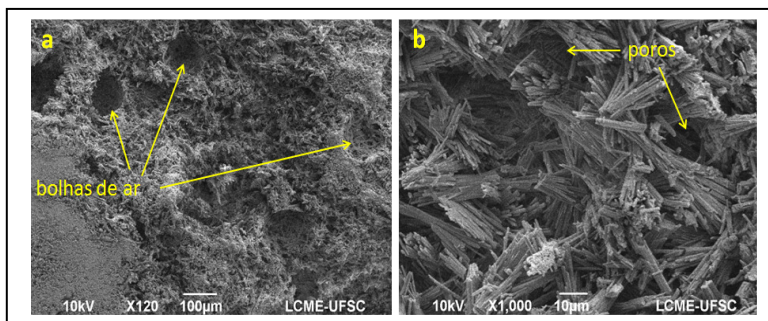


Figura 90 - Micrografia da pasta GP8 – Ampliações 120x (a) e 1000x (b)

O comprimento dos cristais formados na pasta GP8 varia de  $5\mu$  a pouco mais de  $20\mu$ , enquanto a o diâmetro da seção varia de  $0,4\mu$  a  $2,0\mu$  aproximadamente.

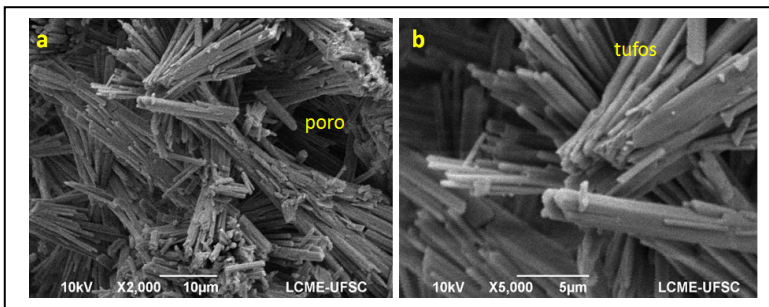


Figura 91 - Micrografia da pasta GP8 – Ampliações 2.000x (a) e 5.000x (b)

As Figuras 92 à Figura 94 representam as micrografias obtidas para o gesso reciclado de revestimento GR9, calcinado à  $200^{\circ}\text{C}$ , por um período de 4 horas, com fator de água/gesso igual a 1, ampliadas 120x, 1.000x, 1.100x, 3.000x e 5.000x.

Observa-se a presença de bolhas de ar (Figura 92a), no fragmento da pasta de gesso obtido a partir dos moldes rompidos no ensaio de resistência à tração na flexão. Bolhas de ar foram encontradas em todos os fragmentos analisados, podendo ser observadas também a olho nu, sem o auxílio de equipamentos de ampliação de imagens. Quanto maior a quantidade de bolhas de ar e poros, menor será a resistência e haverá aumento das propriedades higroscópicas, com absorção e transferência de umidade para ambiente.

A pasta de gesso GR9 apresenta um menor número de poros que a pasta GP8. Isto pode ser explicado pelo fator água/gesso que é menor para o GR9 e confirma a diferença significativa nos valores de resistência à compressão (Figura 72) dureza (tabela 4.9) e resistência a tração na flexão (Figura 76) com valores maiores para GR9 em relação a GP8 e a todos os outros gessos reciclados analisados.

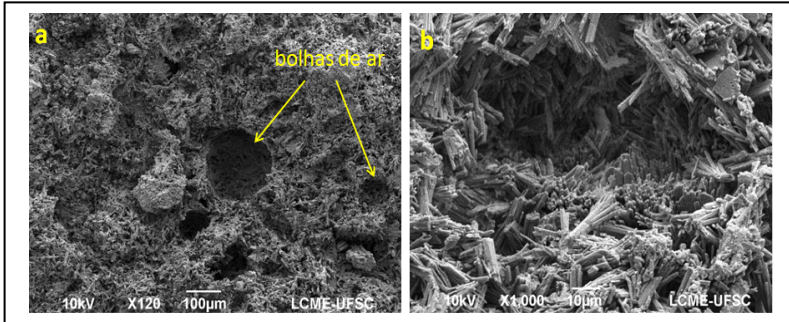


Figura 92 - Micrografia da pasta GR9 – Ampliações 120 (a) e 1.000x (b)

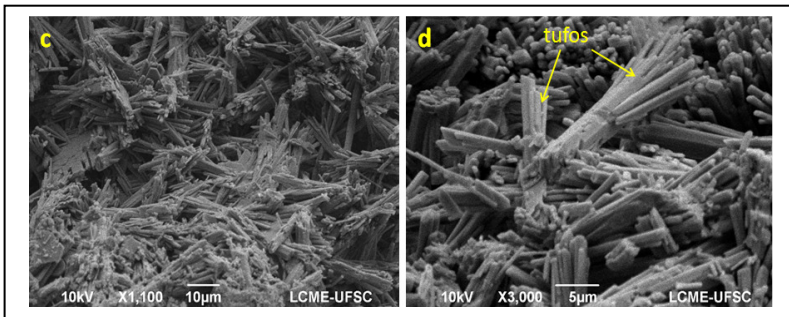


Figura 93 - Micrografia da pasta GR9 – Ampliações 1.100 (a) e 3.000x (b)

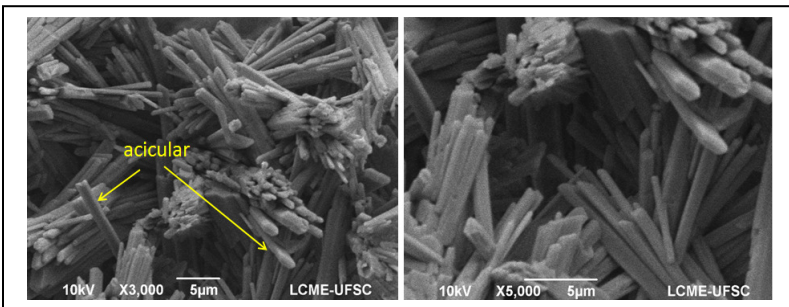


Figura 94 - Micrografia da pasta GR9 – Ampliações 3.000x (a) e 5.000x (b)

As micrografias analisadas para as pastas de gesso reciclado GP8 e GR9 apresentam morfologia de acordo com o descrito na literatura por Lewry e Williamson (1994), Sing e Middendorf (2007) para aspastas de gesso  $\beta$  comercial e estão de acordo com o descrito por Júnior (2008), Bardella (2011) e Pinheiro (2011) para o gesso reciclado tipo  $\beta$ , podendo ser utilizado na construção civil.

#### 4.10. Ensaio de Resistência de Aderência à Tração (Arrancamento)

Para a comprovação da viabilidade técnica do uso do gesso reciclado em revestimentos, foram revestidos blocos estruturais cerâmicos e blocos estruturais de concreto com os gessos reciclados GP8 e GR9 para comparar o desempenho com o revestimento de gesso comercial, conforme descrito no item 3.2.10 do capítulo 3, sem o uso de qualquer aditivo retardador de pega.

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência de aderência à tração das pastas de gesso são apresentados no Apêndice De foram realizados com 28 dias de idade, para o gesso comercial de referência (GC), gesso reciclado de placas GP8 e gesso reciclado de revestimento GR9 de acordo com a NBR 13528, aplicados em tijolos estruturais cerâmicos e de concreto.

A NBR 13.867 de Revestimento interno de paredes etetos com pasta de gesso – Materiais,preparo, aplicação e acabamento e a NBR 13.207 que caracteriza o gesso para construção civil, não apresentam valores de referência para o ensaio de resistência de aderência à tração.

As pastas de gesso reciclado GP8 e GR9 utilizadas no revestimento dos blocos, apresentaram boa consistência, semelhante a pasta de gesso comercial, porém tiveram um tempo útil de aplicação adequada a uma área pequena de revestimento, equivalente a superfície de três blocos. Para superfícies maiores seria necessário o uso de um retardador de pega para aumentar o tempo útil da pasta a ser aplicada.



Os blocos revestidos com gesso apresentaram superfície lisa, com pouca rugosidade, sem fissuras aparentes (Figura 95a e b), apresentando imperfeições principalmente nos primeiros blocos cerâmicos revestidos de gesso comercial GC (Figura 95a), inerentes a pouca experiência do aplicador, mas que não comprometeram a execução dos ensaios para a determinação da resistência de aderência à tração.

A Tabela 22 apresenta os resultados médios obtidos para os ensaios de resistência de aderência à tração (arrancamento), para o gesso comercial GC e para os gessos reciclados GP8 e GR9 aplicados nos blocos cerâmicos e de concreto.

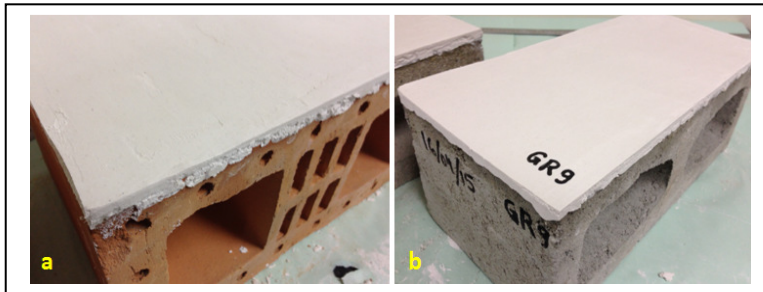


Figura 95 - Aspecto do revestimento de gesso reciclado em blocos cerâmicos e de concreto

Observa-se que nos revestimentos executados nos blocos cerâmicos, não há diferença significativa entre os valores médios de resistência, conforme confirmado na análise estatística de variância (ANOVA) do Apêndice D.1 e a Tabela 26. O valor obtido para GR9 foi aproximadamente 11% maior que valor obtido para GP e 9% maior que o valor obtido para o GC de referência. Esta boa relação de aderência das pastas de gesso ao substrato pode ser confirmada pela ruptura do substrato (bloco cerâmico) em um rompimento na pasta GC e três rompimentos do substrato na pasta GR, conforme indicado no Apêndice D e na foto 37d do item 3.2.10 do capítulo 3.

Tabela 22– Resistência média de aderência à tração (MPa)– GC, GP8 e GR9

Gesso	Bloco Cerâmico	Bloco Concreto
GC	0,642	1,223
GP8	0,626	0,827
GR9	0,704	1,152

Para os revestimentos executados nos blocos de concreto, os valores médios encontrados para o ensaio de resistência de aderência à tração apresenta uma diferença de aproximadamente 28% maior para o GR9 em relação ao GP8 e pouco menor que 6% em relação a GC. Não há diferença significativa entre nos revestimentos aplicados nos blocos de concreto com GC e GR9, conforme apresentado no quadro de resumo da análise estatística (Tabela 23).

Tabela 23– Diferença entre grupos de gesso – Resistência de aderência à tração

Diferenças significativas entre grupos			
Grupos	F	F crítico	
GC Cerâmico - GC Concreto	29,34858	4,19597	Diferença significativa
GP8 Cerâmico - GP8 Concreto	5,59698	4,27934	Diferença significativa
GR9 Cerâmico - GR9 Concreto	27,72124	4,19597	Diferença significativa
GC - GP8 - GR9 Cerâmico	0,49602	3,29454	NÃO existe diferença significativa
GC - GP8 - GR9 Concreto	9,00505	3,19506	Diferença significativa
GP8 - GR9 Concreto	9,00505	3,19506	Diferença significativa
GC - GR9 Concreto	0,47326	4,13002	NÃO existe diferença significativa

Valores maiores encontrados na resistência de aderência à tração para os revestimentos executados nos blocos de concreto, em relação ao revestimento executado nos blocos cerâmicos podem ser explicados pela maior rugosidade da superfície e maior tamanho dos poros do substrato concreto, permitindo que a pasta flua entre os poros, aumentando a superfície de ancoragem e por consequência aumentando a resistência à tração após o endurecimento.



Os resultados encontrados no ensaio de resistência de aderência à tração estão de acordo com o determinado pela NBR 13.749, de Revestimentos de paredes e tetos – Argamassas inorgânicas, que determina um valor mínimo de 0,20 MPa para a resistência de aderência à tração ( $R_a$ ). Esta é a norma adotada na maioria dos trabalhos, em virtude da falta de uma norma específica para a determinação da resistência de aderência à tração em revestimentos de pasta de gesso.

Estes resultados estão de acordo também com o critério estabelecido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), adotado no estudo de Bardella (2011) que determina que a tensão mínima de tração na aderência para revestimento novo de gesso deve ser igual ou superior a 0,5 MPa, conforme Dias (1994) *apud* (BARDELLA, 2011) e estão acima dos valores encontrado por Bardella, (2011) para gessos comerciais e reciclados, finos e grossos, misturados em proporção de 50% com gessos comerciais aplicados em blocos cerâmicos.

Os valores encontrados no ensaio de resistência de aderência à tração são também maiores do que os obtidos por Ribeiro (2006) para gesso comercial e para gessos reciclados.

Após os ensaios de resistência de aderência à tração foi realizado um teste, aplicando revestimento de gesso reciclado GP8 em um bloco estrutural cerâmico e em outro bloco estrutural de concreto, sem umedecer os substratos. Em uma parte de cada bloco foi aplicado pasta com a relação água/gesso determinada no ensaio de consistência normal de 1,15 e em outra parte dos blocos foi diminuída a relação água/gesso para 0,75.

O resultado apresentado na Figura 96a mostra pequenas microfissuras, quase imperceptíveis na pasta aplicada no bloco cerâmico com relação água/gesso de 1,15, enquanto a pasta aplicada com relação água/gesso diminuída para 0,75 apresentou fissuras em toda área revestida. Isto pode explicar os resultados de fissura na pasta aplicada em blocos cerâmicos, ocorridos no trabalho de Bardella (2011),

que provavelmente usou baixa relação água/gesso para aplicar em blocos cerâmicos.

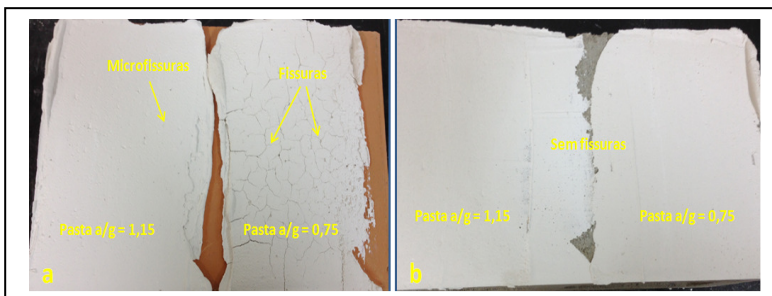


Figura 96 - Teste com pasta de  $a/g = 0,75$  em bloco cerâmico (a) e de concreto (b)

As duas pastas de gesso reciclado, aplicadas sobre o bloco de concreto não apresentaram fissuras (Figura 96b). A explicação para esta diferença com relação aos blocos cerâmicos está na ação do fenômeno de capilaridade. Por terem poros menores, os blocos cerâmicos absorvem ou “puxam” (na linguagem de obra) mais rapidamente a água destinada à cristalização do hemi-hidrato de sulfato de cálcio, não permitindo completar a hidratação, impedindo a expansão dos cristais e causando por consequência as fissuras. Poros maiores no bloco de concreto não absorvem rapidamente a água destinada a hidratação do gesso, permitindo completar a cristalização sem o aparecimento das fissuras.

#### 4.11. Ensaio de Placas de Gesso para Forro – Dimensões e Propriedades Físicas

Os ensaios para a avaliação das medidas e desempenho das placas lisas de gesso para forro, confeccionadas com gessos reciclados GP8 e GR9, comparados com as placas confeccionadas com o gesso comercial de referência GC, seguem o preconizado pela NBR 12.775 – Placas lisas de gesso para forro – Determinação das dimensões e propriedades físicas (ABNT, 1992), de acordo

com o descrito no item 3.2.11 do capítulo 3 e foram realizados 28 dias após a confecção das placas de gesso reciclado. As massas das placas produzidas com gesso reciclado GP8 (4 placas) e GR9 (5 placas) são apresentadas na tabela E.4 do Apêndice E.

No processo de confecção das placas observou-se que o gesso em pó reciclado GP8 “não afundava” na linguagem do operário. Foi preciso ajuda manual para que o gesso tivesse contato mais rápido com a água e iniciasse o processo de indução. Este fato é explicado pelo baixo valor de massa unitária dos gessos reciclados e pela presença de ar nos grumos formados nos gessos reciclados.

Foram feitas medições para a determinação das dimensões das placas, espessura e largura do reforço lateral, dimensões dos encaixes macho e fêmea, espessura da região central, massa específica e resistência à flexão. Não foram realizados os ensaios de resistência do elemento de fixação por ter se verificado nas obras não existir um padrão de fixação, podendo ser feito por parafusos, arames ou sisal com gesso cola e a norma não especificar o tipo de ancoragem.

Os resultados das dimensões e propriedades físicas são apresentados na Tabela 24 e conforme croqui do detalhe macho fêmea das placas (Figura 97).

Para a massa específica, foi calculada a média de dois corpos de prova de 80 x 80 mm x espessura da placa, extraídos da parte central da placa conforme croqui da figura 39 do item 3.2.11 do capítulo 3, enquanto para a resistência à flexão foi o resultado da média de quatro corpos de prova de 20 x 120 mm, cujos cálculos estão no Apêndice E.

Observa-se que nos itens analisados de dimensões das placas, dimensões do encaixe macho e fêmea e espessura da região central, não houve diferença significativa entre as medidas das placas de gesso reciclado GP8 e GR9, comparadas com o das placas de gesso comercial de referência GC. As maiores variações em dimensões são observadas na largura do reforço lateral, ocasionadas por

formas com tamanhos variáveis utilizadas na moldagem da parte superior das placas na confecção dos reforços.

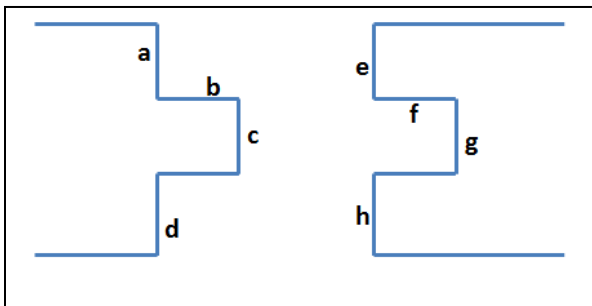


Figura 97 - Detalhe encaixe da placa

Tabela 24– Dimensões e Propriedades Físicas – Placas Lisas para Forro

<b>Determinação das Dimensões e Propriedades Físicas - Placas Lisas de Gesso para Forro</b>					
		<b>Unidade</b>	<b>GC</b>	<b>GP8</b>	<b>GR9</b>
1	<b>Dimensões da Placa</b>				
2	lado a	mm	697	700	700
3	lado b	mm	697	700	700
4	diagonal	mm	985	988	998
5	<b>Dimensões encaixe macho e fêmea</b>				
6	a	mm	9,2	9,1	9,1
7	b	mm	8,1	7,9	8,1
8	c	mm	11,0	11,1	11,2
9	d	mm	8,3	8,4	8,0
10	e	mm	12,4	12,1	12,0
11	f	mm	8,3	8,1	8,4
12	g	mm	8,5	8,1	8,6
13	h	mm	8,2	8,5	8,4
14	Espessura da região central	mm	11,4	11,9	11,6
20	Espessura do reforço lateral	mm	28,7	28,9	28,7
21	Largura do reforço lateral	mm	31,6	32,6	49,9
22	Largura do reforço lateral	mm	35,1	48,3	42,5
23	Largura do reforço lateral	mm	32,7	45,5	49,7
24	Largura do reforço lateral	mm	34,0	39,1	39,6
25	Largura do reforço lateral (média)	mm	33,4	38,9	45,4
26	Massa específica	kg/m <sup>3</sup>	876,234	722,451	758,878
27	Resistência à flexão	Mpa	3,424	1,918	1,964

Entretanto na análise de massa específica mostra um valor maior para o gesso comercial de referência GC em relação aos gessos reciclados de placa GP8 e revestimento GR9 de 21% e 15% respectivamente. Isto pode ser explicado pelos valores de massa unitária mais baixos (253,11 kg/m<sup>3</sup> para GP8, 389,37 kg/m<sup>3</sup> para GR9 e 703,12 kg/m<sup>3</sup> para GC) para os gessos reciclados e pela relação água/gesso, que sendo maior para os gessos reciclados (GP8=1,15, GR9=1 e GC=0,75), proporciona maior volume de vazios no gesso endurecido, após a evaporação da água que não foi utilizada na transformação do hemi-hidrato e di-hidrato de sulfato de cálcio.

Como consequência de menores valores de massa específica para os gessos reciclados GP8 e GR9, os valores de resistência também foram mais baixos, representando 56% e 57% respectivamente do valor de resistência à flexão obtido em relação à placa de gesso comercial de referência GC, não havendo diferença significativa entre eles. Estes valores mais baixos de resistência também tiveram contribuição de uma maior relação água/gesso no processo de fabricação das placas, que foi feita de forma empírica, de acordo com os valores do Apêndice E, de forma a garantir uma maior fluidez da pasta na colocação nas formas. Os valores obtidos para as placas analisadas são: GP8 – a/g = 1,52 e GR9 – a/g = 1,35.

A NBR 12.775 de Placas lisas de gesso para forro – Dimensões e propriedades físicas, bem como outras normas brasileiras para gesso, não apresentam valores de referência para resistência à flexão das placas. Entretanto os valores estão de acordo com o encontrado por Petrucci, (1998) *apud* Savi, (2012) para pastas produzidas com uma relação a/g = 1 com resistência obtida de 1,99 MPa e estão aproximadamente 25% inferiores aos valores de resistência à flexão, encontrados por Savi, (2012) para o gesso reciclado.

Os valores encontrados para a resistência à flexão nos gessos reciclados de placas e de revestimento, para os moldes retirados das placas estão abaixo do preconizado pela Norma Europeia que determina valor maior que 3,0 N/mm<sup>2</sup>. Porém os valores de resistência à flexão estão

compatíveis com os resultados encontrados por Magalhães, (2009) para componentes de gesso com o uso de fibras de coco, bambu ou sisal, que obteve valores médios de 0,93 MPa (fibras de coco), 2,07 MPa (fibra de bambu) e 3,08 MPa para placas de gesso com o uso de fibra de sisal.

Com relação à análise do aspecto visual das placas, tanto as placas produzidas com o gesso reciclado GP8, quanto às produzidas com o gesso reciclado GR9, apresentaram um aspecto com boa aparência, com superfície lisa na parte que fica aparente no forro, sem o aparecimento de bolhas de ar na maioria das placas analisadas, apresentando aspecto semelhante às placas produzidas com gesso comercial GC (Figura 98a). No lado da placa onde fica o reforço lateral, verificou-se o aparecimento de bolhas de ar, pela falta de vibração lateral, no processo de moldagem das placas na fábrica. Estas bolhas aparecem tanto nas placas produzidas com o gesso reciclado GP8 e GR9, quanto nas produzidas com GC (Figura 98b).



Figura 98 - Placas produzidas com gesso reciclado GP8 e GR9

Em duas placas, houve o aparecimento na superfície lisa de pequenas bolhas de tamanhos menores que 1 mm, indicando pouca vibração do molde da placa, comuns também nas placas de GC, imperfeições que são corrigidas no processo de instalações das placas em forros.

#### 4.12 Avaliação das molduras de acabamento

Foram executadas duas peças de moldura de acabamento com um metro de comprimento cada (Figura 99), sendo uma com GP8 e outra com GR9. Observou-se que ambas as pastas adquiriram consistências adequadas ao manuseio para a confecção das peças, sendo que o gesso reciclado GP8 teve um tempo de manuseio maior, enquanto que GR9 endureceu mais rapidamente. Para a confecção de peças em mesa de 10 metros, GR9 não seria adequado sem o uso de aditivo retardador de pega. Porém para a confecção de placas para forro, o fato de ter um tempo menor de manuseio da pasta, é um importante parâmetro a ser considerado, quando se busca aumentar a produtividade no processo.

De acordo com observação do operário que confeccionou as molduras, o pó de gesso reciclado GP8 “afunda menos na água” que o pó de gesso reciclado GR9. Fato explicado pela menor massa unitária de GP8 em relação à GR9. As duas pastas de gesso reciclado apresentaram consistência semelhantes ao gesso comercial utilizado na indústria de confecção de placas e molduras.

As duas peças tiveram um acabamento de superfície lisa, sendo observado bom aspecto visual, semelhante às produzidas com gesso comercial, apresentando resistência adequada para a confecção de peças para acabamento. Embora não tenha sido feito ensaio de resistência em laboratório, por se tratar de peça de seção de perfil curvo (Figura 99), com altura de seção variável, após aproximadamente 25 minutos da confecção da peça, ela foi suspensa e apoiada em um ponto central, sem quebrar, indicando resistência adequada a uma boa peça confeccionada com gesso comercial de acordo com teste prático realizado em fábrica.

As peças (placas e moldes de acabamento) fabricadas com gesso reciclado são mais leves que as fabricadas com gesso comercial, em função da menor massa unitária do pó e



do maior fator água/gesso na confecção da pasta, propiciando menor carga adicionada à estrutura da construção.

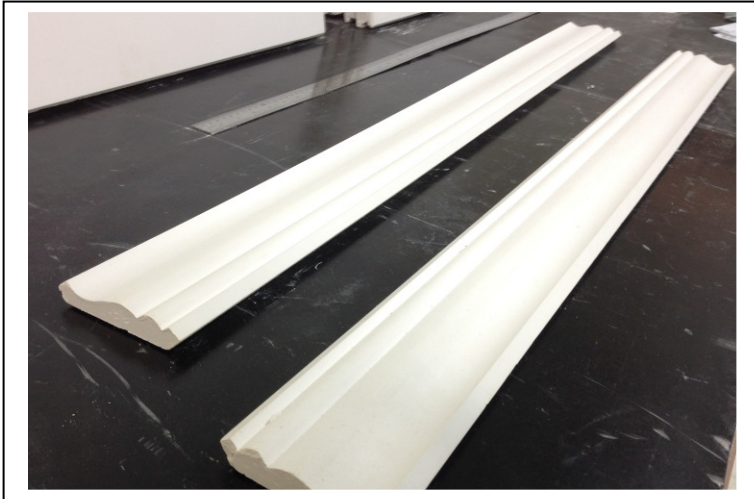


Figura 99 - Molduras produzidas com gesso reciclado GP8 e GR9



## 5. CONCLUSÕES

A escolha do tema para esta dissertação foi motivada pela necessidade de contribuir para a qualidade e melhoria do ambiente do espaço urbano da sociedade. Diminuir a produção de resíduos ou reaproveitá-los traz vantagens pela redução do ritmo de esgotamento dos recursos naturais. Contribui para a redução dos aterros e conseqüente redução de contaminações do solo. Ajuda a diminuir o montante de descarte inadequado de produtos contaminantes e diminui a formação de gases gerados na fabricação e transporte do gesso.

Este capítulo apresenta as conclusões dos experimentos analisados no capítulo anterior, bem como recomendações para trabalhos futuros.

Com relação às propriedades do pó:

O processo de fabricação do gessoreciclado produziu em laboratório um gesso de construção tipo  $\beta$  ( $\text{CaCO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ), fino ( $\text{MF}=0,325$  para GP8 e  $\text{MF}=0,775$  para GR9) e mais leve (GP8 de  $\text{MU} = 253,11 \text{ kg/m}^3$  e GR9 de  $\text{MU} = 389,37 \text{ kg/m}^3$ ) que o gesso avaliado produzido comercialmente (GC de  $\text{MU} = 703,12 \text{ kg/m}^3$ ), propiciando a confecção de placas, molduras para forro e pastas de revestimento mais leves, diminuindo a sobrecarga aplicada à estrutura de uma construção. Os gessos reciclados em pó apresentaram características químicas e microestruturais semelhantes às do gesso comercial de referência.

Com relação às propriedades da pasta:

Os tempos de início e fim de pega das pastas produzida com gesso reciclado foram maiores que as pastas produzidas com gesso comercial. Isso pode ser atribuído ao módulo de finura mais baixo dos gessos reciclados, que exigiu uma relação maior de água/gesso, influenciando na cinética de hidratação da pasta.

Existe uma influência direta do tempo, da temperatura de calcinação e do fator água/gesso nas resistências à compressão e à tração na flexão para os gessos produzidos e analisados. Os gessos reciclados produzidos que

apresentaram os melhores resultados nos ensaios de resistência à compressão e tração na flexão foram os gessos reciclados de placa GP8, calcinado à 200° C por 2 horas e os gessos reciclados de revestimento GR9, calcinados à 200° C por 4 horas.

Os gessos reciclados aplicados a superfícies de blocos cerâmicos e de blocos de concreto apresentaram boa resistência de aderência à tração, bom aspecto visual com superfície de acabamento lisa e sem fissuras aparentes. As pastas aplicadas aos blocos apresentaram boa fluidez e consistência adequada para trabalhar em superfícies pequenas, sendo recomendado o uso de aditivos retardadores de pega, para aumentar o tempo útil de trabalhabilidade das pastas para uso em superfícies maiores. As resistências de aderência à tração de GR9 aplicadas em blocos cerâmicos apresentam resultados médios melhores que os de GP8 e do gesso comercial de referência GC. Gessos reciclados de massa unitária menor produzem pastas de revestimentos mais leves, diminuindo a sobrecarga aplicada às alvenarias e estrutura da construção.

As placas para forro produzidas com o gesso reciclado apresentaram valores médios de massa específica menor (GP8 = 722,45 kg/m<sup>3</sup> e GR9 = 758,88 kg/m<sup>3</sup>) que a das placas de gesso comercial (GC = 876,23 kg/m<sup>3</sup>). Por consequência apresentaram também resistência à flexão menor para as placas de gessos reciclados GP8 e GR9 do que a resistência à flexão das placas confeccionadas com gesso comercial (GC). As placas confeccionadas com gessos reciclados GP8 e GR9 apresentam aspecto visual semelhante às placas GC. Seria importante avaliar o desempenho das placas confeccionadas com gesso reciclado ao longo do tempo, instaladas em forro, com as variações de temperatura e umidade relativa do ar, para a comprovação da permanência da cor, aparecimento de manchas, etc.

Para todos os gessos reciclados de placas e revestimentos, calcinados nas temperaturas de 140°C, 170°C e 200°, as imagens avaliadas na microscopia eletrônica de varredura (MEV), apresentam aspectos morfológicos semelhantes ao gesso comercial de referência apresentando

os cristais em forma de agulha entrelaçados, sendo que o GR4 apresenta agulhas menores com a presença de placas e pequenos fragmentos.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão e dureza mostram valores menores que o determinado pela Norma Brasileira, para quase todos os gessos reciclados analisados, com exceção de GR9, em uma segunda análise. Porém os testes feitos com GP8 e GR9 atendem o preconizado pela Norma Europeia. O gesso reciclado GR9 atende também o preconizado para o ensaio de resistência à tração na flexão da EN e que não possui valor de referência na Norma Brasileira. Um controle maior no processo de moagem que garanta uma melhor distribuição granulométrica que garanta maior proporção de grãos na faixa de 20 à 140  $\mu\text{m}$ , pode contribuir para o aumento das resistências de compressão e tração dos gessos reciclados produzidos.

Propostas para trabalhos futuros.

O presente trabalho atendeu aos objetivos propostos, indicando a viabilidade técnica do uso de gesso reciclado, com a finalidade de reintroduzi-lo na cadeia produtiva da construção, em revestimento de alvenarias e placas e molduras para forro, minimizando os impactos causados por seu descarte.

Porém é importante a avaliação de outros aspectos, para a compreensão do comportamento do gesso, quando submetido à ação de outras variáveis não contempladas neste estudo, conforme as sugeridas.

1. Avaliar as propriedades do gesso reciclado a partir de um processo de moagem que garanta uma melhor distribuição granulométrica, produzindo um gesso com menos finos.
2. Avaliar as propriedades físicas, mecânicas e químicas do gesso reciclado com o uso de aditivos plastificantes, retardadores de pega e hidrofugantes,

3. Produzir e avaliar as propriedades para o gesso reciclado recolhido de placas e revestimentos misturados, preferencialmente recolhido das estações de transbordo e/ou locais de armazenamento de gesso, verificando as interferências de materiais contaminantes.
4. Avaliar o desempenho mecânico e de durabilidade do gesso reciclado para o uso em blocos ou componentes para paredes divisórias.
5. Avaliar o desempenho de blocos ou componentes para paredes, fabricados com gesso reciclado produzidos com pastas de baixo teor de água e com a aplicação de pressão.

Espera-se com este trabalho indicar caminhos a serem tomados pelos agentes envolvidos no processo de produção e execução do gesso em construções e contribuir para a diminuição dos impactos ambientais causados por este material de maneira que ele não encerre o seu ciclo de vida no primeiro descarte.

## REFERÊNCIAS

\_\_\_\_\_. **NBR 12127 - 1991 - Gesso para Construção - Determinação das Propriedades Físicas do Pó.** . Rio de Janeiro: ABNT. , 1991a

\_\_\_\_\_. **NBR 12128 - 1991 - Gesso Para Construção - Determinação das Propriedades Físicas da Pasta - Mb 3469.** . Rio de Janeiro: ABNT. , 1991b

\_\_\_\_\_. **NBR 12129 - 1991 - MB 3470 - Gesso Para Construção - Determinação das Propriedades Mecânicas.** . Rio de Janeiro: ABNT. , 1991c

\_\_\_\_\_. **NBR 12130 - MB 3471 - Gesso para construção - Determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico.** . Rio de Janeiro: ABNT. , 1991d

\_\_\_\_\_. **NBR 12775 - placas de gesso para forro - dimensões e propriedades físicas.** . Rio de Janeiro: ABNT. , 1992

\_\_\_\_\_. **NBR 13207; Gesso para construção civil.** . Rio de Janeiro: ABNT. , 1994

\_\_\_\_\_. **NBR 13529 Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas.** . Rio de Janeiro: ABNT. , 1995

\_\_\_\_\_. **NBR 13.528 - Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tracção.** . Rio de Janeiro: ABNT. , 1996a

\_\_\_\_\_. **NBR 13.749 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação.** . Rio de Janeiro: ABNT. , 1996b

\_\_\_\_\_. **NBR 13867 Revestimento interno de paredes e tetos com pasta de gesso - Materiais, preparo , aplicação e acabamento.** . Rio de Janeiro: ABNT. , 1997

\_\_\_\_\_. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** . Rio de Janeiro: ABNT. , 2005

ABERLE, T.; HERSCHKE, L.; EMMENEGGER, P.; *et al.* **10th Global Gypsum Conference & Exhibition 2010.** New approaches to increase water resistance of gypsum-based building materials. **Anais...** Paris: Global Gypsum Magazine. , 2010

AHMED, A.; UGAI, K. Environmental effects on durability of soil stabilized with recycled gypsum. **Cold Regions Science and Technology**, v. 66, n. 2-3, p. 84–92, maio 2011.

AHMED, A.; UGAI, K.; KAMEI, T. LABORATORY AND FIELD EVALUATIONS OF RECYCLED GYPSUM AS A STABILIZER AGENT IN EMBANKMENT CONSTRUCTION. **Japanese Geotechnical Society**, v. 51, n. 6, p. 975–990, 2012.

ANG, C. N.; WANG, Y. C. Effect of moisture transfer on specific heat of gypsum plasterboard at high temperatures. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 2, p. 675–686, fev 2009.

ARAÚJO, M.; CALIL, C.; SAVASTANO, H. Microstructure and Mechanical Properties of Gypsum Composites Reinforced with Recycled Cellulose Pulp. **Materials Research**, v. 11, n. 4, p. 391–397, 2008.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. DE F.; LUZ, A. B. DA. **Diagnóstico do pólo gessoso de Pernambuco (Brasil) com ênfase na produção de gipsita para fabricação de cimento.** IV Jornadas IBEROAMERICANAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, Anais. **Anais...** [S.l: s.n.], 2004

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. DE F.; LUZ, A. B. DA. Centro de Tecnologia Mineral Ministério da Ciência e Tecnologia. **Gipsita - Capítulo 21.** [S.l: s.n.], 2005. .

BALTAR, L. M.; BALTAR, C. A. M.; BENACHOUR, M. Effect of carboxymethylcellulose on gypsum re-hydration process. **International Journal of Mineral Processing**, v. 125, p. 5–9, 2013.



BARDELLA, P. S. **Análise das Propriedades de Pastas de Gesso de Construção Reciclado**. [S.l.]: Universidade Estadual de Campinas, 2011.

BATTAGIN, A. F.; BATTAGIN, I. L. DA S. O Cimento Portland no Brasil. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2a Edição ed. São Paulo, SP: IBRACON, 2010. .

BERNHOEFT, L. F. **CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSA COM GESSO RECICLADO**. [S.l.]: UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO, 2010.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos**. . Brasília, Brasil: DOU 03.08.2010. , 2010

CAVALCANTI, L. B. **DETERMINAÇÃO DE CONDIÇÕES OPERACIONAIS ADEQUADAS NA DESIDRATAÇÃO DO MINÉRIO DE GIPSITA PARA OBTENÇÃO DE UM GESSO BETA RECICLÁVEL**. [S.l: s.n.], 2006.

CHANDARA, C.; AZIZLI, K. A. M.; AHMAD, Z. A.; SAKAI, E. Use of waste gypsum to replace natural gypsum as set retarders in portland cement. **Waste management (New York, N.Y.)**, v. 29, n. 5, p. 1675–9, maio 2009.

CONAMA. **Resolução Nº 307, de 5 de Julho de 2002**. . Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente. , 2002

CONAMA. **Resolução No 431, de 24 de maio de 2011**. . Brasília, Brasil: Conselho Nacional do Meio Ambiente. , 2011

DANTAS, H. F.; MENDES, R. A. S.; PINHO, R. D.; *et al.* CHARACTERIZATION OF GYPSUM USING TMDSC. **Journal Of Thermal Analysis**, v. 87, p. 691–695, 2007.

FERNANDES, C. A. H.; CÂMARA, E. **Gerenciamento de Resíduos Provenientes da Aplicação de Forro de Gesso em Obra da Construção Civil**. . Florianópolis: Trabalho da Disciplina Reaproveitamento de Resíduos e Gestão Ambiental na Construção Civil - Prof. Dra Janaíde Cavalcante Rocha PPGEC - UFSC. , 2012

FERNANDES, C. A. H.; RODRIGUES, K. Avaliação da Viabilidade Técnica da Utilização de Resíduos de Gesso de. **SEPEI 2013 - Seminário de Pesquisa e Inovação do IFSC**, n. 1, 2013.

FERNANDES, G. D.; AMARAL, T. G. DO. Comprovação da Viabilidade Financeira do Gesso Projetado. **XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, n. 1, p. 272–281, out 2012.

FILHO, H. J. B. DE L. **TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DE GESSO DA CONSTRUÇÃO E DA DEMOLIÇÃO-RCD PARA A PRODUÇÃO DE GESSO BETA RECICLADO**. [S.l.]: Universidade Federal de Pernambuco, 2010.

GUAN, B.; YE, Q.; WU, Z.; LOU, W.; YANG, L. Analysis of the relationship between particle size distribution of ??-calcium sulfate hemihydrate and compressive strength of set plaster-Using grey model. **Powder Technology**, v. 200, n. 3, p. 136–143, 2010.

GUTIÉRREZ-GONZÁLEZ, S.; ALONSO, M. M.; GADEA, J.; RODRÍGUEZ, A.; CALDERÓN, V. Rheological behaviour of gypsum plaster pastes with polyamide powder wastes. **Construction and Building Materials**, v. 38, p. 407–412, jan 2013.

GUTIÉRREZ-GONZÁLEZ, S.; GADEA, J.; RODRÍGUEZ, A.; BLANCO-VARELA, M. T.; CALDERÓN, V. Compatibility between gypsum and polyamide powder waste to produce lightweight plaster with enhanced thermal properties. **Construction and Building Materials**, v. 34, p. 179–185, set 2012.

GYPSUM, R. I. **Gypsum Recycling**. . Dinamarca: Disponível em: <<http://www.gypsumrecycling.biz/>>. Acesso em 20 fevereiro 2016. , [S.d.]

HABITARE. *Habitare: resultados de impacto 1995|2007*. **Habitare**, 2007.

HENAO, A. M. H.; CINCOTTO, M. A. **Seleção de Substâncias Retardadoras do Tempo de Pega do Gesso de Construção**. . São Paulo, SP: Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. , 1997

JIMÉNEZ RIVERO, A.; SATHRE, R.; GARCÍA NAVARRO, J. Life cycle energy and material flow implications of gypsum plasterboard recycling in the European Union. **Resources, Conservation and Recycling**, v. In Press, n. January 2013, p. 171–181, 2016.

JOHN, V. M.; ANGULO, S. C.; MIRANDA, L. F. R.; *et al.* **Strategies For Innovation In Construction Demolition Waste Management In Brazil Strategies For Innovation In Construction**. CIB WORLD BUILDING CONGRESS. **Anais...** Toronto: Proceedings.Toronto, ANTAC. , 2004

JOHN, V. M.; CINCOTO, M. A. Capítulo Gesso na Construção Civil. In: C. ISAIÁ, G. (Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípio de Ciência e Engenharia de Materiais –** 2a Edição ed.São Paulo, SP: IBRACON, 2010. .

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. Alternativas De Gestão Dos Resíduos De Gesso. **Universidade de São Paulo - Escola Politécnica**, p. 1–9, 2003.

JÚNIOR, A. R. M. **OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS NA DESIDRATAÇÃO DA GIPSITA PARA OBTENÇÃO DE UM GESSO BETA RECICLÁVEL**. [S.l: s.n.], 2008.

KARNI, J.; KARNI, E. Gypsum in construction: origin and properties. **Materials and Structures**, v. 28, n. 2, p. 92–100, 1995.

LANZÓN, M.; GARCÍA-RUIZ, P. A. Effect of citric acid on setting inhibition and mechanical properties of gypsum building plasters. **Construction and Building Materials**, v. 28, n. 1, p. 506–511, mar 2012.

LEWRY, A. J.; WILLIAMSON, J. The setting of gypsum plaster - Part I The hydration of calcium sulphate hemihydrate. **Journal of Materials Science**, v. 29, n. 20, p. 5279–5284, 1994a.

LEWRY, A. J.; WILLIAMSON, J. The setting of gypsum plaster - Part II The development of microstructure and strength. **Journal of Materials Science**, v. 29, n. 21, p. 5524–5528, 1994b.

LEWRY A.J., WILLIAMSON J., M. J. Sci. 29 (1994) 5279, J. Mater. Sci. 29 (1994) 5524, J. Mater. Sci. 29 (1994) 6085. [3]. 1994.

LUZ, C. A. DA; CHERIAF, M.; ROCHA, J. C.; AMBROISE, J.; PERA, J. Estudo de um cimento com baixo impacto ambiental (BIA) a partir do clínquer sulfoaluminoso e do fosfogesso. **Ambiente Construído**, ANTAC, v. V.5, n.4, p. 7–27, 2005.

MAGALHÃES, A. C. T. V. DE. **ESTUDO DE FIBRAS VEGETAIS, MUCILAGEM DE CACTO E GESSO EM COMPONENTES CONSTRUTIVOS**. [S.l.]: Universidade de Brasília, 2009.

MAKSOUD, M. A.; ASHOUR, A. Heat of hydration as a method for determining the composition of calcined gypsum. **Thermochemica Acta**, v. 46, n. 3, p. 303–308, 1981.

MARVIN, E.; DIVISION, W. M. Gypsum Wallboard Recycling and Reuse Opportunities in the State of Vermont. **Processing**, 2000.

MELO, D. DE C. P. DE. **PROCESSO DE CALCINAÇÃO DA GIPSITA/RESÍDUO EM UM FORNO ROTATIVO CONTÍNUO PARA A PRODUÇÃO DE GESSO BETA RECICLÁVEL**. [S.l.]: Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

MME. **Relatório Técnico 34 - Perfil Da Gipsita**. . Brasília: Ministério de Minas e Energia. , 2009

MONTERO, A; TOJO, Y.; MATSUO, T.; *et al.* Gypsum and organic matter distribution in a mixed construction and demolition waste sorting process and their possible removal from outputs. **Journal of hazardous materials**, v. 175, n. 1-3, p. 747–53, 15 mar 2010.

NAETH, M. A.; WILKINSON, S. R. Can we build better compost? Use of waste drywall to enhance plant growth on reclamation sites. **Journal of Environmental Management**, v. 129, p. 503–509, 2013.

NITA, C.; PILEGGI, R. G.; CINCOTTO, M. A.; JOHN, V. M. **Estudo da Reciclagem do Gesso de Construção**. . São Paulo, SP: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável - X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. , 2004

PERES, LUCIANO; BENACHOUR, MOHAND; SANTOS, V. A. **Gesso: Produção e utilização na construção civil**. 1a. ed. Recife: Sebrae, 2008.

PINHEIRO, S. M. DE M. **GESSO RECICLADO: AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES PARA USO EM COMPONENTES**. [S.l.]: UNICAMP, 2011.

PLÂTRE, LE. **História do Gesso - Syndicat National des Industries du Plâtre – EYROLLES-1982 – Paris**. Disponível em: <<http://www.mpgesso.com.br/?p=31>>. Acesso em: 3 abr. 2012.

RIBEIRO, A. S. **PRODUÇÃO DE GESSO RECICLADO A PARTIR DE RESÍDUOS ORIUNDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**. [S.l: s.n.], 2006.

ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. Aproveitamento de resíduos na construção. **Habitare**, v. 4, n. 1988, p. 72–93, 2003.

SAVI, O. **PRODUÇÃO DE PLACAS DE FORRO COM A RECICLAGEM DO GESSO**. [S.l.]: Universidade Estadual do Paraná, 2012.

SAVI, O.; SOUZA, R. A. DE; MÁRIO, A.; *et al.* Massa Unitária do gesso reciclado e convencional. **ENTECA 2013 - IX Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura - Universidade Estadual de Maringá**, p. 1–11, 2013.

SERNA, Á.; GABRIEL, J.; GONZÁLEZ, M. Improvement of gypsum plaster strain capacity by the addition of rubber particles from recycled tyres. v. 35, p. 633–641, 2012.

SIEVERT, T.; WOLTER, A.; SINGH, N. B. Hydration of anhydrite of gypsum (CaSO<sub>4</sub>.II) in a ball mill. **Cement and Concrete Research**, v. 35, n. 4, p. 623–630, abr 2005.

SILVA, C. G. **Inovações tecnológicas para o melhor aproveitamento do gesso nas construções**. João Pessoa - PB: Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 2010.

SINDUSCON. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil A experiência do SindusCon-SP**. Disponível em: <[www.sindusconsp.com.br/downloads/prodserv/publicacoes.](http://www.sindusconsp.com.br/downloads/prodserv/publicacoes.)>.

SINDUSGESSO. **Sindicato da Indústria do Gesso Estado de Pernambuco**. Disponível em: <[http://www.sindusgesso.org.br/polo\\_gesseiro.asp](http://www.sindusgesso.org.br/polo_gesseiro.asp) - Acesso em 08/04/2012>.

SINGH, N. B.; MIDDENDORF, B. Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization. **Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials**, v. 53, n. 1, p. 57–77, 2007.

SOBRINHO, C. W. P. **PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS PASTAS PARA REVESTIMENTO**. Encontro Nacional Sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção - ENARC. **Anais...** Feira de Santana: [s.n.], 2009

TAVARES, Y. V. P.; JÚNIOR, A. C. L.; SCHMITZ, I. B. T. A.; JOHN, V. M. Reaproveitamento do resíduo de gesso na execução de revestimento interno de vedação vertical. **Ambiente Construído, ANTAC - Porto Alegre**, v. 10, n. 11, p. 103–119, 2010.

TOVAR-RODRÍGUEZ, G.; BARRA, M.; PIALARISSI, S.; APONTE, D.; VÁZQUEZ, E. Expansion of mortars with gypsum contaminated fine recycled aggregates. v. 38, p. 1211–1220, 2013.

TROVÃO, A. P. M. **Pasta de gesso com incorporação de resíduo de gesso e aditivo retardador de pega**. [S.l.]: Universidade Federal do Espírito Santo, 2012.

TYDLITÁT, V.; MEDVEĎ, I.; ČERNÝ, R. Determination of a partial phase composition in calcined gypsum by calorimetric analysis of hydration kinetics. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, p. 57–62, 12 fev 2011.

ZHAO, F.; LIU, H.; HAO, L.; LI, Q. Water resistant block from desulfurization gypsum. **Construction and Building Materials**, v. 27, n. 1, p. 531–533, fev 2012.

## APÊNDICE A





Tabela 1 – Perda de massa pela cura nos corpos de prova - GC

Perda de massa nos corpos de prova - GC													
Gesso		3 dias			7 dias			28 dias			91 dias		
GC	Desmoldado 05/11/2014 (g)	07/11/14 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	10/11/14 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	01/12/14 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	04/02/15 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
1	188,31	166,18	22,00	11,00									
2	188,80	167,59	21,00	11,00									
3	188,77	166,37	22,00	11,00									
4	190,87	170,40	20,47	10,00	142,27	48,60	25,46						
5	190,13	170,35	19,78	10,00	144,95	45,18	23,76						
6	190,76	169,39	21,00	11,00	143,05	47,71	25,01						
7	191,66	173,26	18,00	9,00	146,55	45,11	23,54	138,52	53,14	27,73			
8	190,22	171,67	18,00	9,00	149,61	40,61	21,35	136,91	53,31	28,03			
9	190,11	170,05	20,00	10,00	147,33	42,78	22,50	136,75	53,36	28,07			
10	191,07	175,07	16,00	8,00									
11	190,69	171,51	19,00	10,00	146,44	44,25	23,00	136,71	53,98	28,31	137,91	52,78	27,68
12	188,21	167,40	20,00	11,00	144,74	43,47	23,00	135,38	52,83	28,07	136,47	51,74	27,49

Tabela 2 – Perda de massa pela cura nos corpos de prova –GP2

Perda de massa nos corpos de prova - GP2													
GP2	Desmoldado 10/11/2014 (g)	3 dias			7 dias			28 dias			91 dias		
		13/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	17/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	08/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	09/02/2015 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
1	168,85	152,00	16,00	9,00									
2	168,40	150,46	17,00	10,00									
3	168,80	146,87	21,00	12,00									
4	170,63	152,68	17,00	10,00	103,79	66,00	39,00						
5	169,88	152,00	17,00	10,00	103,49	66,39	39,00						
6	170,37	148,00	21,00	12,00	99,27	71,00	41,00						
7	168,90	149,28	19,00	11,00	104,52	64,00	38,00	96,32	72,58	42,97			
8	168,60	150,18	18,00	10,00	107,11	61,00	36,00	96,35	72,25	42,85			
9	168,27	145,84	22,00	13,00	99,12	69,00	41,00	95,24	73,03	43,40			
10	169,45	145,00	23,00	13,00	97,54	71,00	42,00	96,87	72,58	42,83	96,96	72,49	42,78
11	168,66	145,79	22,00	13,00	97,37	71,00	42,00	95,29	73,37	43,50	95,36	73,30	43,46
12	169,01	143,00	25,00	14,00	95,81	73,00	43,00	95,13	73,88	43,71	95,20	73,81	43,67





Tabela 5 – Perda de massa pela cura nos corpos de prova – GR3

Perda de massa nos corpos de prova - GR3													
GR3	Desmoldado 12/11/2014 (g)	3 dias			7 dias			28 dias			91 dias		
		14/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	18/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	09/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	10/02/2015 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
1	170,09	148,00	21,00	12,00									
2	169,76	148,71	21,00	12,00									
3	169,17	148,00	20,00	12,00									
4	170,36		170,36	99,00	108,17	62,00	36,00						
5	171,23		171,23	100,00	112,80	58,00	34,00						
6	168,80		168,80	100,00	111,88	56,00	33,00						
7	172,77		172,77	100,00	116,74	56,00	32,00	100,18	72,59	42,02			
8	172,42		172,42	100,00	115,84	56,00	32,00	99,55	72,87	42,26			
9	172,04		172,04	100,00	118,55	53,00	31,00	98,82	73,22	42,56			
10	171,12		171,12	100,00	113,50	57,00	33,00	98,98	72,14	42,16	99,04	72,08	42,12
11	171,85		171,85	100,00	112,09	59,00	34,00	99,65	72,20	42,01	99,60	72,25	42,04
12	171,06		171,06	100,00	114,24	56,00	33,00	99,5	71,56	41,83	98,87	72,19	42,20

Tabela 6 – Perda de massa pela cura nos corpos de prova – GP4

Perda de massa nos corpos de prova - GP4													
GP4	3 dias				7 dias			28 dias			91 dias		
	17/11/2014 (g)	20/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	24/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	15/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	16/02/2015 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
1	170,23	144,94	25,00	14,00									
2	171,02	145,41	25,00	14,00									
3	172,13	145,60	26,53	15,00									
4	175,68	153,12	22,00	12,00	117,32	58,00	33,00						
5	175,75	152,16	23,00	13,00	115,38	60,00	34,00						
6	172,66	149,00	23,00	13,00	112,97	59,69	34,00						
7	176,16	154,62	21,00	12,00	125,12	51,00	28,00	101,97	74,19	42,12			
8	175,03	150,00	24,00	13,00	118,69	56,34	32,00	101,43	73,60	42,05			
9	174,46	152,01	22,00	12,00	118,71	55,00	31,00	100,79	73,67	42,23			
10	176,82	153,00	23,00	13,00	126,35	50,47	28,00	101,79	75,03	42,43	101,84	74,98	42,98
11	176,50	151,46	25,00	14,00	123,25	53,25	30,00	101,76	74,74	42,35	101,80	74,70	42,25
12	175,29	150,90	24,00	13,00	122,54	52,00	30,00	101,06	74,23	42,35	101,11	74,18	42,03

Tabela 7 – Perda de massa pela cura nos corpos de prova – GR4

Perda de massa nos corpos de prova - GR4													
GR4	14/11/2014 (g)	3 dias			7 dias			28 dias			91 dias		
		17/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	21/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	12/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	13/02/2015 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
1	179,00	158,00	20,00	11,00									
2	177,91	159,68	18,00	10,00									
3	178,55	159,78	18,00	10,00									
4	180,63	162,31	18,00	10,00	125,32	55,31	30,00						
5	180,74	164,09	16,00	9,00	127,87	52,00	29,00						
6	179,39	161,68	17,00	9,00	125,32	54,00	30,00						
7	180,56	163,00	17,00	9,00	131,06	49,50	27,00	113,73	66,83	37,01			
8	180,96	164,31	16,00	9,00	133,00	47,00	26,00	114,01	66,95	37,00			
9	180,19	161,81	18,00	10,00	130,00	49,00	27,00	113,21	66,98	37,17			
10	179,00	162,09	16,00	9,00	133,12	45,00	25,00	112,82	66,18	36,97	112,81	66,19	36,98
11	176,96	160,75	16,00	9,00	131,51	45,00	25,00	111,61	65,35	36,93	111,58	65,38	36,95
12	179,73	162,37	17,00	9,00	131,00	48,34	26,00	113,38	66,35	36,92	113,36	66,37	36,93

Tabela 8 – Perda de massa pela cura nos corpos de prova – GP5

Perda de massa nos corpos de prova - GP5													
GP5	3 dias				7 dias			28 dias			91 dias		
	18/11/2014 (g)	20/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	24/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	15/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	17/02/2015 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
1	161,00	147,00	14,00	8,00									
2	162,00	148,38	14,00	8,00									
3	162,00	148,29	13,00	8,00									
4	162,82	151,78	11,00	6,00	115,92	46,00	28,00						
5	163,98	150,90	13,00	7,00	115,41	48,00	29,00						
6	162,00	150,00	12,00	7,00	114,86	47,00	29,00						
7	163,40	149,28	14,00	8,00	120,74	42,00	26,00	99,68	63,72	39,00			
8	162,12	149,54	12,00	7,00	123,38	38,00	23,00	99,33	62,79	38,73			
9	164,29	152,00	11,00	7,00	125,21	39,08	23,00	100,97	63,32	38,54			
10	161,69	148,59	13,00	8,00	116,52	45,17	27,00	98,63	63,06	39,00	98,68	63,01	38,97
11	162,07	148,62	13,00	8,00	119,26	42,00	26,00	99,16	62,91	38,82	99,21	62,86	38,79
12	162,90	149,56	13,00	8,00	120,08	42,00	26,00	99,25	63,65	39,07	99,31	63,59	39,04



Tabela 9 – Perda de massa pela cura nos corpos de prova – GR5

Perda de massa nos corpos de prova -GR5													
GR5	14/11/2014 (g)	3 dias			7 dias			28 dias			91 dias		
		18/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	21/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	12/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	13/02/2015 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
1	178,55	139,00	39,00	21,00									
2	178,36	144,28	34,00	19,00									
3	177,20	142,18	35,00	19,00									
4	179,40	140,00	38,00	21,00	116,21	63,00	35,00						
5	179,64	146,21	33,00	18,00	121,36	58,00	32,00						
6	182,10	146,00	35,00	19,00	121,49	60,61	33,00						
7	179,93	139,07	40,00	22,00	118,53	61,00	34,00	111,56	68,37	38,00			
8	180,53	142,75	37,78	20,00	123,98	56,55	31,00	112,14	68,39	37,88			
9	180,47	143,00	37,00	20,00	124,01	56,00	31,00	112,24	68,23	37,81			
10	177,89	132,60	45,00	25,00	113,73	64,00	36,00	110,97	66,92	37,62	110,95	66,94	37,63
11	178,40	135,47	42,00	24,00	118,06	60,34	33,00	111,01	67,39	37,77	110,97	67,43	37,80
12	179,05	139,00	39,00	21,00	121,57	57,00	32,00	112,43	66,62	37,21	112,40	66,65	37,22

Tabela 10 – Perda de massa pela cura nos corpos de prova – GP6

Perda de massa nos corpos de prova - GP6													
GP6	18/11/2014 (g)	3 dias			7 dias			28 dias			91 dias		
		21/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	25/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	16/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	17/02/2015 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
1	172,84	152,90	19,00	11,00									
2	172,68	152,35	20,00	11,00									
3	171,09	150,00	20,00	12,00									
4	175,09	153,31	21,78	12,00	120,71	54,00	31,00						
5	174,61	153,15	21,00	12,00	120,17	54,00	31,00						
6	174,04	151,84	22,00	12,00	119,34	54,00	31,00						
7	174,47	152,00	21,00	12,00	124,77	49,70	28,00	98,13	76,34	43,76			
8	173,21	151,41	21,00	12,00	122,95	50,00	29,00	97,87	75,34	43,50			
9	173,23	151,01	22,22	12,00	123,59	49,00	28,00	97,75	75,48	43,57			
10	174,49	153,91	20,00	11,00	127,04	47,45	27,00	100,19	74,30	42,58	100,25	74,24	42,55
11	177,39	156,26	21,00	11,00	125,45	51,00	29,00	98,56	78,83	44,44	98,64	78,75	44,39
12	173,80	153,19	20,00	11,00	125,13	48,00	28,00	98,02	75,78	43,60	98,10	75,70	43,56

Tabela 11 – Perda de massa pela cura nos corpos de prova – GR6

Perda de massa nos corpos de prova - GR6													
GR6	18/11/2014 (g)	3 dias		7 dias			28 dias			91 dias			
		21/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	25/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	16/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	17/02/2015 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
1	178,48	157,62	20,00	11,00									
2	179,65	162,35	17,00	9,00									
3	179,14	161,32	17,00	9,00									
4	179,00	158,51	20,00	11,00	123,59	55,41	30,00						
5	180,02	161,91	18,00	10,00	130	49,91	27,00						
6	182,32	164,50	17,00	9,00	132,63	49,69	27,00						
7	179,44	158,15	21,00	11,00	120,49	58,95	32,00	111,74	67,70	37,73			
8	180,55	160,00	19,00	10,00	126,31	54,00	30,00	112,23	68,32	37,84			
9	180,61	161,21	19,00	10,00	127,48	53,00	29,00	112,4	68,21	37,77			
10	182,25	156,93	25,00	13,00	118,87	63,00	34,00	115,12	67,13	36,83	115,19	67,06	36,80
11	183,37	159,84	23,53	12,00	123,3	60,00	32,00	115,91	67,46	36,79	115,98	67,39	36,75
12	183,70	159,74	23,00	13,00	124,24	59,00	32,00	116,27	67,43	36,71	116,34	67,36	36,67

Tabela 12 – Perda de massa pela cura nos corpos de prova – GP7

Perda de massa nos corpos de prova - GP7													
GP7	21/11/2014 (g)	3 dias		7 dias			28 dias			91 dias			
		24/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	28/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	19/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	20/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
1	172,97	148,00	24,00	13,00									
2	172,44	148,87	23,00	13,00									
3	174,73	153,41	21,00	12,00									
4	173,98	149,00	24,00	13,00	121,11	52,00	30,00						
5	175,18	150,00	24,00	13,00	120,97	54,00	30,00						
6	174,22	152,00	21,00	12,00	125,19	49,03	28,00						
7	174,77	150,00	24,00	13,00	127,12	47,00	27,00	99,16	75,61	43,26			
8	176,27	152,96	23,00	13,00	127,54	48,00	27,00	100,12	76,15	43,20			
9	176,19	154,00	21,00	12,00	132,66	43,53	24,00	100,15	76,04	43,16			
10	176,65	147,53	29,00	16,00	125,29	51,36	29,00	100,63	76,02	43,03	100,66	75,99	43,02
11	175,64	147,04	28,00	16,00	123,33	52,00	29,00	99,98	75,66	43,08	100,00	75,64	43,07
12	173,82	146,00	26,00	15,00	125,22	48,00	27,00	98,97	74,85	43,06	98,98	74,84	43,06

Tabela 13 – Perda de massa pela cura nos corpos de prova – GR7

Perda de massa nos corpos de prova - GR7													
GR7	18/11/2014 (g)	3 dias		7 dias			28 dias			91 dias			
		21/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	25/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	16/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	17/02/2015 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
1	182,07	159,00	22,00	12,00									
2	180,03	159,82	20,00	11,00									
3	180,97	158,00	22,00	12,00									
4	183,90	164,05	19,00	10,00	125,89	58,00	31,00						
5	185,03	165,23	19,00	10,00	125,64	59,39	32,00						
6	185,71	164,26	21,00	11,00	127,39	58,00	31,00						
7	184,15	164,58	19,00	10,00	128	56,00	30,00	114,54	69,61	37,80			
8	184,49	164,75	19,00	10,00	130,16	54,00	29,00	114,64	69,85	37,86			
9	184,74	165,84	18,00	10,00	129,96	54,78	29,00	114,88	69,86	37,82			
10	184,31	163,00	21,00	11,00	128	55,00	30,00	115,02	69,29	37,59	115,07	69,24	37,57
11	183,72	163,96	19,00	10,00	131,5	52,22	28,00	114,61	69,11	37,62	114,68	69,04	37,58
12	183,91	165,04	18,00	10,00	131	52,00	28,00	114,8	69,11	37,58	114,87	69,04	37,54

Tabela 14 – Perda de massa pela cura nos corpos de prova – GP8

Perda de massa nos corpos de prova - GP8													
GP8	21/11/2014 (g)	3 dias			7 dias			28 dias			91 dias		
		24/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	28/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	19/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	20/02/2015 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
1	176,13	149,18	26,00	15,00									
2	175,60	153,74	21,00	12,00									
3	176,70	155,82	20,00	11,00									
4	175,72	152,00	23,00	13,00	112,00	63,72	36,00						
5	174,86	156,12	18,00	10,00	117,99	56,00	32,00						
6	175,58	153,76	21,00	12,00	115,54	60,00	34,00						
7	175,37	155,49	19,00	11,00	123,02	52,00	29,85	99,80	75,57	43,09			
8	175,34	158,44	16,00	9,00	129,00	46,00	26,00	99,75	75,59	43,11			
9	175,50	155,00	19,00	11,00	124,36	51,14	29,00	99,98	75,52	43,03			
10	176,49	154,00	22,00	12,00	122,50	53,00	30,00	100,40	76,09	43,11	100,42	76,07	43,10
11	176,97	155,79	21,00	11,00	126,00	50,97	28,00	100,83	76,14	43,02	100,85	76,12	43,01
12	177,13	154,12	23,00	12,00	121,90	55,00	31,00	100,83	76,30	43,08	100,85	76,28	43,06

Tabela 15 – Perda de massa pela cura nos corpos de prova – GR8

Perda de massa nos corpos de prova - GR8													
GR8	21/11/2014 (g)	3 dias		7 dias			28 dias			91 dias			
		24/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	28/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	19/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	20/02/2015 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
1	183,43	157,00	26,00	14,00									
2	183,41	157,25	26,00	14,00									
3	184,36	153,00	31,00	16,00									
4	182,31	157,81	24,50	13,00	117,5	64,81	35,00						
5	183,12	158,65	24,47	13,00	119,04	64,08	34,00						
6	184,20	155,13	29,00	15,00	117,29	66,00	36,00						
7	181,52	156,00	24,00	13,00	123,45	58,00	31,00	113,68	67,84	37,37			
8	182,69	158,00	23,00	13,00	125,89	56,80	31,00	114,66	68,03	37,24			
9	183,69	157,16	26,53	14,00	124,33	59,36	32,00	115,25	68,44	37,26			
10	184,94	160,18	24,00	13,00	129,87	55,00	29,00	115,09	69,85	37,77	115,12	69,82	37,75
11	183,69	159,00	24,00	13,00	129,47	54,22	29,00	114,35	69,34	37,75	114,41	69,28	37,72
12	185,30	158,21	27,00	14,00	127,07	58,00	31,00	115,23	70,07	37,81	115,29	70,01	37,78

Tabela 16 – Perda de massa pela cura nos corpos de prova – GP9

Perda de massa nos corpos de prova - GP9													
GP9	3 dias				7 dias			28 dias			91 dias		
	24/11/2014 (g)	27/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	01/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	22/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	23/02/2015 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
1	172,25	139,54	32,00	18,00									
2	172,40	134,66	37,00	21,00									
3	171,25	134,49	36,00	21,00									
4	174,46	142,07	32,00	18,00	106,67	67,79	38,86						
5	175,24	140,00	34,00	19,00	105,12	70,12	40,01						
6	175,01	141,00	33,00	19,00	107,71	67,30	38,45						
7	174,60	141,10	33,50	19,00	107,66	66,94	38,34	100,31	74,29	42,548683			
8	172,95	137,90	35,00	20,00	105,91	67,04	38,76	99,18	73,77	42,653946			
9	172,97	137,65	35,00	20,00	107,48	65,49	37,86	99,24	73,73	42,625889			
10	174,96	137,00	37,00	21,00	102,83	72,13	41,23	100,56	74,40	42,524005	100,55	74,41	42,53
11	175,83	138,00	36,00	20,00	104,44	71,39	40,60	101,02	74,81	42,546778	101,00	74,83	42,56
12	174,59	137,00	36,00	21,00	104,7	69,89	40,03	100,31	74,28	42,545392	100,32	74,27	42,54



Tabela 17 – Perda de massa pela cura nos corpos de prova – GR9

Perda de massa nos corpos de prova - GR9													
GR9	24/11/2014 (g)	3 dias		7 dias			28 dias			91 dias			
		27/11/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	01/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	22/12/2014 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	23/02/2015 (g)	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
1	182,34	157,93	24,00	13,00									
2	182,33	159,00	23,25	12,00									
3	182,02	159,06	22,00	12,00									
4	182,78	161,15	21,00	11,00	123,27	59,51	32,56						
5	182,44	161,82	20,00	11,00	125,35	57,09	31,29						
6	181,89	161,38	20,00	11,00	126,52	55,37	30,44						
7	182,54	160,00	21,00	11,00	128,31	54,23	29,71	115,66	66,88	36,64			
8	181,80	161,00	20,00	11,00	131,39	50,41	27,73	115,13	66,67	36,67			
9	181,60	161,24	20,00	11,00	132,64	48,96	26,96	115,05	66,55	36,65			
10	183,21	160,82	22,00	12,00	130,42	52,79	28,81	116,09	67,12	36,64	116,08	67,13	36,64
11	183,42	163,47	19,00	10,00	135,12	48,30	26,33	116,19	67,23	36,65	116,21	67,21	36,64
12	183,00	162,24	20,00	11,00	134,89	48,11	26,29	116,05	66,95	36,58	116,05	66,95	36,58

Tabela 18 – Adicional de tempo de aquecimento e resfriamento do forno ao período de calcinação do gesso reciclado

Gesso	Tempo de Aquecimento (minutos)	Tempo de Calcinação	Tempo de Resfriamento (minutos)	Taxa de Aquecimento Aproximada(°C/min.)
GP1 e GR1	39	1 h	70	2,82
GP2 e GR2	35	2 h	120	4,00
GP3 e GR3	38	4 h	150	4,47
GP4 e GR4	76	1 h	120	1,44
GP5 e GR5	82	2 h	150	2,25
GP6 e GR6	114	4 h	780	1,49
GP7 e GR7	230	1 h	180	0,48
GP8 e GR8	300	2 h	300	0,46
GP9 e GR9	290	4 h	390	0,59

## APÊNDICE A.1 – ESTATÍSTICA

Tabela 19 – Perda de massa na calcinação

Gesso	Gesso Calcinado	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)	Gesso	Gesso Calcinado	Perda de massa (g)	Perda de massa (%)
GP1	5559,4	741,2	11,76	GR1	6778,7	766,8	10,16
GP2	5254,8	1045,8	16,60	GR2	6370,4	1072,6	14,41
GP3	5116,8	1183,8	18,79	GR3	6171,5	1337,9	17,82
GP4	5102,0	1198,6	19,02	GR4	6104,8	1359,9	18,22
GP5	5086,5	1214,1	19,27	GR5	6165,5	1382,5	18,32
GP6	5133,5	1167,1	18,52	GR6	6132,7	1345,4	17,99
GP7	5069,1	1230,9	19,54	GR7	6027,0	1429,3	19,17
GP8	5057,4	1242,6	19,72	GR8	6024,1	1432,2	19,21
GP9	4717,5	1218,7	20,53	GR9	5945,1	1511,9	20,27

B14						f. = ((ABS(B11-B12)))/(B9*(1/B5+1					
A	B	C	D	E	F						
PROVA DE HIPÓTESE COM RELAÇÃO A DUAS MÉDIAS											
<b>QUANDO AS VARIANCIAS SÃO IGUAIS <math>\sigma_x = \sigma_y</math></b>											
nx	9										
Sx	2,641079	(maior desvio)									
ny	9										
Sy	3,120373										
Sp	2,891										
média x	18,19553										
média y	17,28516										
t calculado	0,668										
t tabelado ≠	2,120	qdo é diferente			t tabelado >	1,74					
a	0,05										
<b>CONCLUSÃO ≠</b>											
<b>NÃO EXISTE DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS.</b>											
<b>CONCLUSÃO &gt;</b>											
<b>NÃO EXISTE DIFERENÇA ENTRE AS MÉDIAS.</b>											

Figura 1 – Tela do Excel – diferença entre médias

Tabela 20 – Relação entre a resistência à compressão aos 28 dias e as temperaturas máximas obtidas nos ensaios de cinética de temperatura (calor de hidratação), para obtenção da curva de correlação (Figura 60).

<b>Rc x Calor de hidratação</b>		
<b>Gesso</b>	<b>Temperaturas máximas °C</b>	<b>Rc 28 dias MPa</b>
GC	55,799	9,22
GP3	51,643	3,94
GP4	50,533	4,14
GP6	48,472	2,68
GP7	49,333	3,19
GP8	47,847	3,73
GP9	48,893	3,34
GR3	49,681	4,15
GR4	52,936	6,09
GR5	51,466	6,06
GR6	50,035	4,65
GR8	50,594	5,57
GR9	52,132	5,87







Tabela B.1 – Resistência à compressão - GC

GC	3 dias	7 dias
GC 1	4,05	6,74
	4,13	6,74
	3,51	4,34
média	3,90	5,94

Tabela B.2 – Resistência à compressão – GP2, GP3, GR2 e GR3

GP2	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias	GR2	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1	1,34	1,65	3,36	3,63	1	0,95	0,68	3,2	-
2	1,37	1,90	4,15	3,66	2	0,97	0,77	3,27	-
3	1,38	2,52	4,14	3,78	3	1,00	0,69	3,41	-
média	1,36	2,02	3,88	3,69	média	0,97	0,71	3,29	

GP3	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias	GR3	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1	1,52	1,52	4,01	-	1	1,57	1,74	4,11	3,69
2	1,53	1,64	3,92	-	2	1,67	1,71	4,23	3,65
3	1,64	1,75	3,90	-	3	1,71	1,74	4,11	3,90
média	1,56	1,64	3,94		média	1,65	1,73	4,15	3,75







Tabela B.3 – Resistência à compressão – GP4, GP5, GP6, GR4, GR5 e GR6.

GP4	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1	1,52	1,62	4,03	3,50
2	1,51	1,67	4,26	3,69
3	1,52	1,62	4,12	3,73
média	1,52	1,64	4,14	3,64

GR4	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1	2,60	2,85	5,87	5,99
2	2,61	2,75	6,05	5,73
3	2,69	2,83	6,35	5,97
média	2,63	2,81	6,09	5,90

GP5	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1	1,32	1,24	3,45	3,04
2	1,32	1,30	3,27	2,97
3	1,26	1,25	3,34	2,90
média	1,30	1,26	3,35	2,97

GR5	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1	2,33	3,06	6,11	5,59
2	2,57	2,62	6,23	5,16
3	2,50	2,82	5,83	5,40
média	2,47	2,83	6,06	5,38

GP6	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1	1,24	1,08	2,71	2,58
2	1,35	1,22	2,66	2,68
3	1,28	1,06	2,66	2,66
média	1,29	1,12	2,68	2,64

GR6	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1	1,94	1,90	4,84	4,66
2	1,90	1,65	4,34	4,76
3	2,04	1,85	4,76	4,65
média	1,96	1,80	4,65	4,69





Tabela B.4 – Resistência à compressão – GP4, GP5, GP6, GR4, GR5 e GR6.

GP7	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1	1,22	1,23	3,10	3,64
2	1,31	1,22	3,10	3,75
3	1,31	1,00	3,36	3,62
média	1,28	1,15	3,19	3,67

GR7	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1	2,33	2,36	5,80	5,15
2	2,23	2,33	5,72	5,43
3	2,50	2,00	5,53	5,58
média	2,35	2,23	5,68	5,39

GP8	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1	1,60	1,39	3,58	4,02
2	1,55	1,37	3,56	4,17
3	1,55	1,44	4,04	3,95
média	1,57	1,40	3,73	4,05

GR8	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1	2,14	2,00	5,53	5,91
2	2,52	2,65	5,49	6,67
3	2,56	2,91	5,70	6,31
média	2,41	2,52	5,57	6,30

GP9	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias
1	1,49	1,95	3,36	3,73
2	1,40	2,00	3,41	3,95
3	1,48	2,27	3,26	3,95
média	1,46	2,07	3,34	3,88

GR9	3 dias	7 dias	28 dias	90 dias
1	2,70	2,12	5,98	6,20
2	2,65	2,75	5,60	6,34
3	2,00	2,86	6,03	6,94
média	2,45	2,58	5,87	6,64

Tabela B.5 – Estatística – Comparação entre médias da resistência à compressão (Rc) na idade de 28 dias dos gessos reciclados de placas e reciclados de revestimentos nos tempos e temperaturas de calcinação

Comparação de duas médias (Teste t-Student) - Rc				
Gessos	Rc	Valor p		
GP2	3,88	0,0932	>0,05	Não há diferença significativa
GR2	3,29			
GP3	3,94	0,0169	<0,05	Existe diferença significativa
GR3	4,15			mas não é relevante
GP4	4,14	0,0002	<0,05	Existe diferença significativa
GR4	6,09			
GP5	3,35	0,00003	<0,05	Existe diferença significativa
GR5	6,06			
GP6	2,68	0,0002	<0,05	Existe diferença significativa
GR6	4,65			
GP7	3,19	0,00003	<0,05	Existe diferença significativa
GR7	5,68			
GP8	3,73	0,0004	<0,05	Existe diferença significativa
GR8	5,57			
GP9	3,34	0,0001	<0,05	Existe diferença significativa
GR9	5,87			

Tabela B.6 – Média das resistências à compressão

		3 dias	7 dias	28 dias	90 dias		3 dias	7 dias	28 dias	90 dias
140°C	GP2	1,36	2,02	3,88	3,69	GR2	0,97	0,71	3,29	
140°C	GP3	1,56	1,64	3,94		GR3	1,65	1,73	4,15	3,75
170°C	GP4	1,52	1,64	4,14	3,64	GR4	2,63	2,81	6,09	5,90
170°C	GP5	1,30	1,26	3,35	2,97	GR5	2,47	2,83	6,06	5,38
170°C	GP6	1,29	1,12	2,68	2,64	GR6	1,96	1,80	4,65	4,69
200°C	GP7	1,28	1,15	3,19	3,67	GR7	2,35	2,23	5,68	5,39
200°C	GP8	1,57	1,40	3,73	4,05	GR8	2,41	2,52	5,57	6,30
200°C	GP9	1,46	2,07	3,34	3,88	GR9	2,45	2,58	5,87	6,64

Tabela B.7 – Estatística – Diferença entre GP e GR nas temperaturas de 140°C, 170°C e 200°C na resistência final

Comparação de duas médias (Teste t-Student) - Rc					
Temperatura	Gessos	Rc	Valor p		
140°C	GP	3,91	0,4197	>0,05	Não há diferença significativa
	GR	3,72			
170°C	GP	3,39	0,000005	<0,05	Existe diferença significativa
	GR	5,60			
200°C	GP	3,42	0,000000	<0,05	Existe diferença significativa
	GR	5,71			

Tabela B.8 – Média da resistência à compressão, realizados nos corpos de prova de 40 x40 x160 mm.



Rc nos corpos de prova 40 x 40 x 160cm da metade rompida em Rf (Mpa)		
Gesso - molde		Média
GC - 10	11,07	
GC - 11	11,13	
GC - 12	11,21	
		11,14
GR9 -10	11,02	
GR9 -11	11,29	
GR9 -11	10,05	
GR9 -12	11	
		10,84

Tabela B.9 – Estatística – Comparação entre duas médias de resistência à tração na flexão (Rf) na idade de 28 dias entre gessos reciclados de placas e reciclados de revestimento

Comparação de duas médias (Teste t-Student) - Rf				
Gessos	Rf	Valor p		
GP3	1,78	0,001382	<0,05	Existe diferença significativa
GR3	2,54			
GP4	1,63	0,000352	<0,05	Existe diferença significativa
GR4	2,25			
GP8	1,73	0,003328	<0,05	Existe diferença significativa
GR9	2,30			

Tabela B.10 – Estatística - Teste de Normalidade dos resíduos de Rc - Kolmogorov - Smirnov

i	$x_i$	z	ESPÚRIO	$P(x < x_i)$	i/n	Diferença
1	-0,38667	-2,78	OK	0,00274	0,0185	0,0158
2	-0,29333	-2,11	OK	0,01754	0,0370	0,0195
3	-0,23667	-1,70	OK	0,04454	0,0556	0,0110
4	-0,22333	-1,60	OK	0,05430	0,0741	0,0198
5	-0,16667	-1,20	OK	0,11558	0,0926	0,0230
6	-0,15333	-1,10	OK	0,13532	0,1111	0,0242
7	-0,14667	-1,05	OK	0,14601	0,1296	0,0164
8	-0,14000	-1,01	OK	0,15726	0,1481	0,0091
9	-0,09667	-0,69	OK	0,24369	0,1667	0,0770
10	-0,09667	-0,69	OK	0,24369	0,1852	0,0585
11	-0,09333	-0,67	OK	0,25126	0,2037	0,0476
12	-0,07000	-0,50	OK	0,30752	0,2222	0,0853
13	-0,06000	-0,43	OK	0,33321	0,2407	0,0925
14	-0,06000	-0,43	OK	0,33321	0,2593	0,0740
15	-0,05667	-0,41	OK	0,34196	0,2778	0,0642
16	-0,05000	-0,36	OK	0,35972	0,2963	0,0634
17	-0,04333	-0,31	OK	0,37778	0,3148	0,0630
18	-0,04000	-0,29	OK	0,38691	0,3333	0,0536
19	-0,03000	-0,22	OK	0,41468	0,3519	0,0628
20	-0,03000	-0,22	OK	0,41468	0,3704	0,0443
21	-0,03000	-0,22	OK	0,41468	0,3889	0,0258
22	-0,02667	-0,19	OK	0,42404	0,4074	0,0166
23	-0,02333	-0,17	OK	0,43344	0,4259	0,0075
24	-0,02333	-0,17	OK	0,43344	0,4444	0,0110
25	0,00000	0,00	OK	0,50000	0,4630	0,0370
26	0,00000	0,00	OK	0,50000	0,4815	0,0185
27	0,00000	0,00	OK	0,50000	0,5000	0,0000
28	0,00000	0,00	OK	0,50000	0,5185	0,0185
29	0,00000	0,00	OK	0,50000	0,5370	0,0370
30	0,00000	0,00	OK	0,50000	0,5556	0,0556
31	0,00000	0,00	OK	0,50000	0,5741	0,0741
32	0,01333	0,10	OK	0,53816	0,5926	0,0544
33	0,01667	0,12	OK	0,54765	0,6111	0,0635
34	0,02000	0,14	OK	0,55713	0,6296	0,0725
35	0,04000	0,29	OK	0,61309	0,6481	0,0351
36	0,04333	0,31	OK	0,62222	0,6667	0,0444
37	0,05000	0,36	OK	0,64028	0,6852	0,0449

38	0,06667	0,48	OK	0,68401	0,7037	0,0197
39	0,07000	0,50	OK	0,69248	0,7222	0,0297
40	0,07000	0,50	OK	0,69248	0,7407	0,0483
41	0,07333	0,53	OK	0,70085	0,7593	0,0584
42	0,07333	0,53	OK	0,70085	0,7778	0,0769
43	0,07333	0,53	OK	0,70085	0,7963	0,0954
44	0,08000	0,57	OK	0,71727	0,8148	0,0975
45	0,09000	0,65	OK	0,74105	0,8333	0,0923
46	0,09000	0,65	OK	0,74105	0,8519	0,1108
47	0,09333	0,67	OK	0,74874	0,8704	0,1216
48	0,11667	0,84	OK	0,79903	0,8889	0,0899
49	0,12333	0,89	OK	0,81221	0,9074	0,0952
50	0,15333	1,10	OK	0,86468	0,9259	0,0612
51	0,19333	1,39	OK	0,91758	0,9444	0,0269
52	0,20667	1,48	OK	0,93119	0,9630	0,0318
53	0,37333	2,68	OK	0,99634	0,9815	0,0149
54	0,44667	3,21	ESPÚRIO	0,99933	1,0000	0,0007
média	0,00				MÁXIMO	0,1216
desvio	0,14			MÁX.DIST. NORMAL		0,1306
n	54					(TABELA V)
	ESPÚRIO MÁXIMO	2,92		(TABELA VIII)		
	ESPÚRIO					
				CONCLUSÃO:		
				<b>ACEITA HIPÓTESE DA NORMALIDADE</b>		

Tabela B.11 – Estatística- Influência do fator A/G, Tempo e Temperatura de Calcinação na Resistência à Compressão do Gesso Reciclado de Placas e Revestimentos

Tempo	Fator A/G						
	1,15			1			
	140°C	170°C	200°C	140°C	170°C	200°C	
1h	0	3,50	3,64	0	5,99	5,15	
	0	3,69	3,75	0	5,73	5,43	
	0	3,73	3,62	0	5,97	5,58	
$\Sigma(X)$	0,0000	10,9200	11,0100	0,0000	17,6900	16,1600	55,7800
$\Sigma(X^2)$	0,0000	39,7790	40,4165	0,0000	104,3539	87,1438	
2h	3,63	3,04	4,02	3,2	5,59	5,91	
	3,66	2,97	4,17	3,27	5,16	6,67	
	3,78	2,90	3,95	3,41	5,40	6,31	
$\Sigma(X)$	11,0700	8,9100	12,1400	9,8800	16,1500	18,8900	77,0400
$\Sigma(X^2)$	40,8609	26,4725	49,1518	32,5610	87,0337	119,2331	
4h	4,01	2,58	3,73	3,69	4,66	6,2	
	3,92	2,68	3,95	3,65	4,76	6,34	
	3,90	2,66	3,95	3,90	4,65	6,94	
$\Sigma(X)$	11,8300	7,9200	11,6300	11,2400	14,0700	19,4800	76,1700
$\Sigma(X^2)$	46,6565	20,9144	45,1179	42,1486	65,9957	126,7992	
$\Sigma(X)$ total	22,9000	27,7500	34,7800	21,1200	47,9100	54,5300	
	=	85,4300		123,5600			T.. 208,9900
N		54					T²/N <b>808,8300</b>
N. de tratamentos		18,0000					
$\alpha$		0,05					

FONTE	SQ	GDL	MQ	F	F <sub>0,05</sub> (17,36)
TOTAL	165,8085	53	3,128462		1,92
TRATAMENTO	164,7816	17	9,693037	339,82	
DENTRO (RESÍDUO)	1,0269	36	0,028524		
<b>Existe influência dos tratamentos</b>					

Influência em separado de cada tratamento							
FONTE	SQ	GDL	MQ	F	F <sub>0,05</sub>		
A/G	26,9240	1	26,9240	943,91	4,11	Existe influência	
Tempo	16,0833	2	8,0416	281,92	3,26	Existe influência	
Tempratura	59,9740	2	29,9870	1051,29	3,26	Existe influência	
A/G	Tempo	0,0623	2	0,0312	1,09	3,26	Não existe influência
Tempo	Temperat	43,4669	4	10,8667	380,97	2,63	Existe influência
A/G	Temperat	17,5013	2	8,7507	306,78	3,26	Existe influência
A/G	Tempo	Temperat	0,7697	4	0,1924	6,75	Existe influência
	Residual (SQR)	1,0269	36	0,0285			
	TOTAL (SQT)	165,81	53				

A Tabela B.12 – Apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão, de massa unitária e de módulo de finura, de gessos reciclados de placas de forro, moídos com moinho de rolo (FERNANDES; RODRIGUES, 2013).

Tabela B.12 – Propriedades Físicas e Mecânicas do Gesso

	Dureza (N/mm <sup>2</sup> )	Resistência a compressão (MPa)	Massa Unitária (Kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de finura
GC1	13,21	5,53	695,41	0,23
GC2	13,50333	6,44		
GR5	10,55	6,11	432,05	
GR6	13,24667	7,25	457,52	0,64
GR7	9,186667	5,88		
GR8	13,95	7,87	454,07	0,56
GR9	10,55667	6,1		

GR5 à GR9 = gesso reciclado de placas

Fonte: Fernandes e Rodrigues(2013).

## 2 APÊNDICE C

Tabela C.1 – Resistência à tração na flexão

Resistência à tração na flexão (Mpa)					Massa Unitária						
GC	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias	701,3 Kg/m <sup>3</sup>						
GC 1	1,98	1,85	3,55	3,47							
	1,98	2,08	3,75	3,63							
	1,91	1,60	3,36	3,22							
média	1,96	1,84	3,55	3,44							
						Massa Unitária					
GP3	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias	242,0 Kg/m <sup>3</sup>	GR3	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias	399,2 Kg/m <sup>3</sup>
1	1,01	1,20	1,66	2,27		1	1,38	1,23	2,43	2,47	
2	1,05	1,21	1,91	2,04		2	1,29	1,28	2,65	2,44	
3	0,85	1,28	1,76	2,63		3	1,24	1,24	2,54	2,42	
média	0,97	1,23	1,78	2,31		média	1,30	1,25	2,54	2,44	
GP4	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias	255,8 Kg/m <sup>3</sup>	GR4	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias	403,4 Kg/m <sup>3</sup>
1	0,92	0,89	1,61	1,98		1	1,22	1,23	2,33	2,53	
2	0,96	1,01	1,61	2,04		2	1,28	1,21	2,16	3,07	
3	0,97	0,86	1,68	1,95		3	1,11	1,22	2,27	2,59	
média	0,95	0,92	1,63	1,99		média	1,20	1,22	2,25	2,73	
GP8	3 dias	7 dias	28 dias	91 dias	253,11 Kg/m <sup>3</sup>	GR9	3 dias	7 dias	28 dias	90 dias	389,37 Kg/m <sup>3</sup>
1	0,98	1,34	1,83	1,56		1	1,35	1,29	2,41	3,64	
2	0,87	1,17	1,77	1,98		2	1,32	1,21	2,23	4,11	
3	0,83	1,38	1,59	1,94		3	1,46	1,21	2,26	3,89	
média	0,89	1,30	1,73	1,83		média	1,38	1,24	2,30	3,88	





## APÊNDICE C.1 – ESTATÍSTICA

Análise estatística das correlações entre resistência à compressão, dureza e resistência à tração na flexão, para os gessos GC, GP3, GP4, GP8, GR3, GR5 e GR9, nas idades de 28 e 91 dias.

Tabela C.2–Resistência à compressão (Rc) xDureza (D) e Resistência à tração na flexão (Rf)

	Rc-28dias	D-28 dias		Rc-91 dias	D-91 dias
GC	9,00	19,16		9,00	18,97
GP3	3,94	5,98			8,76
GR3	3,75	10,51		3,75	10,35
GP4	4,14	6,16		3,64	7,25
GR4	6,09	9,67		5,90	10,50
GP8	3,73	6,43		4,05	6,96
GR9	5,87	10,02		6,64	19,02

	Rc-28dias	Rf-28 dias		Rc-91 dias	Rf-91 dias
GC	9,00	3,55		9,00	3,44
GP3	3,94	1,78			2,31
GR3	3,75	2,54		3,75	2,44
GP4	4,14	1,63		3,64	1,99
GR4	6,09	2,25		5,90	2,73
GP8	3,73	1,73		4,05	1,83
GR9	5,87	2,30		6,64	3,88

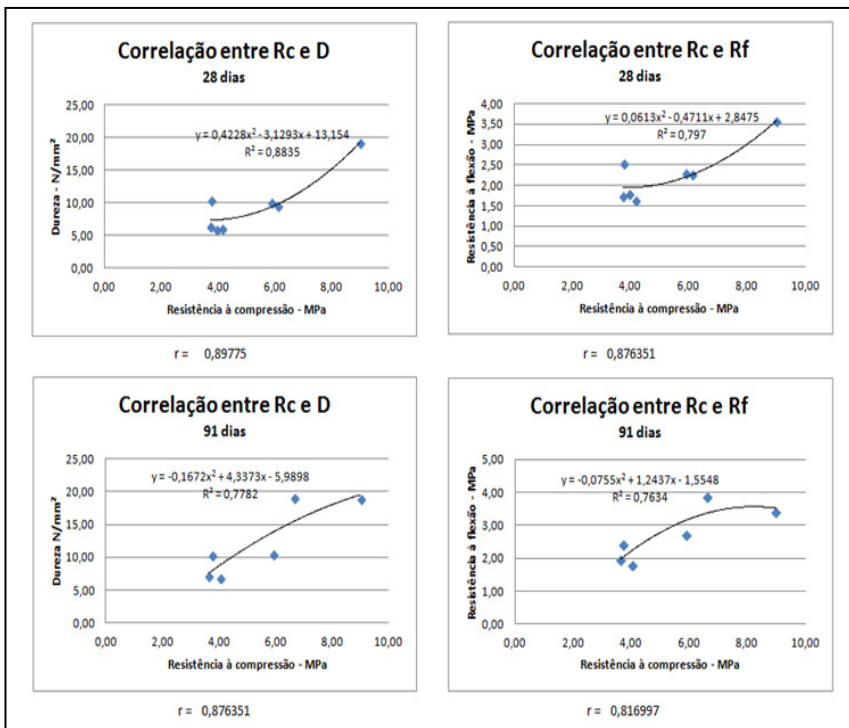


Figura C.2 – Correlação entre resistência à compressão (Rc) x Dureza (D) e Resistência à tração flexão (Rf)

## APÊNDICE D

Tabela D.1

Ensaio de Resistência de Aderência à Tração (Arrancamento) – GC									
Corpo de Prova	Carga (N)	Seção (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Forma de Ruptura (%)					Espessura do Revestimento (mm)
				a	b	c	d	e	
GC - 1	1160	1734,94	0,669	x					2,0
GC - 2	960	1661,90	0,578			x			2,0
GC - 3	880	1734,94	0,507	x					2,5
GC - 4	1630	1734,94	0,940	x					2,2
GC - 5	1050	1734,94	0,605		x				2,5
GC - 6	1280	1734,94	0,738	x					2,3
GC - 7	890	1734,94	0,513		x				1,8
GC - 8	900	1734,94	0,519		x				3,0
GC - 9	950	1734,94	0,548	x					2,7
GC - 10	1190	1734,94	0,686	x					2,6
GC - 11	1400	1734,94	0,807	x					2,6
GC - 12	1030	1734,94	0,594	x					3,0
GC - 13	1960	1734,94	1,130	x					4,0
GC - 14	2280	1734,94	1,314				x		3,9
GC - 15	1530	1734,94	0,882				x		4,0
GC - 16	2380	1734,94	1,372		x				3,0
GC - 17	2530	1734,94	1,458	x					2,9
GC - 18	2400	1734,94	1,383				x		3,1
GC - 19	2110	1734,94	1,216	x					3,5
GC - 20	3390	1734,94	1,954	x					3,1
GC - 21	1210	1734,94	0,697					x	3,1
GC - 22	2380	1734,94	1,372				x		2,0
GC - 23	2310	1734,94	1,331				x		1,8
GC - 24	2180	1734,94	1,257				x		2,0
GC - 25	2030	1734,94	1,170				x		3,2
GC - 26	890	1734,94	0,513				x		3,3
GC - 27	1130	1734,94	0,651	x					3,3
GC - 28	2440	1734,94	1,406		x				2,2
GC - 29	2850	1734,94	1,643				x		2,5
GC - 30	2200	1734,94	1,268		x				2,2
									Média Tensão bloco cerâmico
									0,642
									Média Tensão bloco concreto
									1,223

Forma de ruptura:

- 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

obs.: De GC - 1 a GC - 12 = Revestimento em blocos cerâmicos  
De GC - 13 a GC - 36 = Revestimento em blocos de concreto

Tabela D.2

Ensaio de Resistência de Aderência à Tração (Arrancamento) – GP										
Corpo de Prova	Carga (N)	Seção (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Forma de Ruptura (%)					Espessura do Revestimento (mm)	
				a	b	c	d	e		
GP8 - 1	520	1734,94	0,300	x					2,2	
GP8 - 2	500	1734,94	0,288	x					2,5	
GP8 - 3	1390	1734,94	0,801		x				3,5	
GP8 - 4	1640	1734,94	0,945		x				3,5	
GP8 - 5	1640	1734,94	0,945	x					3,5	
GP8 - 6	1710	1734,94	0,986	x					3,6	
GP8 - 7										
GP8 - 8	820	1734,94	0,473	x					2,9	
GP8 - 9	680	1734,94	0,392		x				3,0	
GP8 - 10	1340	1734,94	0,772		x				3,0	Média Tensão bl. cerâmico
GP8 - 11	840	1734,94	0,484	x					4,0	
GP8 - 12	870	1734,94	0,501	x					4,0	0,626
GP8 - 13	1750	1734,94	1,009	x					4,0	
GP8 - 14	1250	1734,94	0,720	x					3,5	
GP8 - 15	1510	1734,94	0,870	x					3,2	
GP8 - 16										
GP8 - 17										
GP8 - 18	1240	1734,94	0,715		x				3,5	
GP8 - 19	1220	1734,94	0,703				x		4,0	
GP8 - 20	1570	1734,94	0,905	x					3,5	
GP8 - 21	1550	1734,94	0,893	x					4,0	
GP8 - 22	1260	1734,94	0,726	x					3,0	
GP8 - 23	1870	1734,94	1,078	x					2,5	
GP8 - 24	1480	1734,94	0,853	x					3,0	
GP8 - 25										
GP8 - 26	1170	1734,94	0,674	x					4,0	
GP8 - 27	950	1734,94	0,548				x		3,5	
GP8 - 28										Média Tensão bloco concreto
GP8 - 29	1790	1734,94	1,032	x					3,0	
GP8 - 30	1480	1734,94	0,853	x					3,0	0,827

Forma de ruptura:

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

obs.: De GP - 1 a GP -12 = Revestimento em blocos cerâmicos  
De GP - 13 a GP - 36 = Revestimento em blocos de concreto

Tabela D.3

Ensaio de Resistência de Aderência à Tração (Arrancamento) – GR										
Corpo de Prova	Carga (N)	Seção (mm <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)	Forma de Ruptura (%)					Espessura do Revestimento (mm)	
				a	b	c	d	e		
GR9 - 1	1430	1734,94	0,824			x			2,2	
GR9 - 2	1340	1734,94	0,772			x			2,3	
GR9 - 3	1480	1734,94	0,853	x					2,3	
GR9 - 4	1200	1734,94	0,692	x					2,1	
GR9 - 5	760	1734,94	0,438	x					2,7	
GR9 - 6	1570	1734,94	0,905			x			3,3	
GR9 - 7	810	1734,94	0,467	x					3,2	
GR9 - 8	800	1734,94	0,461	x					2,9	
GR9 - 9	1420	1734,94	0,818	x					2,9	
GR9 - 10	1010	1734,94	0,582	x					2,9	Média Tensão bloco cerâm.
GR9 - 11	1190	1734,94	0,686						3,7	
GR9 - 12	1640	1734,94	0,945						3,0	0,704
GR9 - 13	1610	1734,94	0,928						3,0	
GR9 - 14	1540	1734,94	0,888				x		3,0	
GR9 - 15	2360	1734,94	1,360				x		3,5	
GR9 - 16	1610	1734,94	0,928				x		3,5	
GR9 - 17	2460	1734,94	1,418	x					3,2	
GR9 - 18	1700	1734,94	0,980	x					4,0	
GR9 - 19	2080	1734,94	1,199	x					3,2	
GR9 - 20	2520	1734,94	1,452				x		4,0	
GR9 - 21	2210	1734,94	1,274	x					4,4	
GR9 - 22	1720	1734,94	0,991	x					3,5	
GR9 - 23	2450	1734,94	1,412	x					3,5	
GR9 - 24	2490	1734,94	1,435		x				3,0	
GR9 - 25	1960	1734,94	1,130		x				3,4	
GR9 - 26	2510	1734,94	1,447				x		3,4	
GR9 - 27	2380	1734,94	1,372		x				3,5	
GR9 - 28	1760	1734,94	1,014				x		2,5	Média Tensão bloco concreto
GR9 - 29	1590	1734,94	0,916				x		3,0	
GR9 - 30	1040	1734,94	0,599	x					3,2	1,152

Forma de ruptura:

- 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

Obs.: De GR - 1 a GR -12 = Revestimento em blocos cerâmicos  
De GR - 13 a GR - 36 = Revestimento em blocos de concreto



Tabela D.1.2 GP8 em bloco cerâmico GP8 em bloco de concreto

KS						
i	xi	z	ESPÚRIO	P(x<xi)	i/n	Diferença
1	0,288	-1,26	OK	0,10389	0,0909	0,0130
2	0,300	-1,22	OK	0,11185	0,1818	0,0700
3	0,392	-0,87	OK	0,19133	0,2727	0,0814
4	0,473	-0,57	OK	0,28358	0,3636	0,0801
5	0,484	-0,53	OK	0,29831	0,4545	0,1562
6	0,501	-0,46	OK	0,32103	0,5455	0,2244
7	0,772	0,54	OK	0,70709	0,6364	0,0707
8	0,801	0,65	OK	0,7429	0,7273	0,0156
9	0,945	1,19	OK	0,88286	0,8182	0,0647
10	0,945	1,19	OK	0,88286	0,9091	0,0262
11	0,986	1,34	OK	0,90984	1,0000	0,0902
12						
13						
14						
15						
16						
17						
média	0,63				MÁXIMO	0,2244
desvio	0,27					
	ESPÚRIO					
	TMAX 5%		2,23			
			D			
tabela $\alpha=0,05$ e $n=14$			2,49			
CONCLUSÃO:						
ACEITA HIPÓTESE DA NORMALIDADE						
letra c)	0,02548				distribuição t para probabilidade	

KS						
i	xi	z	ESPÚRIO	P(x<xi)	i/n	Diferença
1	0,548	-1,83	OK	0,0334	0,0714	0,0380
2	0,674	-1,00	OK	0,15829	0,1429	0,0154
3	0,703	-0,81	OK	0,20824	0,2143	0,0060
4	0,715	-0,74	OK	0,23057	0,2857	0,0551
5	0,720	-0,70	OK	0,24222	0,3571	0,1149
6	0,726	-0,66	OK	0,25418	0,4286	0,1744
7	0,853	0,17	OK	0,56752	0,5000	0,0675
8	0,853	0,17	OK	0,56752	0,5714	0,0039
9	0,870	0,28	OK	0,61158	0,6429	0,0313
10	0,893	0,43	OK	0,66808	0,7143	0,0462
11	0,905	0,51	OK	0,69505	0,7857	0,0907
12	1,009	1,19	OK	0,88307	0,8571	0,0259
13	1,032	1,34	OK	0,91015	0,9286	0,0184
14	1,078	1,64	OK	0,94991	1,0000	0,0501
15						
16						
17						
média	0,83				MÁXIMO	0,1744
desvio	0,15					
	ESPÚRIO					
	TMAX 5%		2,37			
			D			
tabela $\alpha=0,05$ e $n=14$			0,227			
CONCLUSÃO:						
ACEITA HIPÓTESE DA NORMALIDADE						
letra c)	0,02548				distribuição t para probabilidade	







Tabela D.1.4  
ANOVA

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
GC - Cerâmico	12	7,701805	0,641817	0,017661
GC Concreto	18	22,01801	1,223223	0,12516
GP8 - Cerâmico	11	6,887834	0,626167	0,071981
GP8 - Concreto	14	11,57963	0,827116	0,023259
GR9 - Cerâmico	12	8,444081	0,703673	0,03221
GR9 - Concreto	18	20,7442	1,152455	0,065317

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	5,180333	5	1,036067	17,02043	2,18E-11	2,33021
Dentro dos grupos	4,808885	79	0,060872			
Total	9,989218	84				

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
GC - Cerâmico	12	7,701805	0,641817	0,017661
GC Concreto	18	22,01801	1,223223	0,12516

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	2,433836	1	2,433836	29,34858	8,87E-06	4,195972
Dentro dos grupos	2,322	28	0,082929			
Total	4,755837	29				

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
GP8 - Cerâmico	11	6,887834	0,626167	0,071981
GP8 - Concreto	14	11,57963	0,827116	0,023259

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,248746	1	0,248746	5,596983	0,026797	4,279344
Dentro dos grupos	1,022185	23	0,044443			
Total	1,270931	24				

Anova: fator único

## RESUMO

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
GR9 - Cerâmico	12	8,444081	0,703673	0,03221
GR9 - Concreto	18	20,7442	1,152455	0,065317

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,450118	1	1,450118	27,72124	1,34E-05	4,195972
Dentro dos grupos	1,4647	28	0,052311			
Total	2,914817	29				

## Diferenças significativas entre grupos

Grupos	F	F crítico	
GC Cerâmico - GC Concreto	29,34858	4,19597	Diferença significativa
GP8 Cerâmico - GP8 Concreto	5,59698	4,27934	Diferença significativa
GR9 Cerâmico - GR9 Concreto	27,72124	4,19597	Diferença significativa
GC - GP8 - GR9 Cerâmico	0,49602	3,29454	NÃO existe diferença significativa
GC - GP8 - GR9 Concreto	9,00505	3,19506	Diferença significativa
GP8 - GR9 Concreto	9,00505	3,19506	Diferença significativa
GC - GR9 Concreto	0,47326	4,13002	NÃO existe diferença significativa

## Apêndice E

Tabela E.1 - Cálculo da relação a/g utilizada (empírica) para confecção das placas na fábrica

GP8	cheio (g)	sobra (g)	usado na placa (g)	V água (l)	a/g
saco 1	7.125,00	2.317,00	4.808,00	7,44	1,55
saco 2	7.236,00	2.318,00	4.918,00	6,87	1,40
saco 3	7.069,00	2.552,00	4.517,00	6,87	1,52
saco 4	7.500,00	2.952,00	4.548,00	6,87	1,51

GR9	cheio (g)	sobra (g)	usado na placa (g)	V água (l)	a/g
saco 5	7.072,00	1.466,00	5.606,00	7,44	1,33
saco 6	7.125,00	1.633,00	5.492,00	7,44	1,35
saco 7	7.211,00	2.044,00	5.167,00	7,44	1,44
saco 8	7.040,00	1.934,00	5.106,00	7,44	1,46
saco 9	8.000,00	2.765,00	5.235,00	7,44	1,42

Obs.: Placas utilizadas nos ensaios de flexão, massa específica e medidas das dimensões, foram as das confeccionadas com o gesso dos sacos 3 e 6.

Tabela E.2 –Cálculo da massa específica das placas confeccionadas com GC, GP8 e GR9

Massa específica das placas - GC - GP8 - GR9							
Corpos de prova 80x80mm	GC - 1	GC - 2	GP8 - 1	GP8 - 2	GR9 - 1	GR9 - 2	
Vértice (mm)	1	14,65	11,77	11,95	14,04	12,02	13,96
	2	14,65	10,98	11,96	13,68	11,81	13,71
	3	14,15	11,00	11,77	13,46	12,69	13,20
	4	14,21	11,50	12,08	13,62	12,68	13,08
Média(m)		0,014	0,011	0,012	0,014	0,012	0,013
	Lado a (mm)	80,58	81,10	80,81	80,10	81,49	82,18
	Lado b (mm)	81,98	79,90	80,15	81,33	82,52	80,54
Área (m <sup>2</sup> )		0,00660595	0,0064799	0,00648	0,006514533	0,00672	0,00662
Volume (m <sup>3</sup> )		9,5225E-05	7,33E-05	7,7E-05	8,92491E-05	8,3E-05	8,9E-05
Massa (g)		83,22	64,4	56,38	63,89	62,44	68,1
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )		873,932495	878,53616	729,041	715,8615437	754,908	762,848

Tabela E.3 – Resistência à flexão das placas confeccionadas com GC, GP8 e GR9 com corpos de prova 20 x 120 mm de base.

Resistência à flexão - Placas lisas para forro			
GC	N	Altura h mm	Resistência Mpa
1	122	11,84	3,264
2	167	13,28	3,551
3	197	14,63	3,452
4	150	12,28	3,730
5	108	11,39	3,122
Média			3,424
GP8			
1	83,0	12,1	2,129
2	83,0	12,1	2,133
3	58,0	11,6	1,614
4	93,0	13,9	1,797
Média			1,918
GR9			
1	79,0	12,2	1,984
2	89,0	12,9	2,006
3	67,0	11,7	1,851
4	95,0	13,3	2,014
Média			1,964

Tabela E.4 – Massa (kg) aos 28 dias das placas produzidas com gesso comercial GC, reciclado de placas GP8 e gesso reciclado de revestimento GR9

Placas	massa (kg)		Placas	massa (kg)
GC	7,10			
			GR9 - 5	6,26
GP8 -1	5,58		GR9 - 6	6,04
GP8 -2	5,12		GR9 - 7	5,72
GP8 -3	5,60		GR9 - 8	5,88
GP8 -4	5,38		GR9 - 9	5,82





