



**Universidade Estadual Paulista
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção**

Fabiana Costa Munhoz

**Utilização do gesso para fabricação de artefatos
alternativos, no contexto de produção mais limpa**

Dissertação de Mestrado

Bauru
Agosto/2008

Fabiana Costa Munhoz

Utilização do gesso para fabricação de artefatos alternativos, no contexto de produção mais limpa

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Estadual Paulista, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Adilson Renóbio

Bauru
Agosto/2008

DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - BAURU

Munhoz, Fabiana Costa.

Utilização do gesso para fabricação de artefatos alternativos, no contexto de produção mais limpa / Fabiana Costa Munhoz, 2008.

145 f. il.

Orientador: Adilson Renóbio.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2008.

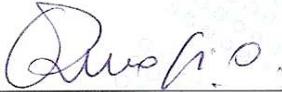
1. Construção civil. 2. Produção mais limpa. 3. Gesso. 4. Resíduos. 5. Desenvolvimento sustentável. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

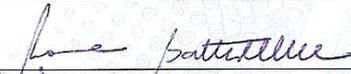
ATA Nº 005/2008

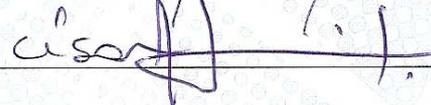
ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE **FABIANA COSTA MUNHOZ**, ALUNA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNESP – CAMPUS DE BAURU.

No dia cinco de agosto de dois mil e oito, às 14:00 horas, no anfiteatro do prédio da Pós-graduação, da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Bauru, reuniu-se à Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelo Professor Doutor Adílson Renóbio do Departamento de Engenharia Civil da UNESP – Campus de Bauru, Presidente da Banca, Professora Doutora Rosane Aparecida Gomes Battistelle, do Departamento de Engenharia Civil da UNESP – Campus de Bauru e o Professor Doutor César Antunes de Freitas do Departamento de Materiais Dentários da USP – Campus de Bauru, a fim de proceder à argüição pública da Dissertação da candidata Fabiana Costa Munhoz, intitulada em “UTILIZAÇÃO DO GESSO PARA A FABRICAÇÃO DE ARTEFATOS ALTERNATIVOS, NO CONTEXTO DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA”. O Professor Doutor Adílson Renóbio, Presidente da Banca, apresentou a candidata, que dissertou sobre seu trabalho, em quarenta minutos, após, a candidata foi argüida oralmente pelos membros componentes da Comissão Examinadora no tempo regulamentar exigido. Logo após, reuniu-se a Comissão Examinadora, tendo apresentado o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após, lida e aprovada, será assinada pelos Senhores Membros da Comissão Examinadora.

Bauru, 05 de agosto de dois mil e oito.

Prof. Dr. Adílson Renóbio 

Prof^a. Dr^a. Rosane Aparecida Gomes Battistelle 

Prof. Dr. César Antunes de Freitas 

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos pais, José Roberto e Regina...

Verdadeiros alicerces para que tudo isso fosse possível. Obrigada, pai e mãe, por estarem sempre ao meu lado, pelo suporte emocional e por me incentivarem a lutar pelos meus sonhos. Vocês me ensinaram a seguir os caminhos da honestidade, do trabalho e eu tenho muito orgulho de ser sua filha. Esta conquista não seria possível se não fossem vocês!

À minha família...

Ao meu irmão, Frederico, pelo carinho e apoio.

Aos meus avós, Alípio, Onofrina, Marcos e Anésia, pelo amor e incentivo.

Muito obrigada!

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Engenharia de Bauru, na pessoa do diretor Prof. Dr. Alcides Padilha e do vice-diretor Jair Wagner Souza Manfrinato, por ter-me recebido para que eu pudesse alcançar meus sonhos. É uma honra fazer parte, ainda que pequena, dessa casa de ensino à qual sempre procurarei honrar.

À FAPESP, pela concessão da bolsa de mestrado, indispensável para a realização deste estudo.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Agradeço primeiramente a Deus por ter-me dado força, saúde e sabedoria para cumprir mais esta etapa da minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Adilson Renóbio, pela sua competência e compreensão. Por me ensinar a gostar de trabalhar no laboratório e por acreditar em mim. Espero ter correspondido à sua expectativa.

À querida professora Dra. Rosane Aparecida Gomes Battistelle, pela sua imensa colaboração e atenção durante toda a pesquisa, além do carinho e da amizade gerada.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Produção, em especial ao Prof. Dr. Otávio José de Oliveira, Prof. Dr. Renato de Campos, Prof. Dr. José Alcides Gobbo Junior, Prof. Dr. Manoel Henrique Salgado e Profa. Dra. Rosani de Castro, por me receberem e pelos ensinamentos compartilhados.

Aos professores do Departamento de Engenharia Civil, em especial ao Prof. Dr. Jorge Hamada, Prof. Dr. Obede Borges Faria e Prof. Dr. Mário Morio Isa.

Ao técnico do Laboratório de Construção, Israel, pela sua paciência e ajuda durante toda parte experimental. A sua colaboração foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Dr. Alberto Moreira Jorge Junior, Dr. César Antunes de Freitas e Dr. Fenelon Martinho Lima Pontes pela pelos ensinamentos transmitidos.

Ao Josival A. Inojosa de Oliveira, da empresa Supergesso, e à empresa BASF, pela doação de materiais para a execução dos ensaios.

A Célia, secretária da Pós-Graduação, pela paciência e amizade.

À professora Eloísa, pelo seu carinho e pela correção deste trabalho.

Aos amigos do Mestrado, Érica, Cristiano, Simone, Valdenei, Paulo, Ivy, Walter, Fabiano, Bruna e Vanessa, pelo apoio, amizade e troca de conhecimentos.

Aos alunos da graduação Guilherme Neves Viudes e César Augusto Sitta, pela amizade, paciência e auxílio imprescindível no laboratório.

Às minhas queridas amigas, Angélica Hannas e Marcela Calabria que, mesmo não sendo da área, me ajudaram muito neste trabalho com sugestões e dicas.

Às amigas que fazem parte da minha vida, Valéria, Pamela, Juliana, Suellen, Carla e Tatiana, pela presença nos momentos em que eu mais precisava.

Às eternas amigas, Cristiane, Roberta, Silvia e Priscila que, mesmo de longe, sempre me deram força para continuar lutando.

RESUMO

No Brasil, as atividades da construção civil são motivos de preocupação para os líderes ambientais, principalmente em relação à geração e à gestão dos resíduos da construção. Diante da necessidade de desenvolvimento sustentável nesse setor, a inovação tecnológica torna-se uma importante ferramenta para a minoração do impacto ambiental. Baseado nos princípios da produção mais limpa (P+L), o objetivo deste trabalho foi colaborar para o desenvolvimento da inovação tecnológica na construção civil, visando à redução dos resíduos gerados em obra. Utilizou-se como matéria-prima o gesso, água e polímeros, objetivando a melhoria nas propriedades deste material, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, como a redução da absorção e aumento da resistência à compressão, com conseqüente ampliação de sua utilização como material alternativo na construção civil na produção de painéis modulares de vedação. Diferentes tipos e quantidades de polímeros foram adicionados na água de amassamento do gesso para a realização de ensaios de laboratório que determinaram a trabalhabilidade da pasta, os tempos de início e fim de pega, a taxa de absorção e a resistência à compressão axial. Pela microscopia eletrônica de varredura, foi possível analisar a microestrutura das pastas confeccionadas e confirmar os dados obtidos nos ensaios de absorção e resistência à compressão axial. Dois traços com presença de aditivos se destacaram em relação aos objetivos propostos neste trabalho. Os resultados indicam que a presença de Silicone, que é um produto comercial, proporcionou redução na taxa de absorção do gesso, de 75%, se comparado com traço branco de análise. No entanto, sua presença não influenciou significativamente na resistência à compressão do material. A adição combinada de Silicone e Glenium 3200 HES possibilitou a redução de 28% na relação água/gesso, aumentando a resistência à compressão da mistura em aproximadamente 85%, se comparado com o traço somente com Silicone, sem praticamente alterar a taxa de absorção de água. Pode-se concluir que a presença de aditivos ao gesso, como o Silicone e o Glenium 3200 HES, provoca alterações positivas nas propriedades mecânicas do gesso, sendo possível ampliar sua utilização. O objetivo do trabalho foi alcançado com a produção de painéis de gesso, tendo no seu interior garrafas de politereftalato de etila (PET), componentes alternativos para os processos construtivos atuais.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável. Produção mais Limpa. Construção Civil. Gesso. Resíduos.

ABSTRACT

In Brazil, the activities of civil construction are an issue of great concern to the environmental leaders, particularly in relation to the generation and management of the construction wastes. Given the need for sustainable development in this sector, technological innovation has become an important tool for the mitigation of environmental impacts. Based on the principles of cleaner production (P + L), the aim of this work was to collaborate to the development of technological innovation in civil construction, aiming to reduce the waste generated in constructions. Plaster, water and polymers were used as raw materials. In order to improve the properties of the mixture, both in early age and hardened gypsum pastes, this study assessed whether an alteration in the mixture proportion would yield a reduction in the absorption rate and an increase in the compression resistance, with consequent expansion of its use as an alternative material in civil construction in the production of modular panels to seal. Different types and quantities of resins were added in the water before mixing with the plaster. Laboratory tests were carried out to determine the workability of the gypsum paste, the initial and final setting time values, the absorption rate and compression resistance. Using the scanning electron microscopy, it was possible to analyze the microstructure of gypsum paste and confirm the data obtained in laboratory tests of absorption and compression resistance. Two mixtures with additives were more relevant to the proposed objectives for this work. The results indicated that the addition of silicone, which is a commercial product, provided a decrease in the plaster absorption rate of 75%, when compared to mixture without silicone. However, their addition reduced the compression resistance of the material. The combined addition of silicone and Glenium 3200 HES yielded a reduction in water/plaster ratio of 30%, increasing the compression resistance of the mixture in 85%, when compared with the mixture only with silicone, without changing the rate of water absorption. It can be concluded that the presence of additives to the plaster, such as silicone and Glenium 3200 HES, causes positive changes in the mechanical properties of plaster and it is possible to extend the use of gypsum. The aim of this work was reached with the production of panels of gypsum, which has PET bottles inside, alternative materials to the current processes in civil construction.

Keywords: Sustainable Development. Cleaner Production. Civil Construction. Gypsum. Wastes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Mineral denominado de gipsita	14
Figura 2:	Área minerada em fase de recuperação	16
Figura 3:	Área minerada já recuperada	16
Figura 4:	Vista geral do processo de mineração	16
Figura 5:	Detalhe da mineração a céu aberto	16
Figura 6:	Local de coleta manual da gipsita em uma empresa, em Pernambuco.....	17
Figura 7:	Ensilamento da gipsita	17
Figura 8:	Forno de marmitta horizontal utilizado na fabricação do gesso beta.....	18
Figura 9:	Instalações utilizadas na fabricação do gesso alfa	18
Figura 10:	Execução de revestimento projetado com argamassa de gesso	27
Figura 11:	Execução manual de revestimento de gesso	27
Figura 12:	Placas de gesso para execução de forros	28
Figura 13:	Parede curva utilizando-se placas de gesso acartonado	28
Figura 14:	Gesso acartonado utilizado em uma residência	28
Figura 15:	<i>Container</i> utilizado na coleta dos resíduos	38
Figura 16:	Ilustração da deposição dos resíduos no <i>container</i>	38
Figura 17:	Sistema utilizado para o transporte de resíduos	38
Figura 18:	Chegada dos resíduos coletados aos armazéns centrais	38
Figura 19:	Unidade móvel de reciclagem	38
Figura 20:	Quadro de controle da unidade de reciclagem	38
Figura 21:	Armazenagem do pó de gesso reciclado	39
Figura 22:	Ensaio de <i>mini-slump</i> com a pasta H ₅ , de baixa fluidez.....	57
Figura 23:	Ensaio de <i>mini-slump</i> com a pasta I ₅ , de fluidez elevada	57
Figura 24:	Agulhas de Gillmore	59
Figura 25:	Amostras em estufa para secagem	61
Figura 26:	Recipiente para imersão, completa ou parcial, dos corpos-de-prova em água.....	61
Figura 27:	Corpos-de-prova com 1/3 do seu volume imerso	61

Figura 28:	Recipiente com os corpos-de-prova com $\frac{2}{3}$ do seu volume imerso..	61
Figura 29:	Ebulidor utilizado no ensaio	62
Figura 30:	Detalhe dos corpos-de-prova após término do período de ebulição.	62
Figura 31:	Conjunto da balança para pesagem hidrostática	62
Figura 32:	Cesto para amostras, no conjunto da balança	62
Figura 33:	Corpos-de-prova sobre a lâmina d'água	65
Figura 34:	Máquina universal de ensaios utilizada	67
Figura 35:	Detalhe da máquina de ensaios, com uma amostra sendo comprimida	67
Figura 36:	Microscópio eletrônico de varredura utilizado.....	68
Figura 37:	Colocação das amostras para análise da MEV.....	68
Figura 38:	Amostras coladas em suportes de alumínio para serem observadas na MEV.....	70
Figura 39:	Esquema das dimensões internas da forma	71
Figura 40:	Forma forrada com lona plástica	71
Figura 41:	Vista das garrafas PET e dos tubos de PVC dispostos dentro da forma	72
Figura 42:	Vista dos tubos de PVC como parte da instalação hidráulica.....	72
Figura 43:	Fase de mistura dos componentes da pasta de gesso estudada	73
Figura 44:	Vazamento da pasta de gesso na forma.....	73
Figura 45:	Aspecto da superfície das amostras sem aditivo (grupo L) e aditivadas (grupos G ₅ e I ₅), após fervura	88
Figura 46:	Aspecto da superfície dos corpos-de-prova traços P, B e L, após fervura	88
Figura 47:	Fotomicrografia da amostra do pó de gesso alfa, com aumento linear de 200 vezes	96
Figura 48:	Fotomicrografia da amostra do pó de gesso beta, com aumento linear de 1.000 vezes	96
Figura 49:	Fotomicrografia da amostra B, com aumento linear de 5.000 vezes.	98
Figura 50:	Fotomicrografia da amostra P, com aumento linear de 5.000 vezes.	98
Figura 51:	Fotomicrografia da amostra D, com aumento linear de 500 vezes...	99
Figura 52:	Fotomicrografia da amostra E ₁ , com aumento linear de 500 vezes...	99
Figura 53:	Fotomicrografia da amostra L, com aumento linear de 500 vezes....	101

Figura 54:	Fotomicrografia da amostra D, com aumento linear de 5.000 vezes	101
Figura 55:	Fotomicrografia da amostra L, com aumento linear de 500 vezes ...	101
Figura 56:	Fotomicrografia da amostra D, com aumento linear de 5.000 vezes	101
Figura 57:	Fotomicrografia da amostra G ₅ , com aumento linear de 1.000 vezes	102
Figura 58:	Fotomicrografia da amostra G ₅ , com aumento linear de 5.000 vezes	102
Figura 59:	Fotomicrografia da amostra I ₅ , com aumento linear de 1.000 vezes.	103
Figura 60:	Fotomicrografia da amostra I ₅ , com aumento linear de 5.000 vezes.	103
Figura 61:	Fotomicrografia da amostra G ₈ , com aumento linear de 1.000 vezes	104
Figura 62:	Fotomicrografia da amostra G ₈ , com aumento linear de 5.000 vezes	104
Figura 63:	Fotomicrografia da amostra T ₂ , com aumento linear de 1.000 vezes	106
Figura 64:	Fotomicrografia da amostra P, com aumento linear de 1.000 vezes.	106
Figura 65:	Fotomicrografia da amostra T ₂ , com aumento linear de 5.000 vezes	106
Figura 66:	Fotomicrografia da amostra P, com aumento linear de 5.000 vezes.	106
Figura 67:	Aspecto de um painel de gesso cortado.....	108
Figura 68:	Bloco de gesso posicionado para o ensaio de compressão axial	109
Figura 69:	Mostrador do índice de carga da máquina universal de ensaio	109

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1:	Composição percentual de resíduos (RCC) em residências nos EUA.....	32
Gráfico 2:	Composição percentual de resíduos (RCC) no município de São Carlos.....	32
Gráfico 3:	Variação da taxa de escoamento (<i>mini-slump</i>) em função da relação água/gesso.....	77
Gráfico 4:	Variação da taxa de escoamento (<i>mini-slump</i>) em função da quantidade de gesso alfa na pasta	77
Gráfico 5:	Variação da taxa de escoamento (<i>mini-slump</i>) nas pastas com Imperwall e Masterfix.....	78
Gráfico 6:	Comparação da taxa de escoamento (<i>mini-slump</i>) nas pastas com Imperwall na relação a/g de 0,60 e 0,70.....	79
Gráfico 7:	Comparação da taxa de escoamento (<i>mini-slump</i>) nas pastas com Masterfix na relação a/g de 0,60 e 0,70.....	80
Gráfico 8:	Índices de vazios após saturação e fervura dos traços L, G ₅ e G ₈ .	87
Gráfico 9:	Variação da quantidade de água absorvida por capilaridade em função do tempo	90
Gráfico 10:	Comparação das tensões de compressão entre os traços com relação a/g de 0,60, nas 2 idades estudadas.....	93
Gráfico 11:	Comparação das tensões de compressão entre os traços com relação a/g de 0,70, nas 6 idades estudadas	93
Gráfico 12:	Variação das tensões de compressão médias dos traços B, P e T ₂ com a idade.....	94
Gráfico 13:	Resistência à compressão média aos 63 dias (MPa).....	95
Gráfico 14:	Indicativo de custo de cada mistura estudada, para um quilo de gesso.....	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Composição da gipsita	14
Tabela 2:	Compostos obtidos a partir da calcinação da gipsita	18
Tabela 3:	Energia necessária na fabricação de materiais de construção	19
Tabela 4:	Produção entre 1999 e 2004 no Pólo Gesseiro do Araripe (em 1.000 toneladas)	20
Tabela 5:	Composição teórica dos sulfatos	22
Tabela 6:	Características técnicas do gesso alfa tipo A e tipo B	25
Tabela 7:	Características técnicas do gesso beta	25
Tabela 8:	Características químicas e físicas do gesso lento	26
Tabela 9:	Valores de resistência à compressão para placas de gesso acartonado.....	30
Tabela 10:	Dados técnicos do produto Masterfix	42
Tabela 11:	Propriedades físico-químicas do silicone	44
Tabela 12:	Dados técnicos do produto Glenium 3200 HES	44
Tabela 13:	Custos dos materiais utilizados na pesquisa	45
Tabela 14:	Descrição dos traços utilizados	53
Tabela 15:	Massas e módulo de finura do gesso alfa e beta obtidas durante o ensaio de granulometria.....	75
Tabela 16:	Resultados obtidos pelo ensaio de <i>mini-slump</i>	76
Tabela 17:	Tempos de desforma, início e fim de pega.....	81
Tabela 18:	Valores médios das massas dos CP's em função da idade.....	83
Tabela 19:	Taxas de absorção e índice de vazios médios obtidos durante ensaio de absorção por imersão	85
Tabela 20:	Valores de massa específica obtidos durante ensaio de absorção por imersão	85
Tabela 21:	Valores obtidos durante ensaio de absorção por capilaridade	89
Tabela 22:	Valores obtidos durante ensaio de resistência à compressão em diversas idades	91
Tabela 23:	Resumo das características das misturas B e P após todos os ensaios	97

Tabela 24:	Resumo das características das misturas D e E ₁ após todos os ensaios	99
Tabela 25:	Resumo das características das misturas L e D após todos os ensaios	100
Tabela 26:	Resumo das características das misturas G ₅ , G ₈ e I ₅ após todos os ensaios.....	102
Tabela 27:	Resumo das características das misturas P e T ₂ após todos os ensaios	105
Tabela 28:	Características dos blocos de gesso produzidos com garrafas PET no seu interior	107
Tabela 29:	Resultados obtidos no ensaio de compressão com blocos produzidos com garrafas PET no seu interior	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

α	Alfa
β	Beta
a/g	Relação da quantidade de água pela quantidade de gesso
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CaSO ₄	Sulfato de cálcio
CaSO ₄ .2H ₂ O	Sulfato de cálcio dihidratado
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CO ₂	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo-de-prova
CP's	Corpos-de-prova
FGV	Fundação Getúlio Vargas
H ₂ S	Gás Sulfídrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	International Standard Organization
IUCN	União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais
km	Quilômetro
km ²	Quilômetro quadrado
NBR	Norma Brasileira
P+L	Produção Mais Limpa
P2	Prevenção à Poluição
PIB	Produto Interno Bruto
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
RCD	Resíduos de construção e demolição
SINDUSCON	Sindicato das Indústrias da Construção Civil

SUMÁRIO

1	Introdução.....	01
1.1	Importância e justificativa do estudo.....	02
1.2	Objetivo	04
1.3	Objetivos específicos	04
1.4	Delimitação da pesquisa	05
1.5	Estrutura do trabalho	05
2	Revisão Bibliográfica	07
2.1	Desenvolvimento sustentável na construção civil	07
2.2	A produção mais limpa	10
2.3	O gesso como material de construção	12
2.3.1	O potencial de extração e a produção de gesso no Brasil	13
2.3.2	O processo de hidratação e as propriedades do gesso	21
2.3.3	O emprego do gesso na construção civil	27
2.4	Os resíduos do gesso e suas possibilidades de reciclagem	30
2.5	A utilização de polímeros como aditivos ao gesso	39
3	Materiais e Métodos	46
3.1	Materiais utilizados	46
3.1.1	Gesso tipo alfa (α)	47
3.1.2	Gesso tipo beta (β)	47
3.1.3	Masterfix	47
3.1.4	Imperwall	48
3.1.5	Silicone	48
3.1.6	Glenium 3200 HES	48
3.1.7	Água de amassamento	49
3.2	Métodos de ensaio	49
3.2.1	Ensaio preliminares	49
3.2.2	Análise granulométrica	54
3.2.3	<i>Mini-slump</i>	55
3.2.4	Tempos de início e fim de pega	58
3.2.5	Determinação da massa em relação à idade do corpo-de-prova	60

3.2.6	Absorção por imersão	60
3.2.7	Absorção por capilaridade	64
3.2.8	Resistência à compressão axial	66
3.2.9	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	68
3.2.10	Avaliação da trabalhabilidade das misturas.....	70
4	Resultados e discussões	74
4.1	Análise granulométrica	74
4.2	<i>Mini-slump</i>	75
4.3	Tempos de início e fim de pega	80
4.4	Determinação da massa em relação à idade do corpo-de-prova	83
4.5	Absorção por imersão	84
4.6	Absorção por capilaridade	89
4.7	Resistência à compressão axial	90
4.8	Microscopia eletrônica de varredura	96
4.9	Ensaio realizados nos artefatos de gesso produzidos	106
4.10	Análise dos custos das misturas	109
5	Conclusões	111
	Referências Bibliográficas.....	116
	ANEXO A – Determinação da massa em relação à idade do corpo-de-prova.....	124
	ANEXO B – Ensaio de absorção por imersão.....	129
	ANEXO C – Ensaio de absorção por capilaridade	137
	ANEXO D – Relatórios de ensaio de resistência à compressão axial	145

1 INTRODUÇÃO

Enquanto a tecnologia vem transformando a vida da sociedade, os impactos ambientais decorrentes dessas transformações não podem ser analisados isoladamente dos contextos sócio-econômicos, políticos e culturais em que estas mudanças se inserem.

O avanço da civilização industrial levou a demandas crescentes por recursos naturais. O desenvolvimento e a aplicação de qualquer tecnologia resultam no uso e na degradação de recursos naturais, com a conseqüente geração de resíduos, o consumo de certa quantidade de energia e de outros insumos, muitas vezes não renováveis.

Para proporcionar as condições para o desenvolvimento sustentável, por meio da inovação tecnológica, a mobilização e a motivação de toda a sociedade são necessárias, a fim de se definir um estilo de vida alternativo, com padrões de comportamento, de produção e de consumo que atendam, ao menos, às necessidades básicas da sociedade.

Assim, a construção civil se insere completamente nesse contexto de avanço tecnológico aliado ao desenvolvimento social e econômico, estando entre os dez setores que mais geram emprego por unidade monetária investida. Por razões estruturais e políticas, o déficit habitacional brasileiro só vem crescendo, bem como a geração de resíduos nesse setor.

Com essas informações, a Produção mais Limpa (P+L), com propostas de abordagem preventiva, é uma estratégia que deve ser adotada pela indústria da construção civil, pois parte da necessidade de ajustes no processo produtivo visando à redução da emissão/geração de resíduos diversos (UNEP, 1995 apud MELLO, 2002).

E, para se alcançar os objetivos propostos pelo desenvolvimento sustentável, tecnologias e materiais alternativos podem e devem ser utilizados na construção de edificações, em substituição ao concreto, ao vidro e à argila, reduzindo o consumo de matérias-primas naturais e a quantidade de resíduos gerados, com conseqüente minoração do impacto ambiental. Tais inovações, no entanto, só se tornarão possíveis com o desenvolvimento tecnológico e com um programa governamental

compromissado aos novos paradigmas que se apresentam. E assim, a parceria de trabalho entre a universidade, governo e empresas se faz necessária.

Nesse contexto, o desenvolvimento de pesquisas científicas vinculadas aos estudos de caracterização de novos materiais menos impactantes ao meio ambiente, se insere diretamente nas primícias do desenvolvimento sustentável e da P+L.

O gesso é um material que se enquadra nessas características, pois permite racionalizar e agilizar o processo construtivo, reduzindo a quantidade de resíduos gerados durante a obra, além de proporcionar a criação de um espaço para um novo conceito construtivo.

O setor de gesso brasileiro, que ainda não tem uma política de gestão adequada para os seus resíduos, possui perdas significativas de material durante sua utilização, principalmente devido às limitações quanto ao tempo para trabalhabilidade da pasta de gesso e pela sua solubilidade em água. A disposição de gesso em aterros sanitários não é prática recomendada, exceto quando enclausurado e sem contato com a matéria orgânica e água, uma vez que em contato com umidade e condições anaeróbicas, pode formar gás sulfídrico (H_2S), que é tóxico e inflamável.

Uma inovação tecnológica adequada deve contribuir com a redução significativa do volume de resíduo gerado, considerando que, com a maior impermeabilidade do material, ampliam-se as possibilidades e formas de uso do produto pela indústria da construção civil. Nesse contexto, e em conjunto com a reciclagem, consiste em uma forma importante de tratamento dos resíduos, pois se preservam os recursos minerais e energéticos, fatores fundamentais para o desenvolvimento sustentável, permitindo também o aumento da vida útil do aterro sanitário.

1.1 Importância e justificativa do estudo

O tema escolhido para esta dissertação parte da necessidade de inovação tecnológica em processos e produtos no setor da construção civil, principalmente por estes serem um dos maiores geradores de resíduos no Brasil.

Baseado nos mecanismos de Produção mais Limpa (P+L) e ecoeficiência, sendo dois conceitos que se inter-relacionam e se complementam, tendo como objetivo sustentável o de fazer com que os recursos naturais transformem-se efetivamente em produtos e não gerem resíduos (DIAS, 2006), é necessário o desenvolvimento de produtos “ecologicamente corretos”, priorizando os materiais menos impactantes ao ambiente em seu ciclo de vida. Com isso, haverá redução na quantidade de resíduos gerados e melhoria na qualidade dos resíduos ofertados, facilitando, assim, o processo de reutilização e reciclagem, com a diminuição da deposição indiscriminada do gesso no meio ambiente.

Mesmo com as recomendações da resolução do CONAMA nº 307, é sabido que o volume de resíduos depositado clandestinamente é muito grande, merecendo assim, estudos que viabilizem, a princípio, a redução do volume gerado e, em um segundo momento, novos empregos desse material, possibilitando, entre outros benefícios, geração de emprego e renda.

No Brasil, o mercado verde para a construção civil ainda é pouco explorado, sendo enfocado apenas o setor dos aquecedores de água por energia solar, o qual recebeu isenção fiscal. Os fabricantes de equipamentos hidro-sanitários têm investido em equipamentos de redução de consumo de água, como o emprego de torneiras com redutor de vazão e bacias sanitárias de vazão reduzida. Estes dois exemplos são significativos, porém de ações pontuais dentro do grande mercado da construção civil.

Com o intuito de contribuir para o mercado verde da construção civil no Brasil, faz-se necessário o estudo de materiais de construção não tradicionais, como por exemplo, o gesso. Este material merece estudos aprofundados, principalmente pelo seu potencial de exploração e produção no Brasil, pela baixa quantidade de energia necessária para sua produção, se comparado com outros materiais de construção, e pela possibilidade de reciclagem de seus resíduos, como é mostrado neste trabalho nos tópicos a seguir.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é conferir ao gesso propriedades que o tornem apto a ser empregado como matéria-prima na produção de artefatos para a construção civil, com a adição de polímeros. Na construção civil, estas peças poderão ser utilizadas como painéis modulares para alvenaria e forro, alternativos para os processos construtivos usuais, representados pela construção com elementos cerâmicos, de concreto ou gesso acartonado.

1.3 Objetivos específicos

Os objetivos específicos podem ser resumidos de acordo com os seguintes pontos:

- a) Contribuir para o desenvolvimento sustentável no setor da construção civil, através da adoção de técnicas de Produção Mais Limpa (P+L);
- b) Apresentar uma inovação tecnológica no processo produtivo, no intuito de reduzir o impacto ambiental, através da eliminação total das perdas no processo de fabricação, minimizando a geração de resíduos;
- c) Analisar a influência de aditivos nas propriedades do gesso, visando a melhorias com a redução da absorção e o aumento do tempo de trabalhabilidade, reduzindo assim a quantidade de resíduos gerados durante o processo produtivo e ampliando as possibilidades do seu uso;
- d) Ampliar o conhecimento sobre os resíduos do gesso e suas possibilidades de reciclagem e reutilização.

1.4 Delimitação da pesquisa

O presente trabalho se restringe à exploração do mercado verde no Brasil, utilizando-se como matéria-prima alternativa o gesso de construção. Para isso utilizou-se de gesso e aditivos comerciais, determinando a influência desses produtos nas propriedades físicas e mecânicas na pasta de gesso e nele já endurecido. Em particular, o maior interesse é o estudo da umidade, absorção e resistência à compressão. Mesmo não sendo generalizados, os resultados dos ensaios práticos obtidos, considerando que se referem a produtos comerciais específicos, são representativos para as condições aplicadas.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho é estruturado em cinco capítulos distintos, organizados da forma descrita a seguir.

Neste **primeiro capítulo**, foi realizada uma introdução ao assunto, apresentando a importância e justificativa da pesquisa, seus objetivos e limitações.

A revisão bibliográfica é desenvolvida no **Capítulo 2**, sendo dividida em sub-itens, que tratam dos diversos assuntos como o desenvolvimento sustentável na construção civil e a P+L.

Em um dos sub-itens é realizada uma revisão bibliográfica do gesso, matéria-prima utilizada neste trabalho, iniciando-se pelo seu processo de produção até seu emprego no mercado brasileiro. Posteriormente, são analisados os resíduos de construção e demolição, com ênfase no gesso, e, posteriormente, são apresentados os processos de reciclagem e reutilização desse material. E, por fim, os polímeros são apresentados para finalizar essa revisão bibliográfica.

No **Capítulo 3** estão descritas as fases desenvolvidas para o estudo experimental deste projeto, incluindo a metodologia para preparação dos corpos-de-prova de todos os ensaios desenvolvidos.

Os resultados obtidos nos ensaios e as discussões estão apresentados no **Capítulo 4**.

No **Capítulo 5** são apresentadas as conclusões, incluindo recomendações para trabalhos futuros.

Posteriormente estão relacionadas as referências bibliográficas que serviram de base para este estudo. E, para concluir, estão os **ANEXOS** que apresentam os dados obtidos nos ensaios, na íntegra, além dos relatórios de ensaio de resistência à compressão axial.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os tópicos abordados nesta revisão bibliográfica fazem parte do contexto no qual é inserido o tema desta pesquisa.

De forma mais abrangente, são apresentados os conceitos de desenvolvimento sustentável, dando ênfase para a vertente ambiental, no qual se inserem a ecoeficiência e a P+L, princípios base deste trabalho.

Posteriormente é realizada uma revisão bibliográfica da matéria-prima utilizada, ou seja, o gesso, abrangendo desde o seu processo de produção até as alternativas existentes para a redução e reciclagem dos seus resíduos.

Para finalizar este tópico, são apresentados os polímeros que são utilizados como aditivos ao gesso, com o intuito de melhoria nas suas propriedades físicas e mecânicas.

2.1 Desenvolvimento sustentável na construção civil

De acordo com Isaia (2007), a construção civil é um dos macrossetores da economia que produz bens de maiores dimensões físicas do planeta, sendo a maior consumidora de recursos naturais em qualquer país do mundo. Além disso, é uma atividade-meio para que seja alcançado o desenvolvimento social e econômico das nações, pois as obras e os serviços por ela elaborados têm como função primordial satisfazer as necessidades humanas e elevar o padrão de vida da população em geral.

Possuindo um elevado poder de encadeamento da economia, a construção civil se torna um setor estratégico da economia para impulsionar e elevar o status de qualidade de vida da população de um país emergente como o Brasil. Em 2005, o PIB da indústria da construção civil foi de R\$ 126,2 bilhões, participando com 7,3% do PIB nacional. Além disso, foi responsável, em maio de 2006, por 1,471 milhões de empregos com carteira assinada no país (FGV/SINDUSCON, 2006).

Apesar da significância da indústria da construção civil na economia brasileira, o déficit habitacional brasileiro, que mede a carência de moradia avaliando a sua inadequação estrutural, domicílios improvisados, moradias rústicas e cortiços, e a coabitação (mais de uma família habitando a mesma residência), só vem crescendo. Através de estudos elaborados pela GV Consult; Sinduscon-SP (2006), com base nos dados da Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios (PNAD) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do ano de 2004, o déficit habitacional brasileiro totalizou 7,9 milhões de moradias em 2004, o que corresponde a 15,2% do total de domicílios do país, evidenciando, assim, a necessidade de investimento em moradias.

No contexto da sociedade industrial, a função da construção civil é a transformação do ambiente natural no ambiente construído. De maneira geral o impacto ambiental da construção civil é proporcional a sua tarefa social, o que a torna a maior consumidora de recursos naturais e energia, de qualquer economia, uma das maiores geradoras de resíduos e também colabora significativamente na poluição ambiental, incluindo o efeito estufa (JOHN, 2000).

Isaia (2007) apresenta dados que confirmam essa afirmação. De acordo com o autor, a indústria da construção civil consome cerca de 55% da madeira que é cortada para fins não combustíveis e 40% da energia necessária para a fabricação e utilização dos materiais de construção.

Ainda de acordo John (2000), os resíduos de construção civil (RCC) representam cerca de duas a três vezes a massa de resíduos domiciliares.

As propostas de desenvolvimento sustentável estão baseadas na perspectiva de utilização atual dos recursos naturais desde que sejam preservados para as gerações futuras (DIAS, 2006). O conceito normativo básico de desenvolvimento sustentável, de acordo com Maurice Strong, que foi Secretário Geral da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, emergiu na Conferência de Estocolmo de 1972, e foi designado à época como “abordagem do codesenvolvimento” e, posteriormente, renomeado com a denominação atual. Maurice Strong, completa dizendo que o desenvolvimento sustentável será alcançado se três critérios fundamentais forem obedecidos simultaneamente: equidade social, prudência ecológica e eficiência econômica (SACHS, 1993).

O desenvolvimento sustentável não apenas demanda a preservação dos recursos naturais de maneira a garantir para as gerações futuras iguais condições

de desenvolvimento, mas também uma maior equidade no acesso aos benefícios do desenvolvimento (LIDDLE, 1994; ONU, 1992 apud JOHN, 2000).

Chen & Chambers (1999) definem desenvolvimento sustentável como aquele que “permite atender às necessidades básicas de toda a população e garante a todos a oportunidade de satisfazer suas aspirações para uma vida melhor sem, no entanto, comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades.”

Sachs (1993) considera desenvolvimento sustentável o processo que melhora as condições de vida das comunidades humanas e, ao mesmo tempo, respeita os limites de capacidade de carga dos ecossistemas.

Para Hill, Bergman & Bowen (1994), esse conceito é polêmico por se tratar de uma contradição semântica: sustentável implica em algo que possa ser mantido indefinidamente; o que contradiz o conceito de desenvolvimento, que implica em transformação.

Mas independente de seu significado, esse paradigma certamente vai implicar em uma maior produção de bens, utilizando uma quantidade menor de recursos naturais, redução na poluição gerada, incluindo a diminuição da produção de resíduos, e redução do consumo de energia (JOHN, 2000). Para atingir esse objetivo, será necessário o aperfeiçoamento dos projetos para que o consumo de materiais seja minimizado e otimizado, substituição dos materiais tradicionais por outros mais eficientes, redução da geração dos resíduos e sua reutilização através da reciclagem e até o aumento da durabilidade dos produtos (ISAIA, 2007; BROWN, MATOS & SULLIVAN, 1998; JOHN, 2000). E isso implicará na substituição do modelo linear de produção pelo modelo de ciclo fechado (CURWEL & COOPER, 1998 apud JOHN, 2000), onde a utilização de todos os recursos empregados é otimizada e a geração de resíduos reduzida a um mínimo reciclável.

John (2000) afirma que uma das condições básicas para se atingir o desenvolvimento sustentável no setor da construção civil é a reciclagem dos resíduos da construção civil, principalmente porque é o maior gerador de resíduos finais entre os macrossetores da economia, e assim permite se fechar o ciclo de vida dos produtos.

Para Aguiar (2004), dentre alguns fatores que estão proporcionando um crescente aumento dos estudos para a utilização de agregados reciclados na produção de concreto e argamassas, se destacam além da adoção do conceito de

desenvolvimento sustentável pela indústria da construção civil, a escassez de jazidas de agregados naturais, o elevado consumo energético para o beneficiamento desses agregados e o problema de espaço para a disposição final dos resíduos sólidos no meio urbano, sendo este último um dos fatores principais, pois causa um impacto ambiental muito significativo.

Sachs (1993) acredita que devem ser consideradas, simultaneamente, as cinco dimensões de sustentabilidade: social, econômica, ecológica, espacial e cultural. Na dimensão da sustentabilidade ecológica, o autor cita algumas medidas a serem utilizadas. Dentre elas se destaca a redução do volume de resíduos, de poluição e a intensificação da pesquisa em tecnologias limpas que utilizem, de modo mais eficiente, os recursos para a promoção do desenvolvimento urbano, rural e industrial.

Dias (2006) ressalta, ainda, que passar de um modelo de desenvolvimento predatório a um sustentável, que mantenha a harmonia com a natureza, implica na modificação da visão da humanidade e sua relação com a natureza, pois esta, além de ser fonte de matérias-primas, é também o ambiente necessário para a existência humana. Finaliza resumindo que esse conceito é baseado em três eixos fundamentais: o crescimento econômico, a preservação ambiental e a equidade social.

Do ponto de vista ambiental, Dias (2006) acredita que “deve a organização pautar-se pela ecoeficiência dos seus processos produtivos, adotar a produção mais limpa (P+L), oferecer condições para o desenvolvimento de uma cultura ambiental organizacional, adotar uma postura de responsabilidade ambiental, buscando a não-contaminação de qualquer tipo de ambiente natural [...]”.

Uma abordagem mais focalizada das diferentes definições e abrangências da P+L é apresentada neste trabalho.

2.2 A produção mais limpa

O conceito de P+L foi introduzido, em 1989, pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, PNUMA (em inglês, United Nations Environmental Program – UNEP), para definir a aplicação contínua de uma estratégia ambiental

preventiva e integral que envolve processos, produtos e serviços, de maneira que se previnam ou reduzam os riscos de curto ou longo prazo tanto para o ser humano quanto para o meio ambiente (DIAS, 2006).

O autor ainda cita a “Conferência das Américas sobre Produção Mais Limpa”, realizada em 1998, em São Paulo, Brasil, a qual foi uma iniciativa destinada a apoiar o processo de consolidação da P+L e da Prevenção à Poluição (P2) no continente americano. Ao final daquele encontro, os participantes divulgaram a “Carta de São Paulo sobre Produção Mais Limpa/ Prevenção da Poluição”, onde definem a P+L como “a aplicação contínua de uma estratégia ambiental preventiva integrada aos processos, produtos e serviços para aumentar a ecoeficiência e reduzir os riscos ao homem e ao meio ambiente”.

O mesmo autor, resumidamente, descreve os procedimentos adotados pela P+L (ou PML):

- Quanto aos processos de produção: conservação das matérias-primas e da energia, eliminando aquelas que são tóxicas e redução da quantidade e da toxicidade de todas as emissões e resíduos;
- Quanto aos produtos: redução dos impactos negativos ao longo do ciclo de vida do produto, desde a extração das matérias-primas até sua disposição final, através de um design adequado aos produtos;
- Quanto aos serviços: incorporação das preocupações ambientais no projeto e fornecimento de serviços.

A estratégia de P+L se completa com a adoção da filosofia da ecoeficiência, que tem como objetivos centrais a redução do consumo de recursos, a redução do impacto da natureza e a melhoria do valor do produto ou serviços, ou seja, a criação de valor agregado tanto para os negócios quanto para a sociedade, mantendo os padrões de competitividade.

Dias (2006) completa afirmando que a P+L se destaca, na gestão ambiental de processos, como uma tecnologia ambiental que traz melhores resultados competitivos. Em relação à gestão ambiental de produtos, a análise do ciclo de vida, a certificação de produtos e o *ecodesign* são as principais ferramentas.

Fiksel (1996 apud DIAS, 2006) define *ecodesign* como “[...] um conjunto específico de práticas de projeto, orientadas para a criação de produtos e processo ecoeficientes, respeitando-se os objetivos ambientais, de saúde e segurança de todo o ciclo de vida destes produtos e processos.”

O relatório *Cleaner Production in Latin America and the Caribbean* (PNUMA, 2004) identificou como principais barreiras alguns aspectos nas áreas governamental, industrial e no âmbito geral. Dentre elas destacam-se a falta de comprometimento governamental na priorização de ações de P+L, em função do desinteresse da sociedade pelas questões ambientais; a falta de conhecimento, por parte do governo, sobre a qualidade ambiental, decorrente da inexistência ou inadequação de rede de monitoramento que permita um diagnóstico ambiental eficiente; falta de interesse pelas indústrias na implantação de ações de P+L e dificuldade em realizar novos investimentos. No âmbito geral, se destacam a falta de conscientização sobre o tema P+L e a dificuldade em manter e desenvolver centros de pesquisa dedicados ao conhecimento de tecnologias limpas e materiais alternativos.

No Brasil, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) tem desenvolvido trabalhos e projetos por meio do marco institucional denominado “Câmara Ambiental”, órgão colegiado de caráter consultivo que funciona como canal institucional de negociação entre o setor produtivo e o órgão ambiental estadual. Dentre suas atribuições, a câmara avalia normas e procedimentos relativos à gestão ambiental, propõe inovações para seu aperfeiçoamento e colabora com a adoção de tecnologias mais limpas, em diversos setores, inclusive no da construção civil (PNUMA, 2004).

2.3 O gesso como material de construção

A utilização do gesso como material construtivo não é uma descoberta tão recente. A história mostra que o gesso é um dos mais antigos materiais de construção fabricados pelo homem, como a cal e a terracota.

De acordo com Le Plâtre (1982), em ruínas na Síria e na Turquia foi verificado o emprego do gesso por volta do 8º milênio a.C.. Já na África, foi descoberto que os bárbaros construíram barragens e canais com um gesso de altíssima resistência, os quais garantiram, por muitos séculos, a irrigação das palmeiras de Mozabe, e que também utilizaram o gesso junto aos blocos de terra que ergueram suas habitações.

A grande tradição no uso do gesso vem das culturas mesopotâmicas, onde é muito abundante na natureza, com climas muito secos que favorecem a sua conservação. Herdeiros de antigas tradições nesta zona como na vizinha Pérsia, os Sassânidas, que estabeleceram o seu império a par de Roma, entre os séculos I a.C. e VI d.C., desenvolveram uma cultura importantíssima em alvenaria, caracterizada pelo uso do gesso. Em persa, denomina-se *gatch* ao gesso.

Uma carta real de 1292, na França, fala da exploração de 18 jazidas de pedra de gesso na região parisiense. Naquela época, o gesso era empregado na fabricação de argamassas, na colocação de placas de madeira, no fechamento de ambientes e na construção de chaminés monumentais.

A partir do séc. XVIII generaliza-se o uso do gesso em toda a construção europeia, com início do conhecimento científico sobre esse material. É assim que, em 1768, Lavoisier apresenta na Academia de Ciências, o primeiro estudo científico sobre os fenômenos que servem de base à preparação do gesso. Pouco tempo depois, Van t'Hoff e Le Chatelier dão uma explicação científica para a desidratação, com a qual começa o estudo ininterrupto sobre esse material (LE PLÂTRE, 1982).

Naquele mesmo período, na França, cerca de 75% dos hotéis e a totalidade dos prédios públicos e populares eram realizados em madeira e argamassa de gesso, e cerca de 95% das novas construções ou reformas eram feitas com a utilização do gesso como um dos principais materiais construtivos.

A partir do 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.

2.3.1 O potencial de extração e a produção de gesso no Brasil

A gipsita, conforme ilustrado na figura 1, é um material abundante em todo o planeta. Dados mostram que sua extração mundial é em torno de 97 milhões de toneladas por ano (SANTOS, 1998; ANTUNES, 1999).

O termo “minério” é definido como uma associação de minerais (rochas) o qual pode ser explorado economicamente. Já minerais são compostos químicos

naturais, geralmente no estado sólido, os quais compõem as rochas. E minerais acessórios são aqueles presentes em menor quantidade nos compostos e tratados geralmente como impurezas (AGUIAR, 2004).



Figura 1: Mineral denominado de gipsita.

A matéria-prima natural do gesso de construção é o minério chamado gipso, comercialmente conhecido como “gesso natural” (AGUIAR, 2004). Ele se encontra na natureza em terrenos sedimentares, depósitos evaporíticos originados de antigos oceanos, sob a forma de Anidrite (anidrita) (CaSO_4) ou Pedra de Gesso (gipsita) ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (SAMPAIO, 1978 apud COUTINHO, 2006), sendo constituído, principalmente, do mineral gipsita e que pode conter anidrita de fórmula CaSO_4 e minerais acessórios como calcita, dolomita, cloreto de sódio (AGUIAR, 2004).

Oliveira (2000) apresenta a composição química da gipsita, minério do qual se origina o gesso, sendo originária na região de Araripina/PE, conforme demonstrado na tabela 1.

Tabela 1: Composição da gipsita.

Determinação	Teor (%)	Determinação	Teor (%)
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	88,90	MgCO_3	0,42
CaSO_4	7,12	MgO	0,16
CaSO_3	1,54	$\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$	0,84

Fonte: Oliveira (2000).

A formação geológica desses depósitos é explicada pela ocorrência de precipitação, seguida de evaporação, e conseqüente concentração dos sais (JORGENSEN, 1994 apud BALTAR, BASTOS & LUZ, 2004?).

A anidrita, segundo Keibel (1994), tem pouco valor econômico, enquanto a gipsita apresenta uma grande diversidade de opções de aproveitamento industrial, podendo ser utilizada na forma natural ou calcinada.

Na sua forma natural, a gipsita é utilizada na fabricação de cimento portland e na agricultura. Na indústria cimenteira, cerca de 4% a 5% de gipsita é adicionada ao clínquer durante o processo de moagem para retardar o tempo de pega do cimento (LE PLÂTRE, 1982). Na agricultura, a gipsita pode atuar como agente corretivo de solos ácidos, fertilizante em culturas específicas como amendoim, batata, legumes e algodão, e como condicionador de solos, aumentando a permeabilidade, aeração, drenagem, penetração e retenção da água (LE PLÂTRE, 1982; VELHO, GOMES & ROMARIZ, 1998; BALTAR, BASTOS & LUZ, 2004?).

A gipsita é constituída essencialmente por sulfato de sódio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), podendo conter impurezas como sílica, alumina, óxido de ferro, carbonatos de cálcio e magnésio (COUTINHO, 2006). Segundo Abreu *et al* (2003), alguns depósitos contêm 99% de gesso, porém outros podem conter até 65% com impurezas de calcário, quartzo e folheio argiloso.

Na Europa, onde a densidade populacional mais elevada requer cuidados especiais com a preservação dos solos aráveis ou reservas florestais, os especialistas em meio ambiente das empresas de mineração têm tido pleno êxito na recuperação do equilíbrio das áreas mineradas, dando-lhes condições de reconstituição da flora e da fauna ou de reaproveitamento agrícola (Figuras 2 e 3) (DRYWALL, 2006).

A região Nordeste do Brasil, com uma população de 46 milhões de habitantes e um PIB de US\$ 117,5 bilhões, apresenta pólos dinâmicos de desenvolvimento e grandes recursos naturais com fantásticas possibilidades de investimento. Integra, entre outras riquezas do solo nordestino, o Pólo Gesseiro do Nordeste do Brasil, um dos maiores depósitos exploráveis de gipsita do continente americano, abrangendo vários Estados da Federação, numa área de 24.000 km² (SINDUSGESSO, 2006).



Figura 2: Área minerada em fase de recuperação.

Fonte: Drywall (2006)



Figura 3: Área minerada já recuperada.

Fonte: Drywall (2006)

O processo de produção do gesso envolve as operações de mineração, pode ser visualizada na figura 4, britagem, moagem, peneiramento, encilamento, calcinação, moagem e ensacamento. Abreu *et al* (2003) exemplifica o processo de produção com as seguintes etapas: a mineração é realizada a céu aberto (Figura 5); a moagem da rocha e a calcinação, em caldeirões de ferro denominados industrialmente como forno de panela ou forno de marmitta.



Figura 4: Vista geral do processo de mineração.

Fonte: Sindusgesso (2006)



Figura 5: Detalhe da mineração a céu aberto.

Fonte: Sindusgesso (2006)

Peres; Benachour & Santos (2001), completam que a extração é a lavra a céu aberto (*open pit*), através de bancadas simples com altura média em torno de 15

metros, utilizando-se equipamentos como rompedores hidráulicos, tratores de esteira e pás mecânicas.

As atividades da lavra envolvem principalmente as operações de decapeamento, perfuração, carregamento de explosivos, desmonte, fragmentação de blocos e carregamento/transporte (LUZ *et al*, 2001 apud BALTAR, BASTOS & LUZ, 2004?).

O beneficiamento da gipsita na produção de gesso, na região do Araripe/PE, envolve as operações de coleta manual (Figura 6), britagem, moagem, peneiramento, ensilamento (Figura 7), calcinação, estabilização térmica em silos, moagem, novo ensilamento e ensacamento.

Para a britagem e moagem, são utilizados britadores de mandíbula e moinhos de martelo. Em alguns casos, a britagem é realizada em dois estágios em circuito fechado com peneiras vibratórias a seco. A finalidade da britagem é reduzir a gipsita extraída da mina para um produto mais fino, tornando-se assim transportável em esteiras, podendo ser transportada para a usina para o tratamento seguinte (LE PLÂTRE, 1982).



Figura 6: Local de coleta manual da gipsita em uma empresa, em Pernambuco.

Fonte: Baltar, Bastos & Luz [2004?]

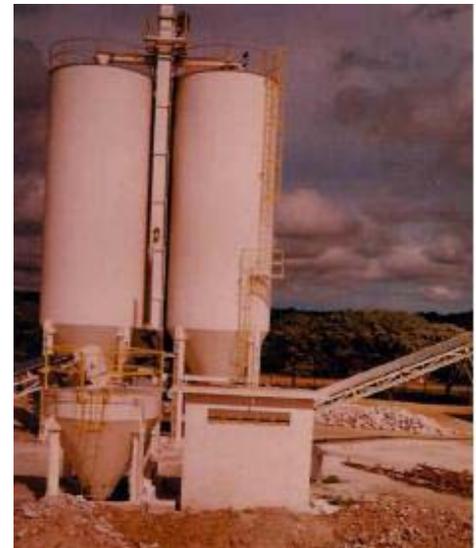


Figura 7: Ensilamento da gipsita.

Fonte: Baltar, Bastos & Luz [2004?]

A calcinação é o processo térmico pelo qual a gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é desidratada. O material é calcinado numa faixa de temperatura que varia de acordo

com o composto que se deseja originar, com propriedades e hidratações diferentes, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2: Compostos obtidos a partir da calcinação da gipsita.

Temperatura de Calcinação	Composto Originado	Características
140°C a 160°C	Hemidrato (CaSO ₄ . 0,5H ₂ O)	Solúvel. Pode resultar no hemidrato α ou β.
160°C a 200°C	Anidrita III (CaSO ₄ . εH ₂ O)	Tem presa rápida. Pode conter água de cristalização em baixo teor. Com a umidade do ar, se transforma no hemidrato.
250°C a 800°C	Anidrita II (CaSO ₄)	Baixa velocidade de hidratação
Acima de 800°C	Anidrita I (CaSO ₄)	

Fonte: Nolhier, 1986; Cincotto, Agopyan & Florindo, 1988; Santos, 1998.

Para a calcinação, os tipos mais utilizados de fornos na região do Araripe/PE são os tipos panela, marmita vertical, marmita horizontal (Figura 8) e o rotativo de queima indireta, que proporcionam uma calcinação sob pressão atmosférica, ou baixa pressão. A partir dessa calcinação é obtido o hemidrato beta - β (gesso β). Já para a obtenção do hemidrato alfa - α (gesso α), são utilizados fornos do tipo autoclave, como pode ser visto na figura 9, com controle de umidade, temperatura e pressão (BALTAR, BASTOS & LUZ, 2004?).



Figura 8: Forno de marmita horizontal utilizado na fabricação do gesso beta.

Fonte: Baltar, Bastos & Luz [2004?]

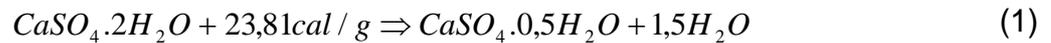


Figura 9: Instalações utilizadas na fabricação do gesso alfa.

Fonte: Sindusgesso (2006)

As denominações, alfa (α) e beta (β), representam apenas uma nomenclatura comercial utilizada pelo fornecedor dos materiais para esta pesquisa, não implicando em diferença na estrutura química dos mesmos.

A equação (1) expõe a forma de obtenção do hemidrato.



De acordo com o Manual...(2001), o processo de calcinação do gesso exige quantidades menores de energia, se comparado com outros produtos da construção civil, conforme apresentado na tabela 3.

Segundo Sindusgesso (2006), estão instaladas no Pólo Gesseiro do Nordeste do Brasil 332 empresas, sendo 26 mineradoras, 72 calcinadoras e 234 fábricas de pré-moldados.

Tabela 3: Energia necessária na fabricação de materiais de construção.

PRODUTO	ENERGIA NECESSÁRIA (kWh/ton)
Aço	13.400
Alumínio	84.800
Cimento	2.400
Azulejo cerâmico	1.760
Vidro plano	12.000
Gesso	1.200

Fonte: Manual... (2001)

Desde a década de 1960, Pernambuco assumiu e vem mantendo a posição de maior produtor nacional de gipsita, abastecendo 95% do mercado nacional. A principal região produtora recebeu a denominação de Pólo Gesseiro do Araripe, situa-se no extremo oeste do Estado de Pernambuco, cerca de 700 km da capital Recife e engloba os municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade. A sua produção em 2004 foi de 3,6 milhões de toneladas, envolvendo cerca de 12.000 empregos diretos e 64.000 empregos indiretos. A reserva medida de gipsita naquele

pólo é de 168 milhões de toneladas, sendo estimada uma reserva de 1.200 milhões de toneladas (ANUÁRIO..., 2005). A produção no Pólo Gesseiro do Araripe ao longo dos anos pode ser vista na tabela 4.

Tabela 4: Produção entre 1999 e 2004 no Pólo Gesseiro do Araripe (em 1.000 toneladas).

TIPO/ ANO	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Gesso	960	1080	1140	1200	1560	1800
Pré-moldado	396	420	420	360	480	600
Gipsita	420	480	600	540	660	1200
Total	1776	1980	2160	2100	2700	3600
Crescimento		11,49	9,09	-2,78	28,57	33,33

Fonte: Sindusgesso (2006)

Baltar, Bastos & Luz (2004?) ainda citam os principais fatores que contribuem pelo interesse no aproveitamento do minério do Araripe:

- Condições favoráveis de mineração (relação estéril/minério e geomorfologia da jazida);
- Elevada pureza do minério;
- Melhor localização, se comparado ao minério do estado do Pará.

De acordo com informações citadas em Drywall (2006), as fábricas de chapas de gesso e outros derivados da gipsita são instalações limpas, que somente liberam na atmosfera vapor d'água. Ao contrário, as indústrias cimenteiras lançam na atmosfera considerável quantidade de gás carbônico, cerca de 6% a 8% do total emitido na atmosfera (CDIAC, 2000), sendo este o principal causador do efeito estufa.

Publicações da Drywall (2006) apresenta ainda algumas características do gesso como, por exemplo, possuir baixa densidade; não ser inflamável; ser inodoro e livre de gases tóxicos; ser eletricamente neutro; não ser agressivo à pele; não formar fibras nem poeiras e não ter efeito cumulativo no organismo por ser eliminado na urina.

2.3.2 O processo de hidratação e as propriedades do gesso

Segundo Coutinho (2006), “a família dos gessos é um conjunto de ligantes simples constituídos basicamente por sulfatos mais ou menos hidratados de cálcio e sulfatos anidros de cálcio obtidos por desidratação e cozedura da Pedra de Gesso ou Gesso Bruto”.

O mesmo autor afirma que ligante é um produto que ganha presa (pega) e endurece, podendo aglomerar outros materiais, tais como brita e areia, ou seja, possuem propriedades aglomerantes. Os ligantes se classificam em hidrófilos ou hidrófobos, em função da sua relação com a água.

O gesso é classificado como um ligante hidrófilo. Isso porque é um ligante que tem afinidade com a água e, misturado com ela, forma uma pasta que endurece, podendo como qualquer ligante, aglomerar outros materiais. É constituído por matéria sólida finamente pulverizada.

Os ligantes hidrófilos se classificam, por sua vez, em hidráulicos ou aéreos. O cimento e a cal hidráulica são exemplos de ligantes hidrófilos hidráulicos, pois são resistentes à água. Já o gesso, que é o objeto deste estudo, é classificado como ligante hidrófilo aéreo, pois ao ser misturado com a água forma uma pasta que endurece ao ar, e a pasta endurecida, com ou sem outros materiais incorporados, não é resistente à água (COUTINHO, 2006).

Lavoisier (1768 apud LE PLÂTRE, 1982) iniciou o estudo sobre o processo de hidratação do gesso escrevendo “o endurecimento do gesso com a água não é senão uma verdadeira cristalização, a pedra especular, privada da sua água pelo fogo, a retoma avidamente e cristaliza novamente, formando uma massa cuja dureza excede a da maior parte das pedras”.

Quando o gesso é misturado com quantidade suficiente de água, ele forma uma pasta homogênea, consistente e trabalhável. Em poucos minutos, apresenta uma perda de consistência, ganhando viscosidade, porém, com o endurecimento a pasta passa a ter mais resistência. Esse ganho de viscosidade (tempo de pega inicial) e o endurecimento, que vem acompanhado do aumento da resistência do material (tempo de pega final), são fenômenos que podem ser explicados pelo mecanismo de hidratação do gesso (HINCAPIE & CINCOTTO, 1997).

A reação de hidratação das fases do gesso de construção (hemidrato e anidrita) é um fenômeno químico que se inicia no momento em que o anidro em pó entra em contato com a água e reage. Estas fases dissolvem-se em água formando íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} , formando hidratos que se constituem em núcleos de dihidrato de baixa solubilidade. Trata-se de um processo exotérmico que libera energia em forma de calor. Coutinho (2006) completa essa definição como uma reação expansiva, de reconstituição do sulfato bi-hidratado original, isto é, o gesso bruto (Equação 2).



A tabela 5 apresenta a composição teórica dos sulfatos, de acordo com Isaia (2007).

Tabela 5: Composição teórica dos sulfatos.

Sulfato	Fórmula	Massa molecular (g)	Composição (%)		
			H ₂ O	CaO	SO ₃
Anidrita	CaSO ₄	136,14	0	41,19	58,81
Hemidrato	CaSO ₄ ·0,5H ₂ O	145,15	6,20	38,63	55,15
Dihidrato	CaSO ₄ ·2H ₂ O	172,17	20,99	32,57	46,50

Fonte: Isaia (2007)

Ainda de acordo com Isaia (2007), no fenômeno físico os íons se depositam sobre os núcleos de dihidrato, iniciando-se o crescimento cristalino (grãos em forma de agulha). Essa reação possibilita o endurecimento da pasta de gesso, conhecido também como a pega das pastas, que se trata de fenômeno mecânico. Essa pasta passa a ter mais resistência devido ao entrelaçamento dos grãos que precipitam a partir de uma solução saturada.

O método utilizado no Brasil para medir o tempo de pega das pastas de gesso é o proposto pela ABNT NBR 12128 (1991) e também é normatizado pela ADA (*American Dental Association*), utilizando as agulhas de Gillmore em gesso odontológico.

Os grãos cristalinos que compõem o gesso endurecido variam em forma e tamanho dependendo de alguns parâmetros como, por exemplo, se o hemidrato é alfa ou beta. Também dependem de parâmetros externos, como presença de aditivos e condições de hidratação (temperatura, umidade e relação a/g) (MURAT, PUSZTASZERI & GREMION, 1975 apud HINCAPIE & CINCOTTO, 1997).

Hincapie & Cincotto (1997) completam que para se verificar essa microestrutura, é muito utilizado o sistema de microscopia eletrônica de varredura (MEV), pois podem ser observadas a rugosidade, morfologia dos grãos cristalinos e porosidade. E é a forma desses grãos que vai definir as propriedades mecânicas do material endurecido, como resistência mecânica e absorção de água.

As propriedades mecânicas das pastas decrescem com o aumento da relação água/gesso que provoca o aumento das porosidades das pastas. A velocidade de crescimento dos grãos é outro fator importante a ser analisado.

Uma velocidade de crescimento rápida favorece a formação de grãos cristalinos bem definidos e maior número por unidade de volume; quando o crescimento é lento, formam-se grãos cristalinos maiores, com uma estrutura mais organizada e com menos defeitos. As pesquisas mostram também que, em relação ao tamanho dos grãos cristalinos, as propriedades mecânicas são piores quando o arranjo cristalino é formado por grãos cristalinos maiores (MURAT, PUSZTASZERI & GREMION, 1975 apud HINCAPIE & CINCOTTO, 1997).

Em um material policristalino, cada grão tenta deformar-se homogeneamente em conformidade com a deformação da amostra como um todo. Entretanto, as fronteiras entre os grãos agem como barreiras ao escorregamento dos cristais adjacentes, originando uma heterogeneidade de deformações entre grãos vizinhos e dentro do próprio grão. Assim, o rendimento da força depende da granulometria, mantendo uma relação inversa da tensão em relação ao tamanho do grão. À medida que o tamanho do grão decresce, as fronteiras e grão recebem a sua influência em seu interior. Logo, o endurecimento por cisalhamento será maior em materiais com grãos reduzidos (MITCHELL, 2004).

A relação Hall-Petch (Equação 3) estabelece que o limite de resistência à deformação de um material policristalino está relacionado com o seu tamanho de grão:

$$\sigma_y = \sigma_0 + kd^{-1/2} \quad (3)$$

onde σ_y e σ_0 representam, respectivamente, a tensão limite e a tensão teórica de limite ao cisalhamento, “k” é uma constante medidora da extensão de empilhamento de deslocamentos junto à fronteira do grão e “d” refere-se ao tamanho do grão (MITCHELL, 2004).

Os hemidratos alfa e beta possuem a mesma estrutura cristalina, porém diferentes morfologias (tamanho e superfície) devido ao método de produção. O hemidrato α caracteriza-se por apresentar seus grãos cristalinos compactos, regulares e resistentes, conforme mencionado em Baltar, Bastos & Luz [2004?]. Já o hemidrato β tem as formações cristalinas mais fragmentadas e folgadas (LE PLÂTRE, 1982). Essas diferenças morfológicas influem tanto nas propriedades da pasta quanto do gesso endurecido. Para se obter a mesma consistência, é necessário menos água de amassamento para o hemidrato α do que para o hemidrato β (NOLHIER, 1986 apud ANTUNES, 1999), possibilitando assim a trabalhabilidade da mistura com uma menor relação água/gesso.

Sabendo que os hemidratos alfa (α) requerem menos água de amassamento que os hemidratos beta (β), para se obter uma mesma consistência, e, além disso, como a resistência mecânica do gesso é inversamente proporcional à relação água/gesso e, também, à porosidade, as pastas produzidas com o hemidrato α são mais resistentes que as produzidas com o hemidrato β (NOLHIER, 1986 apud ANTUNES, 1999).

A produção de gesso tipo alfa está dividida no tipo A (fino) e tipo B (grosso), sendo suas características descritas na tabela 6.

A tabela 7 apresenta as características técnicas do gesso beta.

Tabela 6: Características técnicas do gesso alfa tipo A e tipo B.

		Tipo A	Tipo B
Do pó	Composição	100% hemidrato alfa	100% hemidrato alfa
	Água de Cristalização	5,0 a 6,0%	5,0 a 6,0%
	Polvilhamento do gesso para 100ml de água	250 a 260 g.	235 a 245g
	Granulometria (Dimensão média)	9 a 13 microns	14 a 18 microns
Da pasta preparada	Espraiamento (cm)	0 a 7	0 a 7
	Tempo de Pega Inicial (min)	3 a 6	3 a 7
	Tempo de Pega Final (min)	5 a 11	6 a 13
Do gesso endurecido	Resistência à Compressão (MPa)	15,0 a 18,0	15,0 a 18,0
	Resistência à Flexão (MPa)	8,0 a 11,0	8,0 a 11,0
	Densidade (g/cm ³)	0,8 a 1,0	0,8 a 1,0

Fonte: Adaptado de Sindusgesso (2006)

Tabela 7: Características técnicas do gesso beta.

Características técnicas gerais:	
Densidade após secagem (g/cm ³)	0,65 – 0,80
Resistência à compressão (MPa)	6,00
Características técnicas do pó:	
Perda ao Fogo	4,5 a 6,2%
Características técnicas da pasta preparada:	
Consistência normal (cm)	7,50
Tempo de pega inicial (min)	8 a 12
Tempo de pega inicial (min)	16 a 25

Fonte: Adaptado de Sindusgesso (2006)

O gesso de construção é constituído de 60% a 70% de $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, essencialmente por hemidrato β , e o restante de anidrita II e III, além das impurezas e adjuvantes (BAUER, 1992; COUTINHO, 2006).

Hincapie & Cincotto (1997) realizaram um estudo utilizando um tipo de gesso de construção, que é o gesso lento ou gesso para revestimento, disponível no mercado nacional, e observaram a caracterização química e física desse gesso sem aditivos. Como referência a esse estudo, um resumo da caracterização é apresentado na tabela 8.

Tabela 8: Características químicas e físicas do gesso lento.

Características Químicas		Características Físicas			
Óxidos	%	Constituintes	%	Massa unitária	612kg/m ³
Água livre (H ₂ O)	1,35	Hemidrato	88,2	Módulo de finura	1,02
Água combinada (H ₂ O)	5,47	Anidrita	8,8	Massa específica	2,645 g/cm ³
Anidrido sulfúrico (SO ₃)	53,9	Carbonato de magnésio (MgCO ₃)	0,52	Finura Blaine	860,5m ² /kg
Óxido de cálcio (CaO)	38,0	Carbonato de cálcio (CaCO ₃)	-	Consistência normal	7,0 cm
Óxido de magnésio (MgO)	0,25	Impurezas	1,35	Início de pega	8min22s
Anidrido carbônico (CO ₂)	0,13	Umidade	1,35	Fim de pega	16min14s
Resíduo insolúvel + anidrido silícico (RI +SiO ₂)	0,81	Total	100,2		
Óxido de ferro e de alumínio (Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃)	0,60				
pH	6,92				

Fonte: Hincapie & Cincotto (1997)

2.3.3 O emprego do gesso na construção civil

A maior aplicação do gesso é na indústria da construção civil (revestimento de paredes, placas, blocos, painéis, etc), onde pode ser utilizado como alternativa em relação a outros materiais como a cal, o cimento, a alvenaria e a madeira.

O gesso tipo β é utilizado na indústria da construção civil, indústria cerâmica e indústria de modelagem. As principais aplicações na indústria da construção civil são: placas para rebaixamento de teto, placas de gesso acartonado, blocos para paredes divisórias, argamassa de projetar (Figura 10), gesso para revestimento manual (Figura 11), gesso para acabamento manual e gesso cola, além dos elementos pré-moldados utilizados como decoração. É produzido a partir da gipsita de pureza superior a 90% em processo físico.



Figura 10: Execução de revestimento projetado com argamassa de gesso.

Fonte: Gerolla (2008)



Figura 11: Execução manual de revestimento de gesso.

Fonte: Gerolla (2008)

John (2000) cita que, na construção civil, o emprego do gesso divide-se em dois grupos básicos: para fundição e para revestimento. O gesso para revestimento é empregado para revestir paredes e tetos de ambientes internos e secos. Gesso para fundição, que é o foco deste trabalho, é o material empregado na fabricação de

pré-moldados como peças para decoração, placas para forro (Figura 12), blocos de gesso reforçados ou não com fibras e chapas de gesso acartonado (drywall), utilizados para fazer paredes divisórias e forro (Figuras 13 e 14).



Figura 12: Placas de gesso para execução de forros.



Figura 13: Parede curva utilizando-se placas de gesso acartonado.



Figura 14: Gesso acartonado utilizado em uma residência.

O gesso tipo α não é utilizado na construção civil, devido principalmente ao custo desse material ser bem mais alto do que o gesso β , em torno de dez vezes. É utilizado principalmente na fabricação de bandagens de alta resistência, matrizes para indústria cerâmica, indústria de modelagem (usado por artistas plástico), e para

mistura de produtos de gessos especiais (cerâmica, odontologia, automobilística, ortopedia) (BALTAR, BASTOS & LUZ, 2004?).

As chapas de gesso acartonado, muito utilizadas na construção civil para confecção de divisórias tipo drywall e forros, são divididas em três tipos:

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

De acordo com Li; Li & Yu (2006), a taxa de absorção de água em produtos de gesso natural é e em torno de 50%, sendo essa uma das maiores barreiras para o desenvolvimento de produtos com gesso.

Para a ABNT NBR 14715 (2001), que estabelece os requisitos para chapas de gesso acartonado, o máximo de absorção para placas RU é de 5% e a máxima absorção de água pela superfície é de 160g/m².

Conforme Gypsum Association (2005), o ensaio de absorção de água normatizado pela ASTM C 473, em que as placas devem permanecer imersas em água por um período de 2 horas, permite uma taxa de absorção máxima para placas de gesso acartonado à prova de umidade para revestimento de paredes externas de 10% e para placas de gesso acartonado à prova d'água de 5%.

Já em relação aos blocos de gesso sem função estrutural, Bloco... (2007) cita que o projeto de norma 02:103.40-010/2005 limita o valor máximo de absorção de água para blocos tipo S (standard, para uso geral) para 50%; e para blocos tipo H (hidrófugo, para uso em ambientes sujeitos à ação da umidade de forma intermitente) para 5%.

Nota-se, então, que tanto para chapas de gesso acartonado, quanto para blocos de gesso sem função estrutural, utilizados em ambientes sujeitos à ação da umidade, o limite de absorção máximo de água é 5%. Esse valor, portanto, é tomado como referência para este trabalho.

Os dados relativos à resistência à compressão para as placas de gesso acartonado são apresentados por Gypsum Association (2005), de acordo com a tabela 9. As placas de gesso tipo MH e X são desconhecidas aqui no Brasil.

Os blocos de gesso tipo S e H têm resistência mínima de 5MPa (BLOCO..., 2007).

Tabela 9: Valores de resistência à compressão para placas de gesso acartonado.

Tipo de Placa	Espessura (mm)	Resistência à compressão mínima (MPa)
Placa de gesso tipo MH	7,90	2,75
Placa de gesso regular	12,70	2,40
Placa de gesso tipo X	15,90	2,75

Fonte: Gypsum Association (2005)

2.4 Os resíduos do gesso e suas possibilidades de reciclagem

A geração de resíduos é inevitável por diversas razões. Primeiramente porque a vida útil de um produto é sempre limitada, transformando-se depois em resíduo. Outro fator é a variabilidade dos processos e matérias-primas, que faz com que alguns produtos sejam produzidos em não-conformidade com o especificado ou que apresentem deficiência em suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, que restringem o seu uso ou seu desempenho e acabem se tornando resíduos.

A questão da redução e da gestão dos resíduos, a partir de 2002, passou a ser, além de uma questão de consciência ambiental e de redução de custos, uma questão legislativa. Isso devido à implantação da Resolução 307/02 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, do Ministério do Meio Ambiente (CONAMA 307, 2002). O prazo para a implantação dessa resolução para os geradores e para os municípios terminou em 2005.

De acordo com ABNT NBR 10004 (2004), “[...] resíduos sólidos são definidos como resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e varrição, e ainda lodos provenientes de sistemas de tratamento de águas, bem como líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgoto [...]”.

As fontes geradoras dos resíduos sólidos são divididas em urbano, que tem origem nas residências, comércio e locais públicos; construção civil, que são resultantes de obras, reformas e demolições; serviços de saúde, resultantes de

clínicas, farmácias, hospitais e postos de saúde; industrial, que tem origem nas indústrias; e agrícola, que tem origem em propriedades agrícolas.

A resolução do CONAMA nº 307 define resíduos da construção civil como aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos.

A ABNT NBR 15112 (2004) classifica os resíduos da construção civil em quatro classes. Dentre elas, se destaca a CLASSE C, onde se encontram os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem e recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso.

Na gestão de resíduos vigora uma hierarquia de objetivos (LEACH, BAUEN & LUCAS, 1997; GRÜBL & RÜHL, 1998; EU, 1999; JOHN, 2000):

- Reduzir a geração do resíduo na fonte;
- Reutilizar o resíduo;
- Reciclar;
- Incinerar recuperando a energia;
- Depositar em aterros sanitários.

Em tese, essa hierarquia é questionável, pois a melhor alternativa é, por definição, aquela de menor impacto ambiental global (TUKKER & GIELDEN, 1994 apud JOHN, 2000).

Mundialmente, os resíduos da construção civil se diversificam muito devido às peculiaridades dos sistemas construtivos de cada país. Nos Estados Unidos, a produção de resíduos da construção civil (RCC) atinge taxa de geração de 20 kg/m² a 39 kg/m² de área construída. Essa taxa varia conforme o tipo de construção, seja ela uma residência ou um edifício de apartamentos. A composição percentual para uma residência familiar simples é mostrada no gráfico 1 (WORLD WASTE, 1994, apud NETO, 2005).

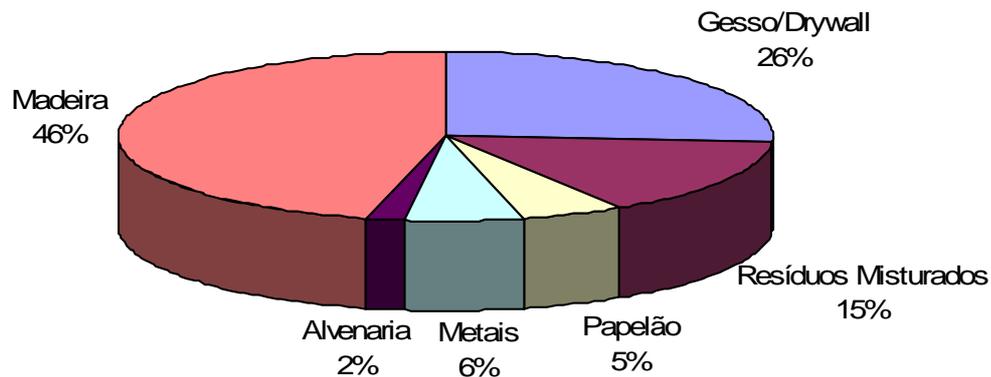


Gráfico 1: Composição percentual de resíduos (RCC) em residências nos EUA.
Fonte: World Waste (1994)

No Brasil, a situação não é a mesma devido à diferença do sistema construtivo. Estudos realizados na cidade de São Carlos mostram a composição dos resíduos da construção civil no Brasil, conforme apresentado no gráfico 2.

Assim, pode-se notar que, no Brasil, os resíduos do gesso são em uma quantidade bem menor do que nos Estados Unidos. Isso ocorre porque naquele país, é utilizado o sistema drywall para a construção de paredes, enquanto que no Brasil utiliza-se alvenaria de blocos cerâmicos, apesar de a construção com sistema drywall ter aumentado significativamente nos últimos anos.

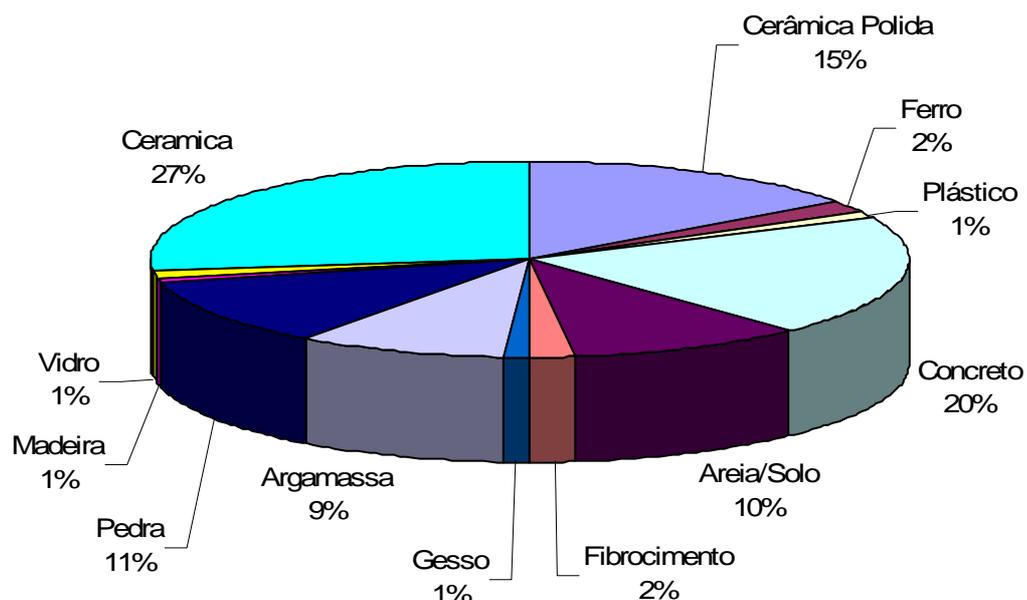


Gráfico 2: Composição percentual de resíduos (RCC) no município de São Carlos.
Fonte: Neto (2005)

Mesmo sendo em pequena quantidade, conforme pode ser visto nos gráficos 1 e 2, as perdas na construção são significativas. Segundo dados do Sindusgesso (2006), são geradas 12.000 toneladas por ano de resíduos de gesso na Grande São Paulo, o que resulta num custo para as prefeituras de R\$ 2,5 milhões/ ano. Estima-se que 5% do gesso acartonado é transformado em resíduos durante a construção. Já o gesso aplicado como revestimento, diretamente sobre alvenaria, gera uma quantidade maior de resíduos, em torno de 35%.

A disposição de gesso em aterros sanitários não é prática recomendada, exceto quando enclausurado e sem contato com matéria orgânica e água, já que em contato com umidade, condições anaeróbicas, com baixo pH e sob ação de bactérias redutoras de sulfatos, condições presentes em muitos aterros sanitários e lixões, pode formar gás sulfídrico (H_2S), que é tóxico e inflamável. Segundo CIWMB (2007) esta é a razão pela qual o produto tem sido banido de vários aterros sanitários nos Estados Unidos. Principalmente quando se trata de gesso acartonado, material que tem uma composição bem mais complexa do que o gesso comum.

Para o gesso acartonado, a parcela predominante é de gesso natural hidratado (gipsita), papel (em torno de 4% a 12%), fibras de vidro, vermiculita, argilas (até 8%), amido, potassa (KOH), agentes espumantes (sabões), dispersantes, hidro-repelentes nas placas resistentes à água. Sabe-se que algumas jazidas de vermiculita podem conter amianto e ainda metais pesados como o boro, sendo este considerado o elemento mais preocupante devido à sua toxicidade (ADDISON, 1995; JOHN & CINCOTTO, 2003).

De acordo com as ações que foram geradas pela aprovação da resolução do CONAMA nº 167, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a Gestão dos Resíduos da Construção Civil, é necessário que o setor de gesso estabeleça uma política de gestão adequada para os resíduos de gesso gerados na fabricação, construção e demolição.

Um primeiro passo seria a redução na geração dos resíduos de gesso. A grande parte desses resíduos vem principalmente da execução de revestimentos com gesso, que chega a 45% do volume total desses resíduos (AGOPYAN *et al*, 1998), seguido da perda no uso de gesso acartonado (5%). Para reduzir a geração no processo de revestimento, seria necessário aumentar o tempo útil das pastas de gesso, propiciar um treinamento melhor à mão-de-obra e também melhorar a qualidade da alvenaria que será revestida. Em relação às perdas no uso de gesso

acartonado e na fabricação de pré-moldados, o principal é melhorar a tecnologia do produto, além da melhoria da qualidade da mão-de-obra (JOHN & CINCOTTO, 2003).

O desenvolvimento de técnicas de reciclagem que combinem desempenho técnico com proteção ao meio ambiente é tarefa complexa e multidisciplinar. Do ponto de vista da engenharia, ela exige a integração de conceitos como análise do ciclo de vida, estudo da durabilidade em longo prazo, análise de risco de contaminação ambiental por ensaios de lixiviação e aplicação de ciências a materiais novos e de grande complexidade (JOHN, 2000).

As pesquisas de reciclagem de resíduos como materiais de construção têm apresentado crescimento significativo. Desde 1991 a ISCOWA (*The International Society for the Environmental and Technical Implications of Construction with Alternative Materials*), promove conferências sobre a discussão da reciclagem de resíduo no âmbito da construção civil.

Uma das contribuições ambientais mais importantes da reciclagem é a preservação dos recursos naturais, que são substituídos por resíduos, aumentando assim a vida útil das reservas naturais e reduzindo a destruição da paisagem, da fauna e da flora (PHILIPPI, ROMÉRO & BRUNA, 2004).

A reciclagem também permite a geração de empregos e aumenta a competitividade da economia (EPA, 1998), permite a redução do volume de aterros e a redução dos custos de proteção ambiental (PHILIPPI, ROMERO & BRUNA, 2004).

John (2000) cita que “do ponto de vista da construção civil, a reciclagem ou o uso de resíduos vai resultar no oferecimento de uma maior quantidade de produtos alternativos para uma mesma função e, possivelmente, de soluções mais adequadas para situações específicas, com ganhos de eficiência geral do processo”. Completa afirmando que a reciclagem dos resíduos de construção e demolição é um desafio importante a ser enfrentado.

São várias as aplicações possíveis da maioria dos resíduos, sendo importante analisar principalmente o desempenho técnico, os impactos ambientais, a viabilidade de mercado e os aspectos sociais.

A maioria dos trabalhos realizados até o ano de 2004 só considera o uso de agregados reciclados graúdos em concretos para fins não estruturais, mesmo sabendo que a fração de agregados miúdos, que é naturalmente produzida como

resíduo no processo de britagem, representa até 50% do montante produzido nas usinas de reciclagem no Brasil (ANGULO, 2004; AGUIAR, 2004), merecendo portanto estudos específicos.

A destinação mais comum para os agregados reciclados é o emprego em sub-base de pavimentação, produção de blocos de vedação e bloquetes (MIRANDA, 2003 apud AGUIAR, 2004).

Do ponto de vista ambiental, a reciclagem deve proporcionar um menor impacto ambiental, sendo esta análise realizada em termos de berço a berço. De acordo com John (2000), a reciclagem ideal é aquela onde o resíduo é utilizado como produto final ou matéria-prima sem qualquer beneficiamento e com mínima distância de transporte.

É nesse contexto que surge o termo reciclabilidade, que é a garantia da possibilidade de o novo produto não se converter, ao final da sua vida útil, em um resíduo (DESIMONE & POPOFF, 1998 apud JOHN, 2000).

Do ponto de vista econômico, é importante que o novo produto possua vantagem competitiva em relação aos produtos tradicionais, para que ele possa obter sucesso no mercado. Essa vantagem competitiva é definida por Day & Wensely (1989 apud JOHN, 2000) como sendo algo que reduza o custo do produto com relação a um produto de mesmo desempenho ou que resulte em um produto de desempenho mais elevado e menor relação custo/benefício. Essa realidade ainda é distante no Brasil, considerando a abundância de matérias-primas naturais, a cultura do extrativismo e as dificuldades que os órgãos de controle encontram para fiscalizar, inclusive, ações predatórias.

Na fase de desenvolvimento do produto, a partir do resíduo selecionado, é importante verificar o conceito da engenharia simultânea, segundo o qual são analisados simultaneamente o desenvolvimento da tecnologia, o desempenho do novo produto, aspectos relativos à manutenção, confiabilidade, marketing e aspectos ambientais, sendo todos do berço ao túmulo (SWINK, 1998; JOHN, 2000).

A reciclagem, de forma geral, possui diversas vantagens, tais como a preservação dos recursos naturais, geração de emprego e renda e a redução do volume nos aterros, sendo estimado que para cada tonelada de lixo urbano recolhido, são coletadas duas toneladas de entulho originado do setor de construção civil (NETO, 2005).

John & Cincotto (2003) citam, de uma forma genérica, como pode ser dividida a reciclagem dos resíduos de gesso no Brasil:

- a) Gestão dos resíduos;
- b) Coleta dos resíduos;
- c) Separação dos contaminantes;
- d) Processamento;
- e) Controle da qualidade;
- f) Comercialização.

A gestão dos resíduos fundamenta-se principalmente na segregação do resíduo no canteiro de obra, na demolição seletiva e na proteção dos resíduos contra umidade. A reciclagem dos resíduos fica impossibilitada se não houver esta primeira etapa bem executada.

Já a coleta dos resíduos só pode ser realizada se houver uma parceria com transportadores capacitados para remoção dos mesmos do canteiro de obra e posterior transporte a uma empresa de reciclagem.

A separação dos contaminantes é uma fase que ainda requer estudos. São muitos os contaminantes do gesso, tais como pintura, metais, madeiras, adesivos, plásticos, dentre outros. Deve-se ter cautela na escolha do processo de descontaminação, pois uma separação manual dos contaminantes pode acarretar danos aos trabalhadores.

A ausência de procedimentos adequados na gestão dos resíduos no canteiro de obras ou na fase de demolição pode aumentar, significativamente, a quantidade de contaminantes, dificultando ainda mais o processo de separação (JOHN & CINCOTTO, 2003).

Posteriormente, é iniciado o processamento dos resíduos que varia de acordo com a capacidade da empresa recicladora. Nesta fase, é de grande importância a fase do controle da qualidade para garantir, ao consumidor, um padrão de qualidade do produto reciclado compatível com o produto virgem e, também, facilitar a comercialização do produto reciclado (GYPSUM, 2006).

Estudos mostraram que existem diversos procedimentos para reutilização e reciclagem dos resíduos de gesso. Paparotte & Maciel (2006) realizaram um estudo avaliando a sua utilização em solos agrícolas, de forma sustentável e sem agressões ao meio ambiente. Os autores concluíram que esse resíduo pode ser disposto em solos agrícolas como corretivo da acidez e portador de nutrientes como

cálcio, magnésio e potássio, desde que utilizado nas quantidades recomendadas. Até a dosagem de dez toneladas por hectare não se constatou nenhuma ação prejudicial no desenvolvimento vegetativo, permitindo a sua disposição em solos agrícolas e culturas sensíveis como a alface.

Mundialmente, pode-se citar como exemplo a empresa europeia denominada “Gypsum Recycling International” que, com tecnologia e sistema diferenciados, faz a reciclagem dos resíduos do gesso e comenta que esse processo de reciclagem tem-se transformado em uma solução viável, sendo capaz de utilizar todos os tipos de blocos de gesso e gesso acartonado (GYPSUM, 2006).

Assim, são aceitáveis os resíduos provenientes de reformas, demolições, novas construções e sobras de produção das fábricas. Podem-se utilizar chapas de gesso acartonado de paredes ou forros, chapas de gesso com partes quebradas, ou pedaços de chapas; chapas com pregos, parafusos, ou mesmo com papel de parede.

O sistema de reciclagem da “Gypsum Recycling International” contém todos os componentes necessários para assegurar um bom rendimento no sistema de reciclagem:

- Sistema Coletor: onde os resíduos do gesso são depositados e coletados em *containers* especialmente desenvolvidos para essa atividade (Figuras 15 e 16);
- Sistema de Logística: os materiais são coletados e levados para os armazéns centrais (Figuras 17 e 18);
- Unidade de Reciclagem: nesta etapa os materiais são transformados em pó de gesso. Essa unidade pode ser móvel, compacta e fechada, protegendo assim os resíduos do gesso das intempéries (Figuras 19 e 20);
- Clientes: os fabricantes de gesso em pó e gesso acartonado podem utilizar esse pó de gesso reciclado (Figura 21) ao invés de gipsita.



Figura 15: *Container* utilizado na coleta dos resíduos.

Fonte: Gypsum (2006)



Figura 16: Ilustração da deposição dos resíduos no *container*.

Fonte: Gypsum (2006)



Figura 17: Sistema utilizado para o transporte dos resíduos.

Fonte: Gypsum (2006)



Figura 18: Chegada dos resíduos coletados aos armazéns centrais.

Fonte: Gypsum (2006)



Figura 19: Unidade móvel de reciclagem.

Fonte: Gypsum (2006)



Figura 20: Quadro de controle da unidade de reciclagem.

Fonte: Gypsum (2006)



Figura 21: Armazenagem do pó de gesso reciclado.

Fonte: Gypsum (2006)

Para os fabricantes de gesso, vários benefícios foram encontrados com a aplicação da reciclagem, principalmente diante da concepção do desenvolvimento sustentável. Além disso, pode-se obter com a reciclagem uma fonte adicional estável (de gesso de boa qualidade) e com preço, muitas vezes, abaixo do material virgem (GYPSUM, 2006).

2.5 A utilização de polímeros como aditivos ao gesso

São considerados aditivos os produtos que em pequena porcentagem são inseridos na composição final de um produto para modificar ou acrescentar alguma propriedade. Eles podem ter a função de retardadores de pega, aceleradores de pega, espessantes ou redutores de água, fluidificantes e impermeabilizantes (MANUAL..., 2001).

No gesso, muitas vezes, são utilizados polímeros como aditivos. Como exemplo, podem-se citar os derivados de silicone, os quais, incorporados na massa de gesso, produzem determinada impermeabilidade (MANUAL..., 2001).

Os polímeros, macromoléculas orgânicas formadas pela união de substâncias simples, chamadas monômeros, podem ser de origem natural ou sintética. Os polímeros naturais são conhecidos desde que o homem primitivo utilizou produtos de origem animal ou vegetal, como madeira, fibras têxteis (lã), crinas, ossos, couros, borracha natural e outros produtos da natureza (PADILHA, 1997).

Os polímeros constituem-se em moléculas de cadeia longa com grupos repetitivos que apresentam ligações covalentes, geralmente muito fortes. O carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, flúor e alguns elementos não metálicos constituem os principais elementos dessa cadeia.

De acordo com Isaia (2007), as cadeias poliméricas se unem entre si por ligações secundárias relativamente fracas, resultando em deslizamentos entre si quando são aplicadas forças externas, conferindo-lhes resistências mecânicas baixas.

O termo “polímero” foi criado em 1832 por Jöns Jacob Berzelius, médico e químico sueco, para designar compostos de pesos moleculares múltiplos. Ele estudou mais de 2.000 compostos químicos.

Em 1907, Leo Hendrik Baekeland, químico belgo-americano, descobriu o primeiro polímero sintético, obtido pela mistura sob pressão e temperatura controladas, aplicadas ao fenol e formaldeído, encontrando uma substância moldável a que denominou de baquelite (ISAIA, 2007).

Ainda de acordo com esse autor, em 1950 foi dado o grande salto no estudo dos polímeros, com os trabalhos de Ziegler sobre o uso de catalisadores, que possibilitaram a produção de polímeros com propriedades pré-determinadas, iniciando a era da Engenharia Polimérica.

Como vantagens, os polímeros apresentam seu baixo custo, baixa densidade e facilidade de conformação em formas complexas. Por outro lado, sua resistência mecânica é relativamente baixa, são de difícil reparação e, em geral, possuem baixa resistência aos raios UV.

Em contraste com as substâncias químicas comuns, os polímeros não são produtos homogêneos; contêm mistura de moléculas, de variados pesos moleculares, apresentando o que se chama de polimolecularidade. Já os monômeros são compostos químicos que reagem para formar os polímeros.

A reação química que conduz a formação de polímeros é definida como polimerização. Já o grau de polimerização é o número de meros de uma cadeia

polimérica. Quando há mais de um tipo de mero na composição do polímero, este é designado por copolímero, e os monômeros que lhe dão origem comonômeros. Em reação de polimerização, o encadeamento das unidades monoméricas pode ser realizado na forma regular, cabeça-cauda, ou na forma cabeça-cabeça, cauda-cauda, ou mista (MARCZAK, 2004).

Alguns aditivos são classificados em controladores de pega e interferem na velocidade da reação de hidratação, acelerando-a ou retardando-a, interferindo também no tempo de pega da pasta.

Hincapie & Cincotto (1997) realizaram um estudo para avaliar a influência dos retardadores de pega na hidratação e microestrutura do gesso de construção. Para o estudo, utilizaram bórax, caseína, gelatina e ácido cítrico. Foi observado que em presença do ácido cítrico e caseína não ocorre uma mudança significativa dos cristais de gipsita; já com a adição de bórax, os cristais apresentam-se com forma irregular e hexagonal. Com a adição de gelatina, os cristais que se formam têm maior espessura, são arredondados e de menor tamanho que os cristais de gipsita formados quando não é adicionado o retardador. Nesse trabalho não foram verificadas as propriedades físicas como absorção e resistência à compressão.

De acordo com Padilha (1997), os maiores produtores mundiais de polímeros são: Estados Unidos (29%), Japão (12%), Alemanha (10%), Ex-URSS (6%) e França (5%).

No gesso, os aceleradores aumentam a solubilidade do hemidrato acelerando o processo de hidratação. Já os retardadores, como por exemplo, o bórax e o ácido cítrico, podem ampliar o período de indução causando o deslocamento da curva de hidratação, ou outros como a caseína e a gelatina, podem interferir na cinética da formação da microestrutura do dihidrato (HINCAPIÉ & CINCOTTO 1997).

Li, Li, Yu (2006) citam que a pintura de placas de gesso com aditivos orgânicos impermeabilizantes promoveu, em seus estudos, apenas um efeito temporário, não resolvendo o problema de absorção de água pelo gesso. Assim, optou-se por trabalhar, nesse estudo, somente com os produtos que pudessem ser adicionados na água de amassamento do gesso.

No presente trabalho, foram utilizados quatro aditivos comerciais, o Masterfix, o Imperwall, o Glenium 3200 HES e o Silicone.

O Masterfix é um produto comercial da Basf – The Chemical Company. Trata-se de um adesivo polimérico líquido, à base de resina sintética, que tem como

função principal auxiliar na adesão do concreto ou argamassa ao substrato. Ele deve ser misturado junto com a água de amassamento.

No estado fresco, melhora a trabalhabilidade da pasta e aumenta a adesividade de argamassas. Já no estado endurecido, proporciona boa aderência sobre diversos substratos, diminui o risco de fissuração e evita a retração (BASF, 2007). A tabela 10 apresenta as características técnicas desse produto.

Tabela 10: Dados técnicos do produto Masterfix.

Função principal	Auxiliar na adesão
Base química	Resina sintética
Aspecto	Líquida
pH	4 a 6
Cor	Branca
Densidade	0,980 g/cm ³ a 1,020 g/cm ³
Sólidos	9% a 11%

Fonte: Basf (2007)

O produto Imperwall da Degussa é um composto químico denominado acetado de polivinila (PVA) e possui características plastificantes e antiumidificantes. O acetato de polivinila (PVA) é um polímero termoplástico que pertence à classe dos polivinil ésteres e é preparado através da polimerização do acetato de vinila. Uma de suas principais características é a adesividade (ISAIA, 2007).

Os polímeros termoplásticos, ao serem aquecidos, sofrem amolecimento e, ao resfriarem, retomam a sua rigidez inicial. Eles possuem ligações químicas intermoleculares fracas, tipo Van der Waals, de maneira que podem ser facilmente rompidas com a introdução de energia (ISAIA, 2007).

A água é um dissolvente ideal para o PVA, cuja solução tem boa qualidade de adesão e coagulação em película, porém indissolúvel em muitos dissolventes orgânicos tais como óleos, lubrificantes e hidrocarbonetos. Ele possui excelente estabilidade química, boa qualidade de isolamento e coagulação em película e de poliálcool, podendo realizar reações de esterificação, eterificação e acetal (BASF, 2007).

Na construção civil, o Imperwall possui algumas propriedades específicas tais como, fácil aplicação, endurecimento de suportes porosos e absorventes antes da colocação de revestimentos cerâmicos ou outros, proteção antiumidificante para fachadas, piscinas e áreas sujeitas à exposição de água e proteção dos suportes absorventes de umidade além do endurecimento superficial, proporcionando uma melhor capacidade portante e aderência da argamassa colante (BASF, 2007)

Seu campo de aplicação inclui imprimação para suportes de concreto celular, gesso, rebocos com alta permeabilidade, antes da aplicação do revestimento; além da imprimação antiumidade e endurecedor para gesso acartonado, concreto celular, concreto asfalto, emboço e argamassa de revestimento (BASF, 2007).

O silicone utilizado neste trabalho, disponibilizado pela empresa Supergesso, de Araripina, Pernambuco, é fabricado pela Bluestar Silicones France SAS e é denominado comercialmente por essa empresa de Rhodorsil H68.

O silicone é um polímero químico que foi descoberto em 1900 por Frederic Stanley Kipping (SICHIERI *et al*, 2005). Possui uma cadeia básica formada de átomos alternados de silício e oxigênio, de modo análogo ao dos compostos orgânicos. Por serem desprovidos de átomos de carbono em sua cadeia principal, esses polímeros não são considerados orgânicos, embora o sejam os radicais mais importantes ligados ao átomo de silício. São eles o grupo metila (-CH₃) nos metil-silicones e o fenila (-C₆H₅) nos fenil-silicones (OBRA..., 2007).

O silicone (nome comercial do polidimetil-siloxano) é obtido pela hidrólise dos clorosilados, seguida da condensação do produto instável assim obtido. Esse polímero apresenta excelente resistência química e suas principais propriedades são: boa resistência elétrica, antiaderência, resistência ao intemperismo, baixa tensão superficial e elevada recuperação elástica. Além disso, tem excelente estabilidade térmica em temperaturas entre (-70°C a 20°C) e apresentam boa resistência à oxidação. São bons repelentes de água (sua taxa de absorção de água é de 0,02%) e proporcionam isolamento térmico. E geralmente é utilizado como selante. Na construção civil, a aplicação principal está relacionada à proteção contra umidade em paredes de alvenaria e concreto (ROCHA, 1990 apud SICHIERI *et al*, 2005; ISAIA, 2007).

A tabela 11 apresenta algumas propriedades físico-químicas do silicone (CALLISTER JR., 2002; BLUESTAR SILICONES FRANCE SAS, 2008).

Tabela 11: Propriedades físico-químicas do silicone.

Propriedades	Silicone
Massa específica (g/cm ³)	1,1 – 1,6
Coefficiente linear de expansão térmica [10 ⁻⁶ (°C) ⁻¹]	270
Condutividade térmica (kcal/m ² .h.°C)	0,19
Perda por secagem (%)	1,4 (limite de 2)
Acidez (mg/kg)	Menor que 1 (limite de 5)
Viscosidade em 25°C (mm ² /s)	20 – 25
Quantidade de água (%)	0,0120 (limite de 0,0200)

Fonte: Callister Jr., 2002; Bluestar Silicones France SAS, 2008

O Glenium 3200 HES, baseado na tecnologia dos policarboxilatos, é um produto comercial da Basf – The Chemical Company e também foi utilizado como aditivo neste trabalho. Atualmente é conhecido como aditivo superplastificante de 4ª geração e é utilizado na indústria de pré-moldados em concreto. Como benefícios ao concreto, reduz a permeabilidade (de 5% a 40%), aumenta as resistências iniciais e finais, entre outros. A dosagem indicada pode variar entre 0,25% a 1,20% sobre peso de cimento (BASF, 2007). Os principais dados técnicos podem ser vistos na tabela 12.

Tabela 12: Dados técnicos do produto Glenium 3200 HES.

Função principal	Superplastificante
Base química	Policarboxilatos
Aspecto	Líquido viscoso
Cor	Castanho escuro
Densidade	1,040 g/cm ³ a 1,080 g/cm ³
Sólidos	31% a 39%

Fonte: Basf (2007)

Para a análise dos custos das misturas de gesso confeccionadas, foram levantados, no mês de março de 2008, junto aos fornecedores relacionados a cada material para a região de Bauru, estado de São Paulo, os valores dos insumos já com impostos e custos de transporte incluídos, conforme apresentado na tabela 13.

Tabela 13: Custos dos materiais utilizados na pesquisa.

MATERIAL	PREÇO
Gesso Beta	R\$ 0,30/kg
Gesso Alfa	R\$ 1,30/kg
Masterfix	R\$ 6,10/kg
Imperwall	R\$ 10,00/kg
Silicone (Rhodorsil H68)	R\$ 29,00/kg
Glenium 3200 HES	R\$ 22,83/kg

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo experimental, o objetivo foi analisar a influência dos gessos, denominados na literatura de tipo alfa (α) e beta (β), na pasta, assim como a relação água/gesso e a adição de polímeros e, conseqüentemente, nos componentes produzidos com o material obtido. Vale lembrar que, devido ao processo de fabricação mais elaborado, o custo do gesso alfa é maior que o custo do gesso beta. Assim, o uso do mesmo deve ser em quantidade que apresente custo final competitivo e atraente ao consumidor.

Uma das prioridades deste trabalho é reduzir a relação água/gesso da mistura, para que assim os componentes construtivos produzidos tenham porosidade menor e, conseqüentemente, se tornem mais impermeáveis, garantia de melhor desempenho e durabilidade. Outra prioridade é definir o *mini-slump*, ou seja, determinar a fluidez da pasta, que caracterizará as condições de boa trabalhabilidade da mistura. Para isso, a pasta deve fluir de tal forma que se possa moldar, adequadamente, a peça de gesso a ser produzida.

Também os tempos de início e fim de pega são fundamentais para o processo, uma vez que caracterizam tanto o tempo que se tem disponível para mistura, lançamento e adensamento quando no estado fresco, quanto o tempo de desforma. Caso o tempo de início de pega e o tempo de fim de pega não sejam compatíveis com o processo de produção, tem-se aumento do volume de resíduos e, como conseqüência, do desperdício.

As normas técnicas pertinentes para a determinação das propriedades físicas e mecânicas, no estado fresco e do estado endurecido, estão descritas nos itens correspondentes aos ensaios realizados.

3.1 Materiais utilizados

Para a seleção dos materiais utilizados nos experimentos deste trabalho, procurou-se utilizar o critério de selecionar produtos comerciais, presentes no

mercado brasileiro, e com características compatíveis com o objetivo proposto pelo trabalho.

3.1.1 Gesso tipo alfa (α)

Neste projeto, devido à maior resistência encontrada no hemidratos α , disponibilizados pela empresa Supergesso, situada na cidade de Araripina, em Pernambuco, foi utilizada certa porcentagem desse tipo de gesso, para verificar se ele provoca uma melhoria no desempenho da pasta.

A porcentagem adicionada à mistura restringiu-se a 5% e 10%. A porcentagem máxima de 10% deve-se ao custo do gesso alfa, em torno de cinco vezes o preço do gesso beta, o que poderia resultar em custos finais que inviabilizariam a fabricação dos componentes de gesso.

3.1.2 Gesso tipo beta (β)

O gesso beta (β) divide-se em gesso de fundição e gesso para revestimento. Neste trabalho, foi utilizado o gesso de fundição, disponibilizado também pela empresa Supergesso, devido a um dos objetivos, deste estudo, que consiste na confecção de painéis modulares. Neste trabalho não será analisado gesso para revestimento.

3.1.3 Masterfix

Devido ao seu baixo custo e pelo seu bom desempenho como adesivo polimérico em argamassas e concretos, utilizou-se este aditivo para verificar a sua atuação na melhoria da trabalhabilidade das pastas de gesso e na redução da

absorção de água. Esse produto foi disponibilizado gratuitamente pela BASF Construction Chemicals do Brasil.

3.1.4 Imperwall

Por possuir características plastificantes e antiumidificantes, e por ser utilizada na imprimação antiumidade e como endurecedor em gesso acartonado, empregou-se esse polímero com o objetivo de avaliar sua influência no gesso, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Esse produto foi disponibilizado gratuitamente pela Degussa.

3.1.5 Silicone

A justificativa para o uso desse polímero é a sua baixa taxa de absorção de água, conforme visto na literatura. Para o presente trabalho, o silicone, fabricado pela empresa Bluestar Silicones France SAS, foi disponibilizado pela empresa Supergesso.

3.1.6 Glenium 3200 HES

Os aditivos superplastificantes, tidos como de 4ª geração, quando adicionados na produção do concreto contribuem para a redução da permeabilidade (de 5% a 40%) e o aumento das resistências nas idades iniciais e finais. O material foi utilizado nas misturas com o gesso, objetivando avaliar se essas características são potencializadas. Esse produto foi disponibilizado gratuitamente pela BASF Construction Chemicals do Brasil.

3.1.7 Água de amassamento

A água de amassamento é um dos fatores que influenciam no tempo de pega ou de presa do gesso, além de influenciar no endurecimento e, conseqüentemente, na resistência e porosidade. Isso ocorre porque a solução leva mais tempo para ficar saturada e assim a cristalização se faz mais tarde, de acordo com o Manual... (2001). Neste trabalho, foi utilizada água proveniente da rede pública de distribuição.

Segundo Coutinho (2006), o tempo de pega (ou presa) é mais rápido quanto mais se reduzir a quantidade de água, aproximando-a da necessária à hidratação de certa quantidade de gesso, que para o composto $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ é cerca de 25%, em massa. A água para a reidratação é muito inferior à necessária para o amassamento; o excedente de água utilizada na mistura se evapora aos poucos durante o tempo de pega e a secagem, deixando uma microestrutura porosa no hidrato (MANUAL..., 2001).

3.2 Métodos de ensaio

3.2.1 Ensaio preliminares

Inicialmente foi tomada uma relação água/gesso (a/g) de 0,62 kg/kg para a preparação dos corpos-de-prova utilizando somente gesso β . Entretanto, ao colocar 100 gramas de gesso com 62 gramas de água, notou-se que a quantidade de água não era suficiente para proporcionar a trabalhabilidade desejada à pasta, avaliada através de uma inspeção visual. Os ensaios preliminares visaram a definir relação a/g capaz de conferir às misturas valores de consistências compatíveis com as condições de trabalhabilidade adequada, não só para se moldar os corpos-de-prova para realização dos ensaios físicos e mecânicos do material gesso propriamente dito, mas principalmente para serem adequadas para a produção de componentes – placas e blocos para alvenaria, divisórias e placas de piso elevado. A partir daí foram realizados os ensaios, conforme as etapas descritas no decorrer deste trabalho.

Os traços produzidos foram identificados por letras e números. As letras diferem de acordo com a variação da quantidade de gesso α , relação água/gesso, e adição ou não de polímeros. Já os números estão presentes nos traços aditivados e diferenciam a porcentagem de aditivos que está sendo utilizada em cada mistura, que pode ser em relação à massa de gesso ou em relação à massa de água empregada em cada dosagem.

Foram confeccionadas composições que possibilitaram a moldagem de corpos-de-prova brancos de análise para todas as condições de mistura. Estes CP's permitem comparar a influência das adições nas propriedades, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

Para cada traço produzido, foram realizados ensaios preliminares visando a obter a trabalhabilidade adequada para as condições de uso desejadas.

1ª Etapa: Variação da relação água/gesso.

Inicialmente, utilizou-se somente gesso tipo β , variando a relação água/gesso, para se verificar a fluidez dessas misturas, visando a determinar a plasticidade que resultasse em uma boa fluidez e, conseqüentemente, em trabalhabilidade adequada.

TRAÇO A – a/g 0,68 kg/kg

TRAÇO B – a/g 0,70 kg/kg

TRAÇO C – a/g 0,72 kg/kg

2ª Etapa: Adição de gesso α e variação da sua quantidade.

A partir dos resultados obtidos com o gesso β , foi adicionado à mistura gesso α , para estudar a influência do mesmo na composição. Em relação à massa de gesso, foram adicionados 0%, 5% e 10% de gesso α na mistura, para se analisar a plasticidade das pastas. O elevado custo desse material não favorece a adição de maior quantidade, o que poderia implicar numa não-viabilidade econômica do produto final.

TRAÇO D – 95% gesso β : 5% gesso α : a/g 0,70

TRAÇO L – 95% gesso β : 5% gesso α : a/g 0,60

TRAÇO M – 100% gesso β : 0% gesso α : a/g 0,60

TRAÇO N – 90% gesso β : 10% gesso α : a/g 0,60

TRAÇO O – 90% gesso β : 10% gesso α : a/g 0,70

3ª Etapa: Adição de Masterfix e variação da sua quantidade.

Após a verificação da influência da adição do gesso tipo α na pasta, observou-se que a adição de 5% do gesso α é a que melhor atendeu às propostas de uso. Assim, a estas composições, adicionou-se o Masterfix. A quantidade do polímero adicionada relaciona-se à quantidade de água de amassamento necessária para casa dosagem.

TRAÇO E₁ – 95% gesso β : 5% gesso α : a/g 0,70 : 5% Masterfix

TRAÇO E₄ – 95% gesso β : 5% gesso α : a/g 0,70 : 30% Masterfix

TRAÇO E₆ – 95% gesso β : 5% gesso α : a/g 0,70 : 50% Masterfix

TRAÇO I₅ – 95% gesso β : 5% gesso α : a/g 0,60 : 40% Masterfix

4ª Etapa: Adição de Imperwall e variação da sua quantidade.

Com a mesma metodologia utilizada para o Masterfix, foi utilizada o Imperwall para a realização dos ensaios. A quantidade adicionada deste polímero, assim como para o Masterfix, relaciona-se à quantidade de água de cada traço.

TRAÇO F₁ – 95% gesso β : 5% gesso α : a/g 0,70 : 5% Imperwall

TRAÇO F₂ – 95% gesso β : 5% gesso α : a/g 0,70 : 10% Imperwall

TRAÇO F₄ – 95% gesso β : 5% gesso α : a/g 0,70 : 30% Imperwall

TRAÇO F₆ – 95% gesso β : 5% gesso α : a/g 0,70 : 50% Imperwall

TRAÇO G₅ – 95% gesso β : 5% gesso α : a/g 0,60 : 40% Imperwall

TRAÇO G₇ – 95% gesso β : 5% gesso α : a/g 0,60 : 60% Imperwall

TRAÇO G₈ – 95% gesso β : 5% gesso α : a/g 0,60 : 70% Imperwall

TRAÇO H₅ – 100% gesso β : 0% gesso α : a/g 0,60 : 40% Imperwall

TRAÇO Q – 95% gesso β : 5% gesso α : a/g 0,50 : 70% Imperwall

5ª Etapa: Adição combinada de silicone e Glenium 3200 HES.

O Glenium 3200 HES é um aditivo superplastificante para concreto, considerado de 4ª geração, em função de seu desempenho nas misturas. O uso desses aditivos no concreto possibilita a redução na relação água/cimento em torno de até 40%, com conseqüente aumento da resistência mecânica e da impermeabilidade. Mesmo considerando que o custo desse produto é maior em relação aos demais materiais empregados, optou-se pelo seu emprego associado ao silicone, para estudar os efeitos dos mesmos nas propriedades do gesso. A porcentagem de Glenium foi fixada em 0,60%, optou-se por adicionar também o silicone, devido ao seu bom desempenho em relação à absorção de água, conforme visto na literatura. A quantidade de água foi sendo reduzida ao mínimo possível de se trabalhar, até alcançar a dosagem presente no traço T₂. A porcentagem adicionada de Glenium e silicone relacionam-se à massa de gesso.

TRAÇO T₂ – 100% gesso β : 0% gesso α : a/g 0,50 : 0,60% Glenium: 0,60% silicone

A tabela 14 apresenta um resumo dos traços empregados, com a composição de cada um deles.

Tabela 14: Descrição dos traços utilizados.

TRAÇO	Quantidade de Gesso (%)		Relação água/gesso (kg/kg)	Aditivo utilizado		
	Tipo β	Tipo α		Tipo	Quantidade em relação à massa de água (%)	Quantidade em relação à massa de gesso (%)
A	100	0	0,68	-	-	-
B	100	0	0,70	-	-	-
C	100	0	0,72	-	-	-
D	95	5	0,70	-	-	-
E ₁	95	5	0,70	Masterfix	5	-
E ₄	95	5	0,70	Masterfix	30	-
E ₆	95	5	0,70	Masterfix	50	-
F ₁	95	5	0,70	Imperwall	5	-
F ₂	95	5	0,70	Imperwall	10	-
F ₄	95	5	0,70	Imperwall	30	-
F ₆	95	5	0,70	Imperwall	50	-
G ₅	95	5	0,60	Imperwall	40	-
G ₇	95	5	0,60	Imperwall	60	-
G ₈	95	5	0,60	Imperwall	70	-
H ₅	100	0	0,60	Imperwall	40	-
I ₅	95	5	0,60	Masterfix	40	-
L	95	5	0,60	-	-	-
M	100	0	0,60	-	-	-
N	90	10	0,60	-	-	-
O	90	10	0,70	-	-	-
P	100	0	0,70	Silicone	-	0.60
Q	95	5	0,50	Imperwall	70	-
T ₂	100	0	0,50	Silicone	-	0.60
				Glenium	-	0.60

3.2.2 Análise granulométrica

A granulometria do gesso foi determinada de acordo com as prescrições da ABNT NBR 12127 (1991).

De acordo com o método de ensaio, a amostra foi preparada, passando-a através da peneira com abertura de 2,0mm e deixando-a secar em estufa em temperatura de $(40 \pm 4)^\circ\text{C}$ até massa constante, esfriando-a em seguida em dessecador.

Toma-se $(100 \pm 1)\text{g}$ da massa inicial para passar pela peneira com abertura de 0,840mm e, posteriormente, pela peneira de 0,420mm, conforme descrito no método de ensaio. Desse material passante, toma-se 50g para passar pela peneira de 0,210mm e, depois, pela peneira de 0,105mm, registrando, para cada peneira, a média aritmética percentual retida dos valores em duas determinações.

Os resultados de duas determinações não devem diferir de mais de 5% em relação à média aritmética, ou quando os resíduos forem menores que 2g, a diferença não deve ser maior que 0,1g, conforme ABNT NBR 12127 (1991).

Assim, deve-se calcular o material retido em cada peneira, utilizando a equação (4), para as peneiras de 0,840mm e de 0,420mm:

$$R = \frac{m}{M} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

R = material retido, em porcentagem;

m = resíduo na peneira, em gramas;

M = massa inicial, em gramas.

Para as peneiras com abertura de 0,210mm, 0,105mm e para o fundo, utilizam-se as equações (5) e (6):

$$R = \frac{m}{M_1} \times D \times 100 \quad (5)$$

Onde:

R = material retido, em porcentagem;

m = resíduo na peneira, em gramas;

M_1 = massa total do material retido no jogo de peneiras (0,210mm, 0,105mm e fundo), em gramas;

D = diferença obtida entre a massa inicial (M) e os resíduos das peneiras (0,840mm e 0,420mm) dividido por 100, segundo a equação a seguir.

$$D = \frac{M - (m_a + m_b)}{100} \quad (6)$$

Onde:

m_a = resíduo da peneira de 0,840mm;

m_b = resíduo da peneira de 0,420mm.

Assim, pode-se calcular também o módulo de finura (MF), utilizando a equação 7:

$$MF = \frac{\sum Ra}{100} \quad (7)$$

Onde:

MF = módulo de finura

$\sum Ra$ = somatório do percentual retido acumulado em cada peneira da série padrão.

3.2.3 *Mini-slump*

O ensaio de *mini-slump* é realizado para se verificar a fluidez/plasticidade da mistura, sendo uma propriedade que normalmente se mede pela consistência da pasta e que determina as condições de trabalhabilidade.

Petrucci (1983) resume o termo *trabalhabilidade* como sendo a propriedade que identifica a maior ou menor aptidão da pasta para ser empregada com

determinada finalidade, sem perda de sua homogeneidade. Já o termo *consistência*, o autor reserva para o grau de umidade da pasta, intimamente relacionado com o grau de plasticidade da mesma, isto é, maior ou menor facilidade de deformar-se sob a ação das cargas.

O mesmo autor ainda cita que, de acordo com estudos efetuados em Madrid, a trabalhabilidade compreende três propriedades fundamentais: a consistência (ou fluidez), a compacidade e o travamento (coesão).

A consistência é em função da quantidade de água; a compacidade varia com os vazios de cada um dos tamanhos de grãos dos agregados e com a existência de grãos menores para preenchê-los; e o travamento é em função da quantidade de finos e da continuidade da curva de distribuição granulométrica dos diâmetros de grãos.

Assim, enquanto a consistência representa a facilidade de deformação, e a compacidade é a propriedade que torna possível à pasta alcançar o adensamento necessário, tem-se que o travamento representa a capacidade da pasta de manter sua homogeneidade (PETRUCCI, 1983).

Para o gesso, a quantidade de água necessária para que a pasta adquira a consistência desejada é condicionada pelo tipo de produto e pela sua granulometria (MANUAL..., 2001).

Em função das etapas de preparação da mistura, transporte, lançamento e adensamento, haverá um índice de consistência que confere à mistura as melhores condições de trabalhabilidade. Para outras condições, ou mesmo com alteração em uma das fases, o índice de consistência que confere boas condições de trabalhabilidade pode ser outro. A fluidez da mistura é determinante para o processo de lançamento e adensamento. Quanto menor a fluidez, maiores serão as dificuldades de lançamento e de adensamento; quanto maior a fluidez, maiores poderão ser as facilidades de lançamento e adensamento.

A princípio, maior fluidez representa necessidade de relação água/gesso mais elevada, implicando em menor resistência à compressão, maior absorção, menor resistência a intempéries e menor durabilidade. Portanto, é importante obter maior fluidez com uma redução da relação água/gesso, uma vez que se potencializam as propriedades da mistura, conferindo, inclusive, novas possibilidades de uso.

Para a determinação do abatimento das misturas com gesso, empregou-se, neste trabalho, o ensaio de *mini-slump*, em função da praticidade de sua execução.

A metodologia do ensaio foi estabelecida considerando os resultados obtidos em determinações preliminares do índice de consistência.

O *mini-slump* é verificado pelo abatimento (deformação) causado na pasta de gesso, após a mistura, pelo seu próprio peso. Consiste em uma forma tronco-cônica com diâmetro superior de 2cm e diâmetro inferior de 4cm, com altura de 6cm, que é disposta sobre uma placa de vidro que serve de base. Para maior facilidade de determinação do abatimento, posicionou-se sob a placa de vidro uma folha de papel milimetrado, indicando o centro, onde deve ser colocado o tronco de cone, no qual é colocada a pasta de gesso. Logo após a moldagem, retira-se lentamente a forma com o cuidado de mantê-la na posição vertical. A seguir, através do papel milimetrado, verifica-se o espalhamento da pasta em relação ao centro, medindo-se o diâmetro da base em duas direções perpendiculares. O índice de consistência da mistura é dado pela média (em cm) obtida das duas leituras (Figuras 22 e 23).

Para realizar esse ensaio, tomou-se uma amostra com 50 gramas de gesso para cada traço, quantidade esta suficiente para preencher o cone.

A homogeneização do gesso com a água deu-se por um tempo de até os 40 segundos, e a retirada da forma tronco-cônica se deu em 1 minuto (valores e condições estabelecidas em laboratório, adaptadas ao gesso, considerando a inexistência de normas pertinentes), para que todas as misturas estejam com o mesmo tempo de reação.

Para cada traço foram realizados dois ensaios de *mini-slump*, obtendo assim, a média aritmética das duas determinações.



Figura 22: Ensaio de *mini-slump* com a pasta H₅, de baixa fluidez.



Figura 23: Ensaio de *mini-slump* com a pasta I₅, de fluidez elevada.

3.2.4 Tempos de início e fim de pega

A pega (ou presa) é um fenômeno de solidificação que compreende a evolução das propriedades mecânicas da pasta na fase inicial de seu endurecimento. É um processo fundamentalmente físico decorrente do processo químico das reações e que representa uma etapa importante para a utilização do gesso (SANTOS, VASCONCELOS & PINTO, 1997 apud ABREU *et al*, 2003).

Quando o gesso é misturado à água, forma-se um gel intermediário a partir do qual se desenvolvem os cristais de gipsita. A pega é considerada a coagulação desse gel. Essa reação é acompanhada por uma elevação de temperatura (SANTOS, VASCONCELOS & PINTO, 1997 apud ABREU *et al*, 2003) e por uma expansão de volume. Em geral, a expansão é maior na medida em que a velocidade de hidratação é mais lenta (MANUAL..., 2001).

Coutinho (2006) cita que essa reação é fortemente exotérmica e expansiva, formando-se uma fina malha de cristais em forma de longas agulhas que se interpenetram dando coesão ao conjunto. A autora completa essa informação comentando que, depois da presa, o gesso continua a endurecer em um processo que pode durar semanas, dependendo também da finura, da presença de impurezas, da presença de retardadores de presa e da água de amassamento. Neste trabalho, para acompanhar a evolução do processo de endurecimento, os ensaios de resistência à compressão foram realizados em diversas idades.

No processo físico de mudança de estado, parte-se da pasta em estado líquido, incapaz de resistir a esforços constantes, para ir progressivamente aumentando a viscosidade, passando por um período plástico onde há uma certa resistência. Aos poucos, a dureza superficial e a resistência vão aumentando até que, convencionalmente, o produto é capaz de resistir a uma pressão exercida por um dedo (5kg/cm²) sem deixar fenda, momento no qual se considera que a pasta passa para o estado sólido (MANUAL..., 2001). Partindo desse ponto de vista, denomina-se como tempo de início de pega o ganho de viscosidade; e tempo de final de pega o endurecimento, onde a pasta passa a ter mais consistência. (HINCAPIÉ & CINCOTTO, 1997).

Portanto, tempo de início de pega e tempo de fim de pega constituem etapas artificialmente definidas como sendo um tempo em que a pasta se torna imprópria a um trabalho; ambos indicam a fase inicial do processo de endurecimento.

Em geral, para o gesso de construção, o amassamento é feito com uma quantidade de água de cerca de 0.60 a 0.75, verificando-se o princípio de presa entre 2 a 6 minutos e o fim de presa de 15 a 30 minutos (DURIEZ, 1952 apud COUTINHO, 2006).

Coutinho (2006) ainda cita que é possível retardar o tempo de pega sem aumentar a quantidade de água, utilizando um retardador de pega, que pode ser gelatina, cola forte, cal hidratada ou água quente e, portanto, aumentar sua resistência e diminuir a porosidade.

Utilizou-se a normatização da ADA (*American Dental Association*), utilizando as agulhas de Gillmore (Figura 24) para medir o tempo de pega das pastas de gesso.

E, para o projeto em questão, constatou-se como compatível com as propostas de uso um tempo de início de pega acima de 25 minutos, considerando o tempo de mistura, transporte, lançamento e adensamento na confecção de artefatos para a construção civil.



Figura 24: Agulhas de Gillmore.

3.2.5 Determinação da massa em relação à idade do corpo-de-prova

Foram moldados corpos-de-prova cilíndricos, com 2cm de diâmetro por 4cm de altura, para se verificar a variação da massa com a idade e para cada de traço desenvolvido. Assim, pôde-se notar até em que idade o gesso sofre alterações em sua massa, ou seja, perde água de amassamento.

A massa foi obtida com 0, 7, 14, 21, 28 e 35 dias de idade. Em alguns traços, foi obtida a massa aos 5 dias e, só como ilustração, aos 42 dias de idade.

3.2.6 Absorção por imersão

O ensaio de absorção por imersão foi efetuado tomando-se como base as especificações da ABNT NBR 9778 (1987) para argamassa e concreto endurecidos, realizando-se as adaptações pertinentes, considerando as especificidades da matéria-prima, pois a realização desse ensaio com gesso ainda não foi contemplada pela ABNT.

Foram ensaiados de três a cinco corpos-de-prova cilíndricos com 5cm de diâmetro por 10cm de altura, para cada tipo de composição e com idade acima de 50 dias, com exceção do traço G₈, no qual só foram ensaiados 2 CP's.

Inicialmente, as amostras são colocadas em estufa para secagem (Figura 25) em temperatura de $(55 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, apesar de a norma estabelecer a temperatura de $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ para argamassa e concreto. Isso foi estabelecido para que não ocorresse perda acelerada de água, pois esse fato poderia favorecer o aparecimento como a propagação de fissuras implicando em prejuízo para a sua impermeabilidade. O tempo de secagem em estufa foi de 72 horas, sendo confirmada por variação de massa menor que 0,5% da menor massa, entre duas pesagens consecutivas, intervaladas em 24 horas.

Completada a secagem, as amostras foram colocadas em imersão em água, na temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ durante 72 horas.

Durante as 4 primeiras horas, $\frac{1}{3}$ do volume das amostras ficou imerso (Figuras 26 e 27). Após essas horas iniciais, as amostras foram pesadas imersas

em água (massa da amostra mergulhada em água) e posteriormente enxugadas e pesadas em uma balança digital com sensibilidade de 0,01g (massa da amostra com superfície seca). Realizadas as leituras, os CP's foram novamente colocados em recipiente com água, porém agora com $\frac{2}{3}$ do seu volume imerso, mantendo-se assim por mais 4 horas, conforme ilustrado na figura 28. Após esse período, as massas foram novamente avaliadas. As amostras retornaram ao recipiente com água e permaneceram completamente imersas durante as 64 horas restantes, sendo efetuadas as leituras das massas, tanto imersa quanto com superfícies secas, decorridos os tempos de 24, 48 e 72 horas de saturação.



Figura 25: Amostras em estufa para secagem.

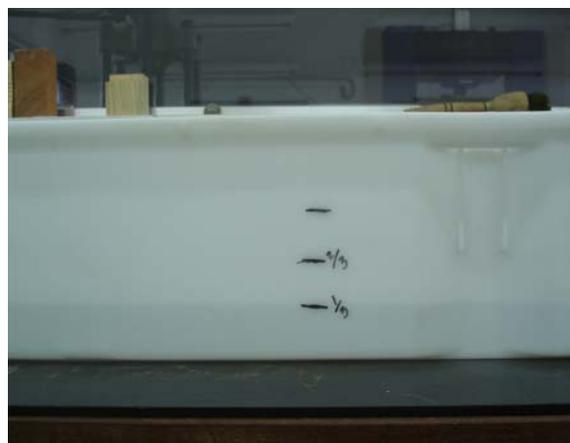


Figura 26: Recipiente para imersão, completa ou parcial, dos corpos-de-prova em água.



Figura 27: Corpos-de-prova com $\frac{1}{3}$ do seu volume imerso.

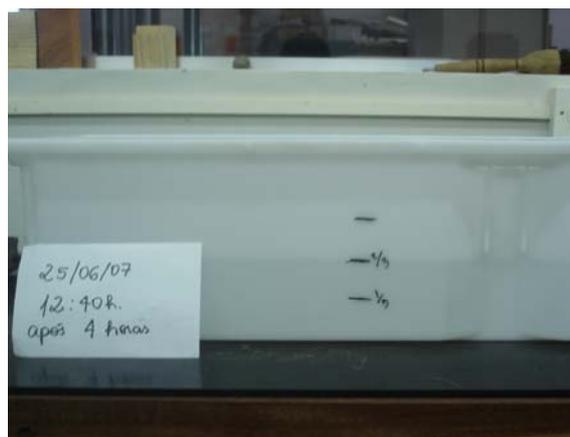


Figura 28: Recipiente com os corpos-de-prova com $\frac{2}{3}$ do seu volume imerso.

Terminado o processo de saturação, as amostras foram colocadas em um recipiente cheio d'água, progressivamente levado à ebulição, e mantidas sob a ação

da água fervente por um período de 5 horas (Figuras 29 e 30). A seguir a água foi resfriada naturalmente, por mais de 14 horas, conforme estabelecido na norma. As amostras foram enxugadas e pesadas com a superfície seca e na balança hidrostática (Figuras 31 e 32), verificando a massa das amostras imersas em água.



Figura 29: Ebulidor utilizado no ensaio.



Figura 30: Detalhe dos corpos-de-prova após término do período de ebulição.



Figura 31: Conjunto da balança para pesagem hidrostática.



Figura 32: Cesto para amostras, no conjunto da balança.

Para esse ensaio calculou-se, além da taxa de absorção de água por imersão, o índice de vazios e a massa específica da amostra.

A taxa de absorção de água após imersão é definida pela seguinte expressão:

$$Ab_{sat} = \frac{(M_{sat} - M_s)}{M_s} \times 100(\%) \quad (8)$$

Onde:

Ab_{sat} = taxa de absorção de água após imersão (em %);

M_{sat} = massa do corpo-de-prova saturado após imersão;

M_s = massa do corpo-de-prova seco em estufa e resfriado no dessecador.

Já a taxa de absorção de água após imersão e fervura é expressa por:

$$Ab_{ferv} = \frac{(M_{sat_ferv} - M_s)}{M_s} \times 100(\%) \quad (9)$$

Onde:

Ab_{ferv} = taxa de absorção de água após imersão e fervura (em %);

M_{sat_ferv} = massa do corpo-de-prova saturado com superfície seca após fervura;

M_s = massa do corpo-de-prova seco em estufa e resfriado no dessecador.

De acordo com a ABNT NBR 9778 (1987), índice de vazios consiste na relação entre os volumes dos poros permeáveis e o volume total. Nesse ensaio, é possível calcular o índice de vazios após saturação em água (equação 10), e após saturação e fervura (equação 11).

$$I_{sat} = \frac{(M_{sat} - M_s)}{(M_{sat} - M_i)} \times 100(\%) \quad (10)$$

$$I_{ferv} = \frac{(M_{sat_ferv} - M_s)}{(M_{sat_ferv} - M_{i_ferv})} \times 100(\%) \quad (11)$$

Onde:

I_{sat} = Índice de vazios após saturação em água (%);

I_{ferv} = Índice de vazios após saturação e fervura (%);

M_i = massa do corpo-de-prova saturado, imerso em água;

M_{i_ferv} = massa do corpo-de-prova após saturação e fervura, imerso em água.

A partir das massas obtidas, determinaram-se a massa específica da amostra seca, massa específica após saturação, massa específica após saturação e fervura e a massa específica real.

A massa específica da amostra seca (γ_0) é calculada através da equação:

$$\gamma_0 = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} (g / cm^3) \quad (12)$$

O cálculo da massa específica da amostra após saturação (γ_{sat}) é expresso pela equação 13, e o cálculo da massa específica após saturação e fervura (γ_{ferv}) é expresso pela equação 14.

$$\gamma_{sat} = \frac{M_{sat}}{M_{sat} - M_i} (g / cm^3) \quad (13)$$

$$\gamma_{ferv} = \frac{M_{sat}}{M_{sat} - M_i} (g / cm^3) \quad (14)$$

A massa específica real (γ_{real}) é dada por:

$$\gamma_{real} = \frac{M_s}{M_s - M_i} (g / cm^3) \quad (15)$$

3.2.7 Absorção por capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade foi realizado pela adaptação da ABNT NBR 9779 (1995), que prescreve ensaios para argamassa e concreto, uma vez que a ABNT não apresenta norma que contemple este experimento para gesso.

Foram confeccionados corpos-de-prova cilíndricos com diâmetro de 5cm por 10cm de altura, os quais, inicialmente, foram colocados para secar em estufa em temperatura de $(55 \pm 2) ^\circ\text{C}$, mesmo a norma estabelecendo a temperatura de $(105 \pm$

5)°C para argamassa e concreto. Essa medida de precaução foi adotada para que não houvesse acelerada perda de água, capaz de influir nos resultados a serem obtidos.

Para análise do ensaio, a ABNT NBR 9779 (1995) exige no mínimo três amostras. Na realização deste ensaio com o gesso foram utilizadas de três a cinco amostras para cada tipo de mistura. Só foram ensaiadas as amostras após a constância de massa, ou seja, após a mistura parar de perder umidade, para que houvesse um parâmetro de comparação, considerando as especificidades das misturas preparadas.

A execução desse ensaio é realizada imergindo parcialmente os corpos-de-prova de gesso em água, com uma temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$.

A base dos corpos-de-prova deve ser colocada sobre suportes, de modo a permitir a passagem da água. De acordo com a norma, a lâmina d'água deve ter altura de $(5 \pm 1)\text{mm}$, acima da base inferior dos CP's, tomando-se cuidado para não molhar outras superfícies das amostras, conforme ilustrado na figura 33.

Após 3 horas de contato dos CP's com a água, foram determinadas as massas dos corpos-de-prova. Repetiu-se esse procedimento depois de 6h, 24h, 48h e 72h do contato com a água, com o auxílio de uma balança digital com sensibilidade de 0,01g.



Figura 33: Corpos-de-prova sobre a lâmina d'água.

Para cada ensaio, foi calculada a absorção de água por capilaridade, conforme equação 16:

$$C = \frac{(A - B)}{S} \quad (16)$$

Onde:

C = Absorção de água por capilaridade, em g/cm²;

A = Massa do corpo-de-prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período especificado de tempo, em g;

B = massa do corpo-de-prova seco, assim que este atingir a temperatura de (23 ± 2°C), em g;

S = área da seção transversal, em cm².

Sendo os corpos-de-prova cilíndricos, com diâmetro de 5cm, a área da seção é 19,625 cm².

3.2.8 Resistência à compressão axial

De acordo com estudos apresentados no Manual...(2001), a resistência mecânica do gesso depende da quantidade de água utilizada no amassamento e da umidade presente no ambiente. Se o gesso, após a presa, for mantido em ambiente saturado, praticamente não endurece, pois os cristais formados são solúveis em água. Coutinho (2006) cita que, ao ar livre para uma umidade relativa média, a resistência do gesso pode duplicar entre o 1º e o 7º dia após o início da pega.

A importância desse ensaio, para este trabalho, está na necessidade de obtenção de parâmetros que indiquem os traços com melhor desempenho para a produção de componentes para a indústria da Construção Civil, tais como os painéis modulares de gesso, um dos objetivos deste estudo.

Esse ensaio foi desenvolvido por meio de uma analogia às especificações da ABNT NBR 7215 (1996) para o cimento Portland, por constituir-se num dos materiais mais tradicionais da indústria da construção no Brasil. A adaptação para o gesso foi

quanto ao uso de corpos-de-prova cilíndricos com diâmetro de 2 cm e 4 cm de altura.

Para esse ensaio foram moldados, no mínimo de 3 e até 6 corpos-de-prova para cada idade de ruptura e para cada traço, considerando a escassez de literatura científica a respeito do mesmo, sendo que a ABNT NBR 7215 (1996) determina que se ensaiem, no mínimo, três corpos-de-prova, para cada traço.

O ensaio consiste na aplicação de uma carga a uma velocidade controlada de (250 ± 50) N/min, utilizando-se assim, a máquina de ensaio EMIC, da linha DL30000 (Figura 34), com capacidade máxima de carga de 300kN, para rompimento de corpos-de-prova em diferentes idades, conforme ilustra a figura 35.



Figura 34: Máquina universal de ensaio utilizada.



Figura 35: Detalhe da máquina de ensaios, com uma amostra sendo comprimida.

3.2.9 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A caracterização microestrutural foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), equipamento da marca Philips, modelo XL 30 (figura 36), onde são colocadas as amostras para análise, conforme ilustra a figura 37.



Figura 36: Microscópio eletrônico de varredura utilizado.



Figura 37: Colocação das amostras para análise da MEV.

A MEV é uma ferramenta-padrão para inspeção e análise em diversas áreas de pesquisa, desde a área de materiais até a área biológica. Esses métodos são baseados fundamentalmente na interação da matéria com os elétrons incidentes e a emissão de ondas ou partículas (fótons, elétrons, íons, átomos, nêutrons) (BARBAROTO, DAMIANI & TATSH, 2002).

Esse tipo de microscópio possui três partes principais: uma coluna eletro-óptica que gera e colima o feixe eletrônico. Um sistema de vácuo incluindo a câmara onde fica a amostra. E a parte de detecção do sinal e o sistema de geração de imagem. Uma amostra submetida a um feixe de elétrons apresenta diversos tipos de sinais, propiciando a cada um deles um modo particular de operação.

No caso particular de uma MEV, o princípio de operação baseia-se fundamentalmente na quantificação dos elétrons secundários emitidos por uma amostra como resposta a uma excitação eletrônica incidente. Essa medida de elétrons secundários (ES) permite uma definição qualitativa da morfologia e topografia da amostra.

Existem modos diferentes para obtenção das imagens pela MEV.

No modo de elétrons secundários (ES), estes são retardados com uma tensão positiva e repelidos com uma tensão negativa aplicada à superfície da amostra, sendo influenciado pelo campo eletrostático criado entre as regiões com diferentes tensões. Esse efeito gera o contraste de tensão. Polarizando positivamente, as áreas aparecem escuras, e polarizando negativamente, claras. A influência do campo eletrostático é suprimida através da pré-aceleração dos ES em um campo de algumas centenas de volts por milímetro na superfície. O potencial local é medido com alta resolução por meio de um espectrômetro eletrônico. Isso possibilita uma importante aplicação na tecnologia de circuitos integrados. Devido à sua baixa energia de saída, os elétrons têm a trajetória afetada pela deformação do campo magnético causado pelas superfícies ferromagnéticas. Esse efeito possibilita um tipo de contraste magnético, devido à seleção angular.

Um dos modos mais importantes para obtenção das imagens é o de elétrons retroespalhados (*Backscattered Electrons* – BSE). O mais importante mecanismo de contraste desse modo de funcionamento é a dependência da reflexão com o número atômico médio do material. O coeficiente de reflexão depende também da orientação relativa dos elétrons do feixe incidente em relação aos planos cristalinos. Uma onda plana de elétrons, propagando em um cristal, mostra anomalias na transmissão ou na absorção, dependendo do ângulo de incidência. O resultado dessa anisotropia de orientação é a diferença causada no coeficiente de reflexão de 1 a 10 %. A variação na orientação dos grãos, em materiais policristalinos, permite a observação da orientação cristalina através do contraste de canalização (BARBAROTO, DAMIANI & TATSH, 2002). Como os sinais são gerados de partes mais profundas da amostra, é possível visualizar detalhes logo abaixo da superfície, não observáveis usando apenas elétrons secundários (KITAJIMA & LEITE, 1999).

Amostras não-metálicas, como insetos, plantas, cerâmica e gesso, devem ser revestidos com uma camada metálica, para se tornarem condutores, neste caso foram recobertas com uma fina camada de ouro. As amostras foram então coladas em suportes de alumínio para serem observadas ao microscópio eletrônico de varredura (figura 38). Foram utilizados aumentos de 100, 200, 1.000 e 5.000 vezes para caracterizar o gesso em pó e aumentos de 500, 1.000 e 5.000 vezes para caracterizar o gesso endurecido.

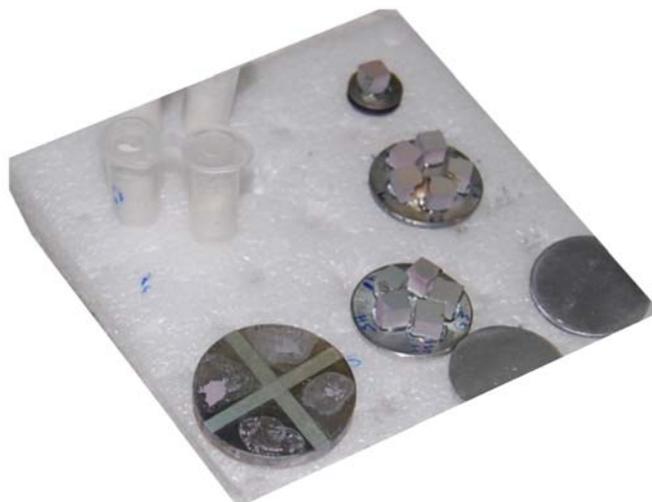


Figura 38: Amostras coladas em suportes de alumínio para serem observadas na MEV.

3.2.10 Avaliação da trabalhabilidade das misturas

Teve como objetivo o desenvolvimento de componentes, tais como, painéis e blocos modulares para a execução de alvenarias divisórias, internas e externas, e de placas para uso em piso elevado modular, como materiais alternativos aos que a indústria da construção civil tradicionalmente disponibiliza para o mercado.

Cabe esclarecer que, atualmente, a indústria disponibiliza painéis de gesso acartonado, fixados em montantes metálicos e blocos alveolares com espessuras de 7,0cm e 10,0cm. Para espessuras maiores, há necessidade de sobrepor duas ou três placas de gesso acartonado em cada face da alvenaria, fato que pode-se tornar inviável pelo aumento de custos.

Outro material já disponibilizado para o mercado são os blocos, que também apresentam espessuras de 7,0cm e de 10,0cm, podendo ser vazados ou maciços.

Dessa forma, tanto as espessuras das alvenarias de gesso acartonado quanto às de blocos, não favorecem o uso em reformas, por exemplo, para substituir alvenarias cerâmicas existentes, considerando que não haverá compatibilidade dessas espessuras com as larguras de peças estruturais de concreto, vigas e pilares, particularmente.

Assim, adotou-se tanto para os painéis quanto para os blocos para alvenaria a espessura nominal de 15,0cm, tendo sido utilizado no interior dos componentes

para painéis divisórias (alvenarias e laje de forro) garrafas PET (Politereftalato de etila) com capacidade de 2 litros, com suas respectivas tampas, convenientemente dispostas de modo a favorecer os aspectos de absorção e transmissão das tensões a eles aplicadas nas fases de produção, deforma, transporte e montagem.

O uso de garrafas PET, além de favorecer a redução no peso próprio dos painéis, contribui para o desenvolvimento sustentável, considerando que representa a utilização de um material que seria transformado em resíduo.

Essas condições atendem aos objetivos propostos neste trabalho, que consiste na produção de painéis ecologicamente corretos com custos e desempenhos competitivos aos convencionais existentes no mercado, situação essa que contribuirá com o aumento da demanda do material gesso pela indústria da construção civil.

Para a produção dos painéis de alvenaria foi confeccionada forma de madeira, com dimensões nominais de 2,80 metros (pé direito), 1,00 metro de largura, com espessura de 0,15 metros (figura 39). As peças de madeira foram convenientemente pregadas, travadas nos cantos e no centro e revestidas com lona plástica (figura 40) visando a facilitar a operação de deforma da peça produzida e conferir acabamento superficial compatível com o uso desejado.

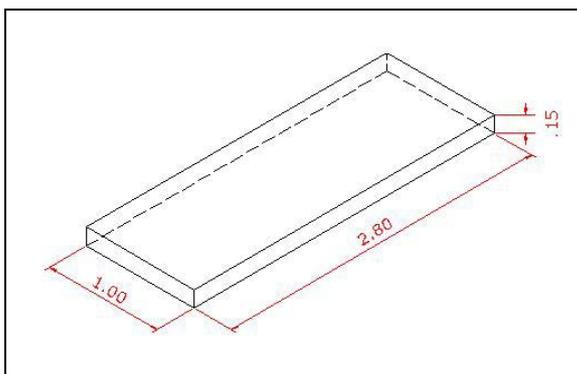


Figura 39: Esquema das dimensões da forma.



Figura 40: Forma forrada com lona plástica.

Para garantir o posicionamento das garrafas PET no interior do painel, as mesmas foram amarradas umas às outras, com utilização de arame galvanizado (com o objetivo de, caso não evite, pelo menos minore a ação deletéria do sulfato de cálcio – gesso – no material metálico). As garrafas foram dispostas nas laterais, perpendicularmente à altura do painel, e no centro, paralelas a essa lateral,

conforme pode ser visto na figura 41. Para conferir a espessura superficial de 20mm de gesso ao painel, posicionou-se de 5 a 7 pastilhas por metro quadrado de forma, produzidas com o próprio gesso.

As características de desempenho físico, mecânico e de durabilidade dos painéis, mesmo não tendo sido contemplado neste trabalho, merecem estudos, haja vista o desempenho dos mesmos nessa fase.

As instalações hidro-sanitárias (figura 42) e elétricas devem ser posicionadas, conforme projetos específicos, na fase de produção dos painéis, fato que proporcionará redução de re-trabalho e do volume de resíduos gerados no processo construtivo.



Figura 41: Vista das garrafas PET e dos tubos de PVC dispostos dentro da forma.



Figura 42: Vista dos tubos de PVC como parte da instalação hidráulica.

A pasta de gesso utilizada para a confecção do painel foi a do traço T_2 , que possui na sua composição 100% de gesso β : a/g 0,50 : 0,60% Glenium : 0,60% silicone, devido ao seu bom desempenho quanto à resistência à compressão e à absorção.

Para a preparação da pasta, o gesso beta foi adicionado à água de maneira gradativa, para evitar torrões e empelotamento. Em seguida foi feita a homogeneização dos componentes, através de um misturador elétrico de baixa rotação, conforme ilustrado na figura 43. Com o término da homogeneização, a mistura foi vazada na forma (figura 44) e vibrada, para um preenchimento uniforme da mesma.

Foram produzidos também blocos para alvenaria com dimensões nominais de 0,60m de comprimento por 0,45m de largura e espessura de 0,15m, adicionando-se

também, no seu interior, garrafas PET de 2 litros ou 2,5 litros, com o objetivo de reduzir o peso próprio dos mesmos, adequando-os ergonomicamente quando da execução da alvenaria em obra. As fôrmas utilizadas para sua produção apresentam características idênticas às dos painéis citados anteriormente. Para esses blocos foram realizados ensaios de resistência à compressão axial.



Figura 43: Fase de mistura dos componentes da pasta de gesso estudada.



Figura 44: Vazamento da pasta de gesso na forma.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão analisados, neste trabalho, além da granulometria dos gessos alfa e beta, a plasticidade da pasta através do *mini-slump* e o tempo de início e fim de pega no estado fresco, também a absorção por capilaridade e imersão, resistência à compressão e a MEV, no estado endurecido, para os aditivos e respectivos teores em cada mistura. O objetivo dos ensaios é verificar o efeito dos diferentes teores de adição, relação água/gesso e idade nas propriedades da mistura, e se tais diferenças encontradas são significativas para cada propriedade analisada.

4.1 Análise granulométrica

Com as massas obtidas nesse ensaio foi possível calcular o módulo de finura para o gesso alfa e beta, conforme apresentado na tabela 15.

O gesso alfa apresentou um módulo de finura praticamente 50% menor que o gesso beta, indicando que ele realmente é mais fino, conforme citado na literatura. A ABNT NBR 13207/1994 especifica que o módulo de finura para gesso fino para fundição seja menor que 1,10. Assim, tanto o gesso alfa quanto o gesso beta utilizados neste trabalho estão de acordo com o estabelecido em norma.

Tabela 15: Massas e módulo de finura do gesso alfa e beta obtidas durante o ensaio de granulometria.

	Gesso Alfa			Gesso Beta		
	Determinações da massa (g)		Média	Determinações da massa (g)		Média
	1ª Determ.	2ª Determ.		1ª Determ.	2ª Determ.	
Massa inicial	100,00	100,00		100,00	100,00	
Retido na peneira 0,84mm	0,08	0,08	0,08	0,00	0,00	0,00
Retido na peneira 0,42mm	0,11	0,12	0,115	5,09	4,92	5,005
Retido na peneira 0,210mm	0,20	0,18	0,19	0,69	0,62	0,655
Massa inicial	50,00	50,00		50,00	50,00	
Retido na peneira 0,105mm	17,12	16,47	16,795	30,48	31,15	30,815
Fundo	32,16	32,98	32,57	19,33	18,52	18,925
Módulo de Finura (MF)			0,34			0,67

4.2 *Mini-slump*

Os resultados obtidos com o ensaio de *mini-slump* são importantes para o presente trabalho, pois, além de verificar a compatibilidade dos polímeros com o gesso, permitiu, a partir dos valores obtidos, descartar aquelas misturas que não apresentaram a plasticidade e o tempo de pega compatíveis para a produção de painéis de gesso modulares. As composições, conforme apresentadas na tabela 14, apresentam os respectivos abatimentos expressos na tabela 16.

Tabela 16: Resultados obtidos pelo ensaio de *mini-slump*.

TRAÇOS	MINI – SLUMP (cm)		
	1ª Determinação	2ª Determinação	Média
A	8,40	7,80	8,10
B	7,80	8,70	8,25
C	8,20	8,80	8,50
D	9,40	10,00	9,70
E ₁	7,60	7,40	7,50
E ₄	16,10	15,85	15,98
F ₁	6,20	6,05	6,13
F ₂	6,60	6,70	6,65
F ₄	14,00	13,80	13,90
F ₆	18,00	17,60	17,80
G ₅	12,00	8,20	10,10
G ₇	17,25	17,50	17,37
H ₅	5,00	4,50	4,75
I ₅	15,10	16,90	16,00
L	5,00	5,20	5,10
M	5,05	4,40	4,72
N	5,55	5,25	5,40
O	8,70	8,28	8,49
P	15,20	14,90	15,05
Q	15,40	15,90	15,65
T ₂	13,00	13,40	13,20

De acordo com Sindusgesso (2006), o espalhamento da pasta com gesso alfa varia de 0 a 7cm, e a consistência normal para o gesso beta é de 7,50cm. Para este trabalho, essa fluidez não é suficiente para lançar e moldar adequadamente um artefato de gesso. Por isso, determinou-se que o mínimo espalhamento para este estudo é de 10cm, sendo este, então, o limite de boa trabalhabilidade.

Como pode ser visto no gráfico 3, com dados dos traços brancos A, B, C e M, aumentando a relação água/gesso, a fluidez da pasta também aumenta.

Mantendo a relação água/gesso de 0,70 e aumentando a quantidade de gesso alfa adicionada à pasta, verifica-se que existe uma quantidade ótima, 5%, que fornece a maior fluidez, conforme ilustrado no gráfico 4. Acima de 5% de gesso alfa, o valor do *mini-slump* é reduzido. Já para a relação água/gesso de 0,60, a fluidez aumenta à medida que se acrescenta mais gesso alfa na composição.

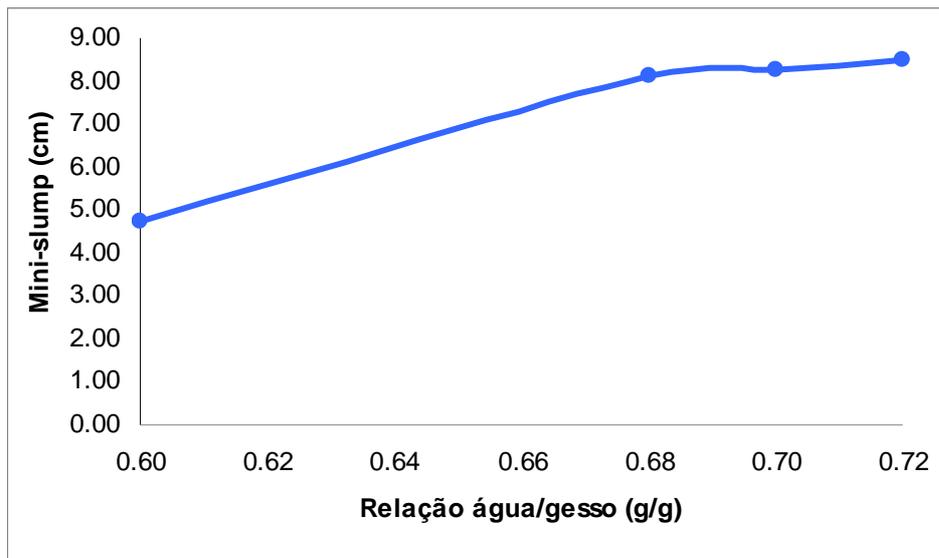


Gráfico 3: Variação da taxa de escoamento (*mini-slump*) em função da relação água/gesso.

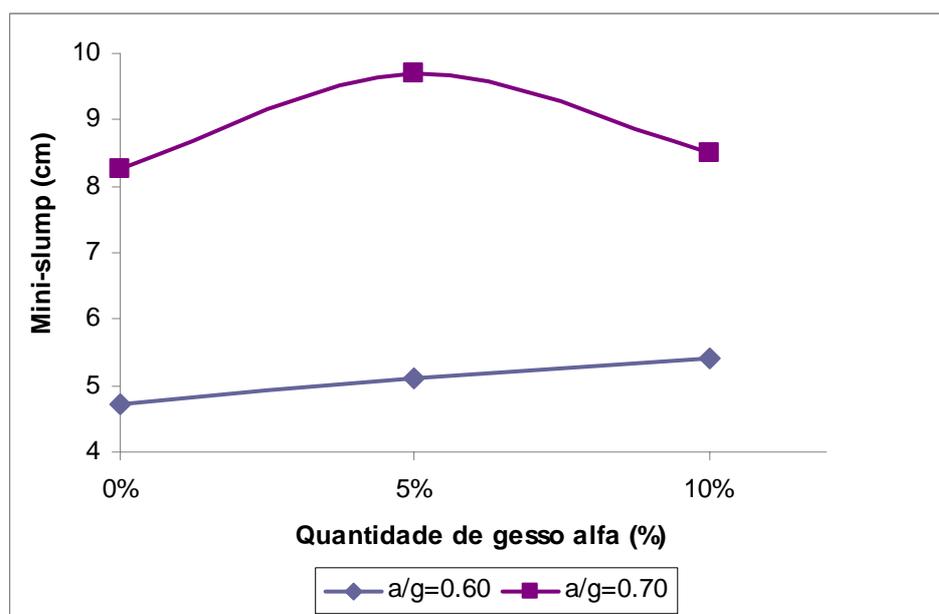


Gráfico 4: Variação da taxa de escoamento (*mini-slump*) em função da quantidade de gesso alfa na pasta.

Analisando o gráfico 5, nota-se que houve uma queda no *mini-slump* tanto para as misturas com Imperwall quanto para as misturas com Masterfix, na relação a/g de 0,70. Adicionando 5% ou 10% destes aditivos na mistura, ocorreu uma redução na fluidez da pasta, se comparado com o traço branco. A partir desse ponto, a fluidez começa a aumentar, mas não proporcionalmente à quantidade de aditivo adicionado à mistura.

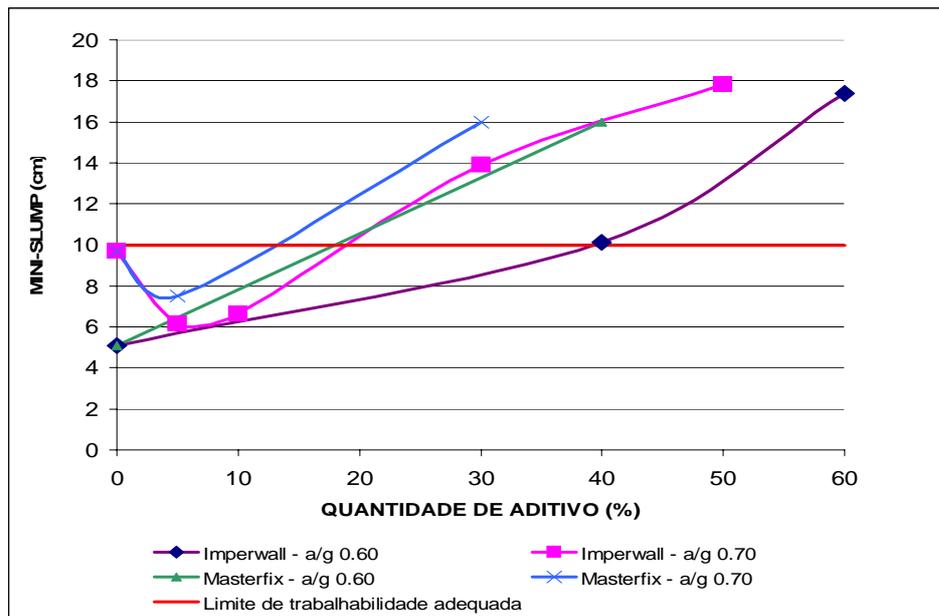


Gráfico 5: Variação da taxa de escoamento (*mini-slump*) nas pastas com Imperwall e Masterfix.

Tomando como limite de trabalhabilidade, adequada para este trabalho, um valor de *mini-slump* maior que 10 cm, as misturas D, L, E₁, F₁, F₂, não são adequadas para a confecção de artefatos de gesso, conforme objetivo deste trabalho.

Ainda observando o gráfico 5, nota-se que as composições com relação a/g de 0,60 não apresentaram uma queda no *mini-slump* em relação ao traço branco de análise. Com 40% de Imperwall, a mistura G₅ apresentou um *mini-slump* de 10,1 cm, enquanto que a mistura I₅, com adição de Masterfix na mesma quantidade, apresentou um *mini-slump* de 16 cm. Esses dados mostram a eficácia do produto Masterfix em relação à trabalhabilidade da pasta, se comparado com o Imperwall. O aumento da fluidez é uma das condições indicativas da compatibilidade dos polímeros com o aglomerante gesso.

Para reduzir a quantidade de água na pasta, diminuindo a relação a/g de 0,70 para 0,60, sem alterar a fluidez da mesma, foi necessário aumentar 10% de Imperwall na mistura, passando de 50% para 60% a quantidade do produto, conforme ilustrado no gráfico 6.

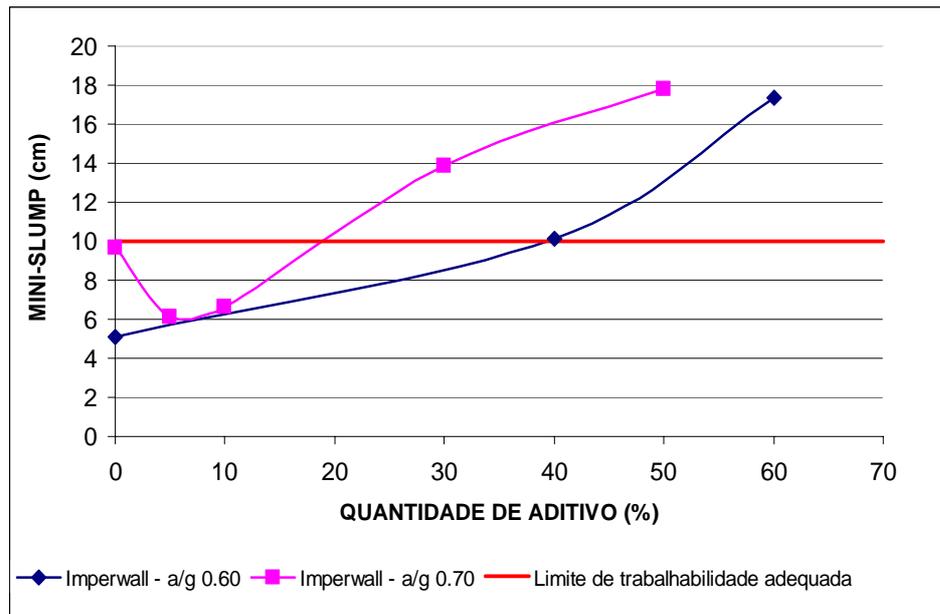


Gráfico 6: Comparação da taxa de escoamento (*mini-slump*) nas pastas com Imperwall na relação a/g de 0,60 e 0,70.

No caso do Masterfix, para reduzir a relação a/g para 0,60, mantendo a mesma fluidez, foi necessário aumentar de 30% para 40% a adição do produto na pasta, conforme gráfico 7.

Essa redução é de grande importância para o presente trabalho, pois um dos fatores que interferem na porosidade do material endurecido é a quantidade de água de amassamento. Quanto maior a relação a/g, maior a porosidade do material.

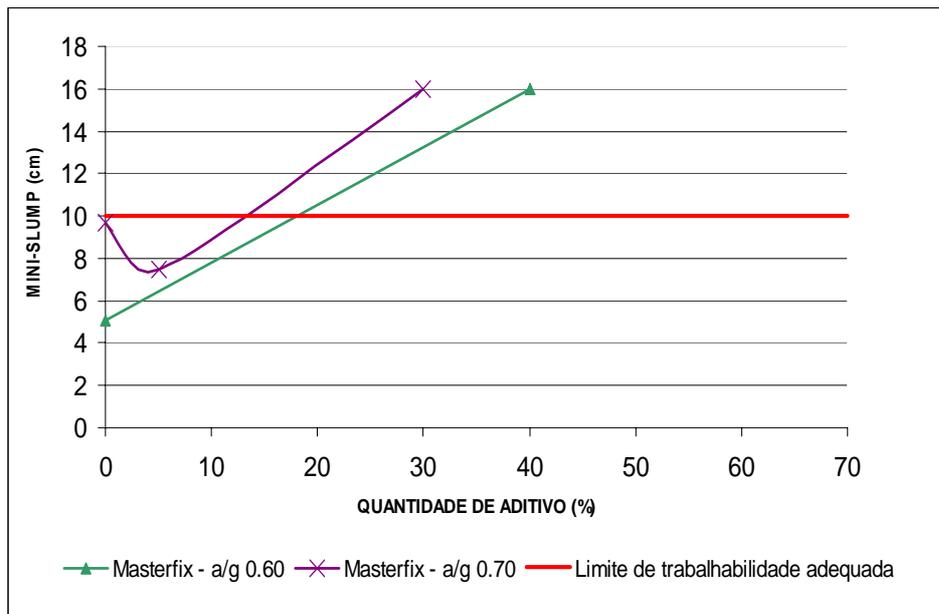


Gráfico 7: Comparação da taxa de escoamento (*mini-slump*) nas pastas com Masterfix na relação a/g de 0,60 e 0,70.

No traço P (com silicone), constata-se que o valor médio do abatimento obtido pelo ensaio de *mini-slump* é aproximadamente 80% maior do obtido no traço B (sem aditivos), sendo que ambos foram confeccionados com a relação a/g de 0,70, mostrando a compatibilidade do polímero com o gesso, dado pelo aumento da plasticidade da pasta.

A adição de Glenium favoreceu a redução da relação água/gesso para 0,50 no traço T₂. Sem esse aditivo, foi impossível moldar CP's na relação a/g de 0,50, enquanto que com a adição do polímero, mesmo com redução em torno de 28% da relação água/gesso, a pasta adquiriu trabalhabilidade adequada tanto para a moldagem dos CP's quanto para a produção dos painéis, compatível com o objetivo de conferir aos produtos à base de gesso, maior impermeabilidade.

4.3 Tempos de início e fim de pega

Conforme visto no item 2.3.2, os tempos de início e fim de pega são relacionados com a velocidade de crescimento dos cristais de gesso, ou seja, com o processo de hidratação do gesso, e têm uma influência importante nas propriedades mecânicas.

Em virtude da quantidade de composições e ensaios realizados e visando a focar a pesquisa aos objetivos propostos, os tempos de desforma (retirada do molde), início e fim de pega serviram como parâmetro de seleção das misturas que apresentaram indicativos em atender a plasticidade requerida ao uso pretendido e, para os traços brancos, tomados como base de referência. Esses tempos estão apresentados na tabela 17.

Tabela 17: Tempos de desforma, início e fim de pega.

Traço	Desforma	Início de pega	Fim de pega
B	24min a 26min	25min a 27min	32min a 35min
D	4min	5min30s a 6min30s	11min30s a 12s
E ₁	5min15s	8min30s a 9min30s	17min a 18min
E ₄	8min30s a 9min30s	13min30s a 14min	19min30s a 20min30s
E ₆	10min30s	13min30s a 14min	20min30s a 21min
G ₅	19min20s	26min a 27min	32min a 33min
I ₅	11min12s	16min a 17min	19min30s a 20min
L	5min30s a 6min30s	7min a 7min30s	14min a 15min
P	22min a 24min	25min a 30min	35min a 40min
Q	45min a 48min	48min a 50min	55min a 59min
T ₂	42min a 44min	45min a 50min	55min a 60min

De acordo com Sindusgesso (2006), o tempo de pega inicial para o gesso tipo alfa é de 3 a 7 minutos, e o tempo de pega final é de 5 a 13 minutos. Já para o gesso beta, o tempo de início de pega é de 8 a 12 minutos, enquanto que o tempo de fim de pega é de 16 a 25 minutos.

A ABNT NBR 13207/1994 estabelece que o tempo de início de pega do gesso para fundição seja em torno de 4 a 10 minutos, e o tempo de fim de pega seja entre 20 e 45 minutos.

O traço branco de análise confeccionado somente com gesso beta, mistura “B”, apresentou um tempo de início de pega maior do que o estabelecido em norma. Entretanto, o tempo de fim de pega esteve dentro do intervalo determinado pela ABNT NBR 13207/1994.

Sendo um dos objetivos deste trabalho ampliar o tempo de início e fim de pega das misturas, a fim de proporcionar um tempo maior para a trabalhabilidade da pasta, os valores apresentados na literatura servem como um parâmetro para este estudo.

Conforme Hincapié & Cincotto (1997), quando a velocidade de crescimento é rápida, formam-se cristais bem definidos e em forma de agulha, entrelaçados entre si; quando o crescimento é lento, há formação de cristais arredondados e espessos, que favorecem a queda nas propriedades mecânicas. Entretanto, também há formação de cristais pequenos que ajudam a preencher os vazios e, conseqüentemente, diminuem a porosidade da estrutura.

Baseando-se nessas informações, os traços G₅, P, Q e T₂ tendem a formar cristais com maiores espessuras e, portanto, ter reduzidas suas propriedades mecânicas. Por outro lado, tendem a formar estruturas menos porosas.

Essas afirmações podem ser comprovadas através dos ensaios de resistência à compressão e absorção, analisados nos itens 4.5, 4.6 e 4.7. Analisando o traço branco D, com as composições com adição de Masterfix (E₁, E₄ e E₆), verifica-se que o aumento da quantidade de aditivo na pasta provoca uma menor velocidade de hidratação, aumentando assim o tempo de pega e, conseqüentemente, ampliando o tempo de trabalho da pasta. Ao diminuir a relação água/gesso de 0,70 para 0,60 (traço I₅), mesmo diminuindo a quantidade de aditivo se comparado com o traço E₆, o momento do início de ganho de viscosidade da pasta aumenta, enquanto que o tempo de endurecimento das pastas se mantém praticamente o mesmo. Aparentemente, além de evidenciar a influência da quantidade de água de amassamento na mistura no processo de hidratação do gesso, indica a compatibilidade do aditivo com o gesso.

O silicone (traço P) tem grande influência no tempo de hidratação do gesso, aumentando o tempo de início e fim de pega da pasta, enquanto que a combinação do silicone e do Glenium proporciona uma velocidade de hidratação do gesso ainda maior, como pode ser verificado no traço T₂.

4.4 Determinação da massa em relação à idade do corpo-de-prova

A obtenção dessas massas para o projeto é importante, pois a aplicação de algum filme de impermeabilização nas placas de gesso só deve ser executada após a constância da massa, ou seja, após a mistura perder toda água. Caso o filme de impermeabilização seja aplicado em idade inferior, a pressão negativa poderá vir a comprometer a sua eficácia ou reduzir sua vida útil. Verificou-se, através desse ensaio, que a variação da massa no intervalo de 35 dias de idade aos 42 dias de idade foi desprezível, ou seja, o gesso já havia perdido toda sua água de amassamento.

Os valores médios das massas obtidas em relação com as idades dos CP's são apresentados na tabela 18, juntamente com a redução total da massa após 28 dias de idade. As massas individuais para cada traço encontram-se no ANEXO A.

Tabela 18: Valores médios das massas dos CP's em função da idade.

TRAÇOS	IDADE / MASSA (gramas)					REDUÇÃO TOTAL (%)
	0	7	14	21	28	
A	19,43	14,16	14,84	14,06	13,70	29,49
B	18,72	17,70	17,09	13,91	13,45	28,15
C	18,95	18,20	16,63	13,47	13,14	30,66
D	19,30	18,52	17,85	14,53	13,52	29,95
E ₄	19,42	16,34	14,32	14,07	14,09	27,45
G ₅	20,01	15,84	15,95	15,90	15,86	20,74
I ₅	20,17	15,49	15,48	15,48	15,47	23,30
L	19,83	16,29	14,50	14,53	14,50	26,88
P	18,67	15,75	13,41	13,41	13,39	28,28
T ₂	20,95	18,85	16,67	16,65	16,65	20,52

A redução média da massa verificada nos corpos-de-prova, até os 28 dias, foi da ordem de 30% para os traços A, C e D, enquanto que para os traços B, E₄, L e P essa variação ficou entre 26,5% e 28,5%. Os traços G₅ e T₂ apresentaram as menores taxas de redução de massa, em torno de 20%, o que, aparentemente, representa menor porosidade. Entretanto, após o ensaio de absorção, verificou-se que somente a mistura T₂ obteve uma redução na absorção de água.

Comparando os traços brancos D e L, tendo o primeiro uma relação água/gesso de 0,60 e o segundo a relação a/g de 0,70, verifica-se que a redução de 15% na relação a/g, proporciona uma redução da massa cerca de 3%, o que tende a confirmar a teoria de que quanto maior a relação água/gesso, mais poroso fica o gesso após seu endurecimento final.

4.5 Absorção por imersão

Os ensaios de absorção por imersão realizados em corpos-de-prova das misturas L e G₈ possibilitaram analisar dois opostos: a ausência de aditivos e a presença de 70% do mesmo, em relação à quantidade de água da pasta. Nessas condições, pôde-se verificar a efetiva influência do Imperwall quanto à absorção de água por imersão.

Realizou-se, então, o ensaio com o branco de análise B que possui a mesma relação a/g que P (0,70), com o traço T₂ que possui relação a/g reduzida (0,50), e com os traços G₅ e I₅ para comparar o desempenho dos aditivos Masterfix e Imperwall.

Para calcular os índices de vazios, absorção e massa específica foram utilizadas as equações apresentadas no capítulo 3, item 3.2.6, a partir das massas obtidas, apresentadas no ANEXO B, conforme determinado na ABNT NBR 9778 (1987). Os valores médios encontrados para cada traço estão apresentados nas tabelas 19 e 20.

Tabela 19: Taxas de absorção e índice de vazios médios obtidos durante ensaio de absorção por imersão.

Traços	Absorção após imersão (%)	Absorção após imersão e fervura (%)	Índice de vazios após saturação (%)	Índice de vazios após saturação e fervura (%)
B	36,42	37,15	40,51	43,27
G₅	33,62	37,78	39,75	45,00
G₈	22,75	26,70	31,00	36,43
I₅	30,84	34,07	37,91	42,30
L	33,71	33,47	39,53	40,12
P	8,98	35,94	9,90	41,56
T₂	7,14	25,32	9,51	34,30

Tabela 20: Valores de massa específica obtidos durante ensaio de absorção por imersão.

Traços	Massa específica da amostra seca (g/cm ³)	Massa específica após saturação (g/cm ³)	Massa específica após saturação e fervura (g/cm ³)	Massa específica real (g/cm ³)
B	1,10	1,51	1,51	1,87
G₅	1,13	1,51	1,55	1,96
G₈	1,29	1,59	1,64	1,97
I₅	1,18	1,55	1,59	1,98
L	1,18	1,57	1,57	1,94
P	0,86	0,93	1,16	1,23
T₂	1,07	1,15	1,34	1,47

Ao comparar os produtos comerciais Masterfix (traço I₅) e Imperwall (traço G₅), os dados indicam que o traço I₅ obteve uma taxa de absorção após imersão de 30,84%, enquanto que o traço G₅ obteve uma taxa de 33,62%, conforme apresenta a tabela 19. Estes dados indicam um melhor desempenho do Masterfix, em relação à absorção, do que os corpos-de-prova com Imperwall.

É perceptível também, pela tabela 19, que os traços sem aditivos (B e L) e o com 40% de Imperwall (G₅) não apresentaram diferença significativa na absorção.

Já o traço G₈, que contém 70% de Imperwall, obteve o melhor desempenho, absorvendo em torno de 30% menos de água, mostrando que o Imperwall, se colocado em pequenas porcentagens em relação à massa de água, não provoca melhoria na impermeabilidade da pasta.

Com a adição de silicone (traço P), a taxa de absorção por imersão declinou cerca de 75% se comparado com o branco de análise (traço B). Além disso, a massa específica real foi de 1,23 g/cm³, enquanto que nos traços com Imperwall e Masterfix, ela ficou em torno de 1,97 g/cm³, conforme visto na tabela 20. A adição de Glenium (traço T₂) resultou em uma queda ainda maior da taxa de absorção, se apresentando como o traço com menor absorção de água, tanto para imersão (7,14%), quanto para fervura (25,32%), além do menor índice de vazios dentre todos os traços estudados (tabela 19).

Conforme observado no item 4.4 a respeito da variação da massa com a idade do corpo-de-prova, o traço G₅ apresentou menor redução da massa (20%), indicando assim, num primeiro momento, menor porosidade. Entretanto, comparando esse traço com seu branco de análise (L), verificou-se que a taxa de absorção após imersão reduziu menos que 1%, mostrando que a diferença entre as taxas de variação da massa precisam ser bem maiores para proporcionar uma melhoria na impermeabilidade do CP.

Pôde-se verificar, ainda, que a absorção dos corpos-de-prova, quando submetidos à fervura, aumentou. Nesse caso, a fervura causou uma decomposição dos sólidos presentes no aditivo da mistura. A taxa de absorção, após fervura, aumentou em torno de 10 a 15% nos traços com Masterfix e Imperwall, e praticamente quadruplicou nos traços com adição de silicone e Glenium, o que não ocorreu para o traço branco L, conforme tabela 19.

O mesmo pode-se observar com o índice de vazios, conforme visualizado no gráfico 8.

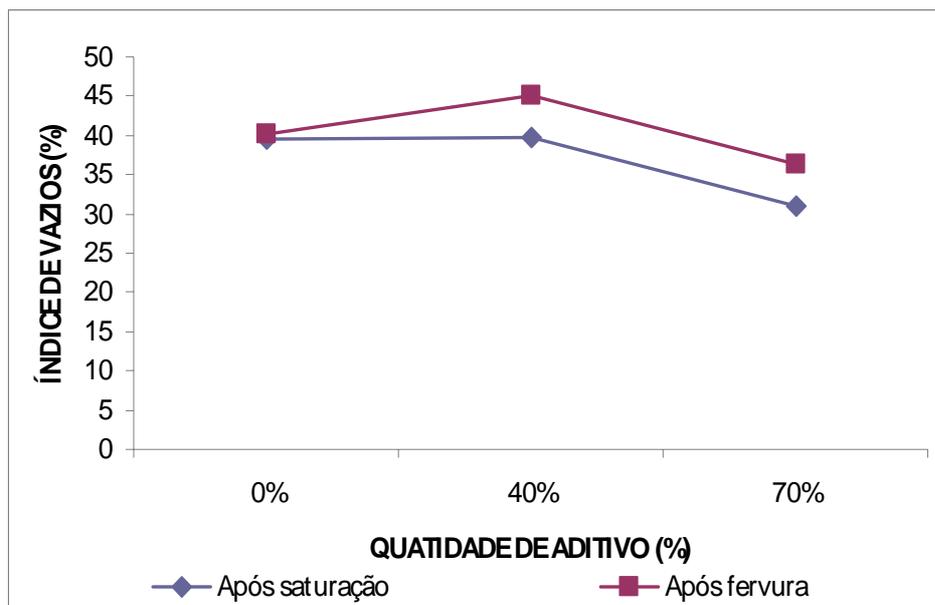


Gráfico 8: Índices de vazios após saturação e fervura dos traços L, G₅ e G₈.

Ao realizar uma inspeção visual e física na superfície dos corpos-de-prova após imersão em água fervente, verificou-se que a superfície dos CP's confeccionados sem aditivos (traço L) permaneceu na cor branca, característica do gesso, enquanto que a superfície dos CP's com Imperwall (G₅) e Masterfix (I₅) apresentou-se com uma fina película de cor amarelada, que pôde ser removida com a utilização de uma espátula, predominando novamente a cor branca característica do gesso, conforme ilustrado na figura 45.

Além disso, a fervura ressaltou os poros da superfície dos CP's tornando-os visíveis a olho nu. Entretanto, constatou-se que os poros superficiais não apresentam relação com a taxa de absorção do material. O traço P, por exemplo, conforme ilustrado na figura 46, foi o CP que apresentou maior quantidade de poros na superfície, se comparado com os CP's de traços B e L. Entretanto, o traço B foi o que apresentou maior taxa de absorção após imersão e fervura.



Figura 45: Aspecto da superfície das amostras sem aditivo (grupo L) e aditivadas (grupos G₅ e I₅), após fervura.



Figura 46: Aspecto da superfície dos corpos-de-prova traços P, B e L, após fervura.

Comparando os dados obtidos com as informações presentes na literatura, pôde-se verificar que, em todas as misturas, a taxa de absorção foi menor que 50%, valor apresentado por Li; Li & Yu (2006) para produtos em gesso natural.

A taxa de absorção máxima, tanto para placas de gesso acartonado resistentes à umidade, quanto para os blocos de gesso sem função estrutural tipo H (hidrófugo), é de 5% (ABNT NBR 14715, 2001; GYPSUM ASSOCIATION, 2005; BLOCO..., 2007).

Baseando-se nesse valor, nota-se que as misturas P e T₂ resultaram em uma taxa de absorção em torno de 3% acima deste limite, uma variação pequena, levando em conta que a comparação está sendo feita entre materiais diferentes e que foram submetidos a métodos de ensaios diferentes.

4.6 Absorção por capilaridade

Para esse ensaio, foram obtidas as massas dos CP's depois de 3 horas de contato com a água, e sucessivamente, 6, 24, 48 e 72 horas de contato com a água. Essas massas estão apresentadas no ANEXO C. A partir desses valores, foi possível calcular a taxa de absorção por capilaridade (Tabela 21), utilizando a equação (16) do item 3.2.7 do capítulo 3.

Tabela 21: Valores obtidos durante ensaio de absorção por capilaridade.

Traços	Absorção média por capilaridade após período de contato com a água				
	Após 3 horas (g/cm ²)	Após 6 horas (g/cm ²)	Após 24 horas (g/cm ²)	Após 48 horas (g/cm ²)	Após 72 horas (g/cm ²)
B	4,49	4,50	4,53	4,58	4,61
G₅	2,44	3,83	3,87	3,90	3,93
I₅	1,49	3,78	3,83	3,86	3,89
L	4,01	4,11	4,16	4,21	4,24
P	0,10	0,14	0,27	0,36	0,42
T₂	0,08	0,14	0,37	0,54	0,64

No gráfico 9, nota-se que a maior absorção de água por capilaridade ocorreu de forma acentuada nas 6 primeiras horas nas misturas com Imperwall e Masterfix. Os traços brancos (B e L) mostraram-se praticamente saturados nas primeiras 3 horas, enquanto que os traços P e T₂, que contêm silicone, apresentaram uma baixa taxa de absorção durante todo o ensaio. A presença do silicone (traço P) reduziu a taxa de absorção em 90%, ao se comparar com o traço B (branco).

Essa observação é importante, pois descarta a possibilidade de fabricação dos painéis de gesso com as misturas B e L para utilização como vedação externa. No caso de incidência de água de chuva, por exemplo, com menos que 6 horas de duração, o painel de gesso praticamente ficaria saturado, podendo perder suas propriedades iniciais, acarretando problemas na vedação.

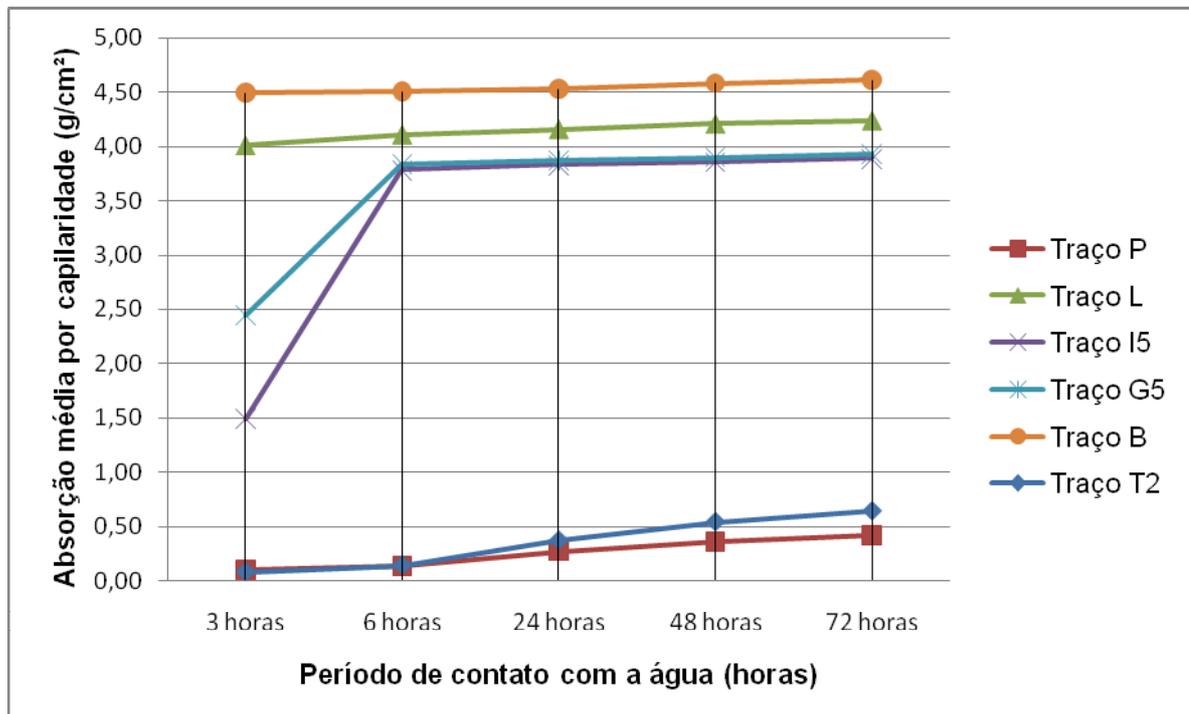


Gráfico 9: Variação da quantidade de água absorvida por capilaridade em função do tempo.

4.7 Resistência à compressão axial

O programa computacional TESC, existente junto à máquina universal de ensaios EMIC DL 30000, fornece os relatórios dos diversos ensaios, inclusive o de

resistência à compressão axial, incluindo neste relatório um gráfico “Força X Tempo”. Esses relatórios estão presentes no ANEXO D.

Inicialmente, na tabela 22, são apresentadas as tensões de compressão médias em função da idade dos CP's. Não foram feitos ensaios com todas as misturas, pois algumas foram descartadas após a determinação do *mini-slump* por não apresentarem trabalhabilidade suficiente para este trabalho. Só foram feitos ensaios para todas as idades em algumas misturas para acompanhar a evolução do processo de endurecimento.

Teve como prioridade obter a resistência à compressão aos 63 dias de idade, pois, de acordo com Coutinho (2006), o gesso continua a endurecer em um processo que pode durar semanas. Assim, nessa idade, é obtido o valor máximo de resistência ou um valor próximo a ele.

Tabela 22: Valores obtidos durante ensaio de resistência à compressão em diversas idades.

Traços	Idade / Tensão média de compressão (MPa)					
	1 dia	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	63 dias
A	-	-	-	-	-	9,02
B	10,33	9,60	8,83	10,31	9,85	6,72
C	-	-	-	-	-	8,10
D	-	-	-	-	-	8,67
E₁	-	-	-	-	-	7,07
F₁	-	-	-	-	-	7,55
G₅	-	3,65	-	-	7,50	10,92
I₅	3,17	6,15	-	-	-	10,49
L	-	4,40	-	-	10,57	9,21
P	5,54	10,55	10,39	9,94	10,12	8,83
T₂	7,71	19,60	17,84	18,72	18,07	16,07

Algumas misturas, como por exemplo, os traços B, L, P e T₂, apresentaram uma tensão média aos 63 dias, menor que a resistência aos 28 dias. Provavelmente

isso aconteceu devido a possíveis anomalias ocorridas nas fases de preparo da mistura e/ou na moldagem e/ou quando do rompimento.

Deve-se ressaltar que não é possível criar resistência no material, mas por falha de moldagem ou na cura, é possível reduzir a resistência característica, o que deve ter acontecido nestes casos. A resistência aos 63 dias foi reduzida por algum desses motivos citados, por isso, para efeito de comparação, será considerado como tensão máxima a maior tensão de ruptura entre as idades de 28 e 63 dias.

De acordo com Hincapie & Cincotto (1997), a relação do tempo de presa ou tempo de pega com as propriedades mecânicas do material são de extrema importância. O aumento no tempo de pega proporciona uma redução nas propriedades mecânicas do gesso. Isso pode ser verificado no gráfico 10.

A mistura G_5 , que apresentou as menores tensões de compressão, também é a que apresenta maior tempo de pega se comparado com I_5 e L. A mistura L teve um baixo tempo de pega, implicando, teoricamente, que teria que apresentar as maiores resistências à compressão. Isso ocorreu na idade de 63 dias, no entanto, com 7 dias, o valor da resistência do traço L foi menor que o valor do traço I_5 . Provelmente algum fator como a temperatura, umidade ou mesmo a forma de moldagem do corpo-de-prova influenciou negativamente na resistência aos 7 dias do traço L, provocando uma redução na sua resistência.

É importante notar que as tensões obtidas com 63 dias de idade duplicaram em relação aos valores obtidos com idade de 7 dias, para as misturas L, I_5 e G_5 .

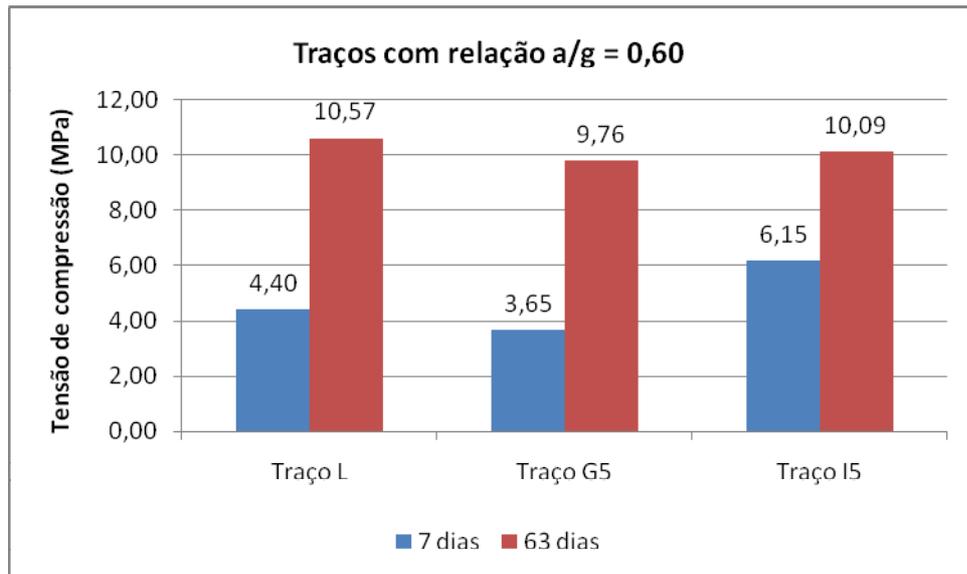


Gráfico 10: Comparação das tensões de compressão entre os traços com relação a/g de 0,60, nas 2 idades estudadas.

Ao analisar as tensões de compressão dos traços B e P (gráfico 11), nota-se que a presença do silicone reduziu pela metade a resistência inicial da pasta, e não alterou a resistência final da mistura, permanecendo praticamente igual à do traço branco. Esse fato indica que o silicone inibe a velocidade inicial das reações, resultando em menor calor de hidratação e, conseqüentemente, menor variação de volume.

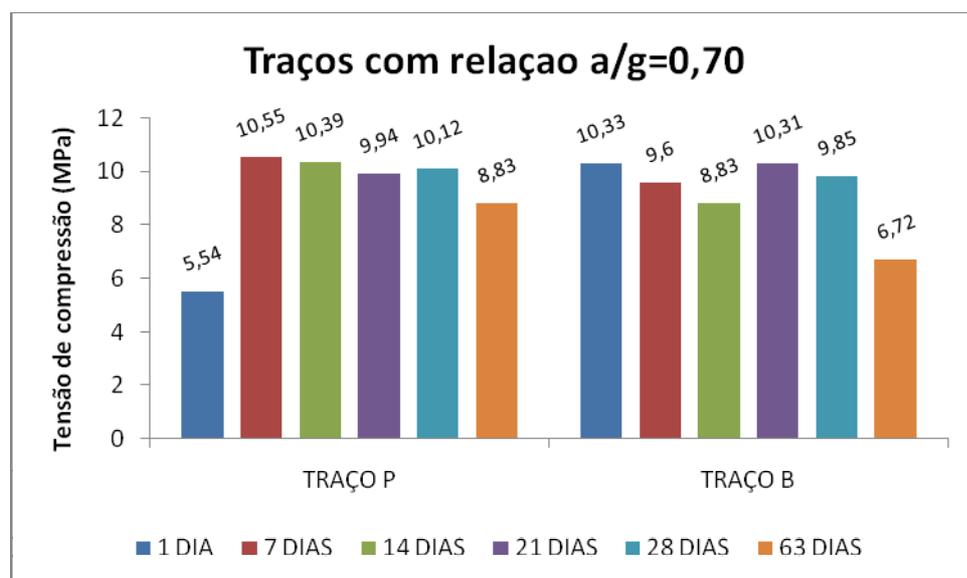


Gráfico 11: Comparação das tensões de compressão entre os traços com relação a/g de 0,70, nas 6 idades estudadas.

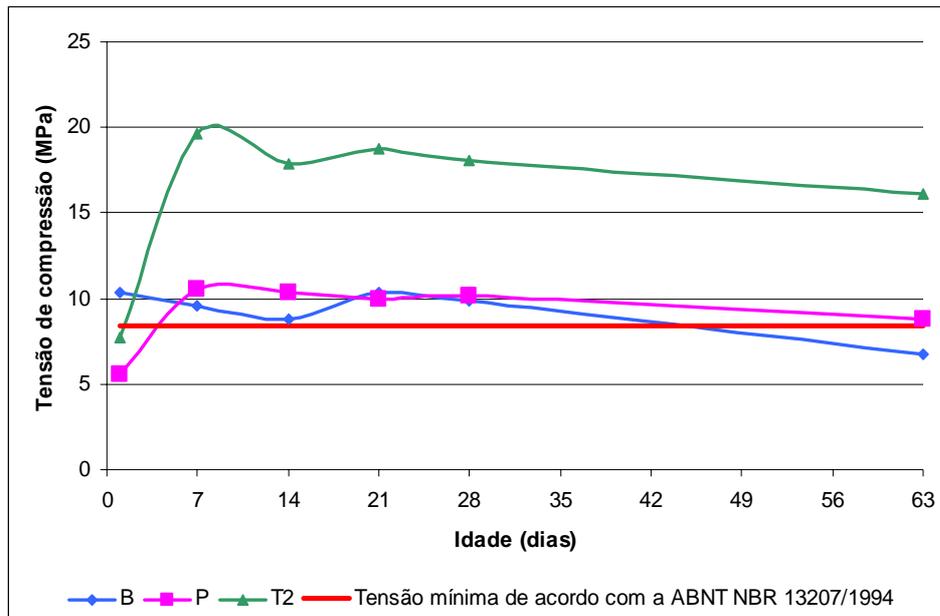


Gráfico 12: Variação das tensões de compressão médias dos traços B, P e T_2 com a idade.

Analisando as misturas B, P e T_2 (gráfico 12), nota-se que a resistência à compressão de T_2 a partir dos 7 dias de idade, é em torno de 80% maior que a resistência de P e B. Isso pode ser explicado pela diferença na relação água/gesso, que foi reduzida de 0,70 (P e B) para 0,50 (T_2), diminuindo assim a porosidade do material e, conseqüentemente, aumentando a sua resistência. Além disso, pode-se notar que as máximas resistências obtidas nas misturas B, P e T_2 estão acima de 8,40 MPa, valor mínimo de resistência à compressão do gesso para construção civil de acordo com a NBR 13207/1994.

Analisando as tensões médias aos 63 dias de idade (gráfico 13), pode-se verificar com as misturas B e D, que foram moldados com a mesma relação água/gesso, com adição de 5% de gesso α no traço D, que resultou em um aumento na sua resistência à compressão axial, de aproximadamente 20%.

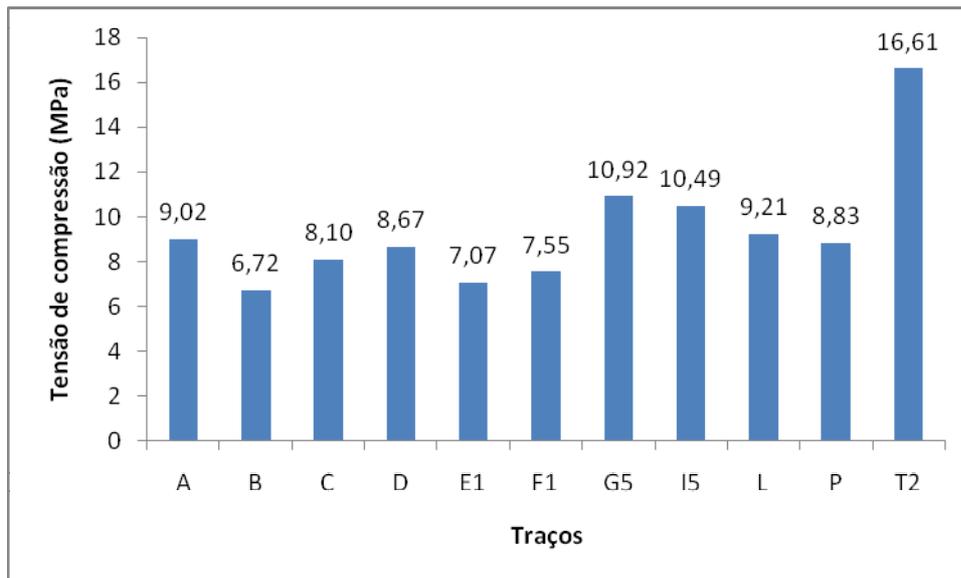


Gráfico 13: Resistência à compressão média aos 63 dias (MPa).

Com a adição de 5% de aditivo nas misturas, tanto para Masterfix quanto para o Imperwall, houve uma redução na resistência à compressão. Os CP's com a presença de Masterfix (traço E₁) apresentaram uma redução média na resistência à compressão de 22%, enquanto que os CP's com Imperwall (F₁) apresentaram uma redução menor, em torno de 15%.

Alguns autores, como Cincotto *et al* (1988), apresentaram alguns valores de resistência à compressão para gesso de construção brasileiro. Para uma relação a/g entre 0,65 a 0,45, os valores de resistência à compressão variam no intervalo de 9,93 MPa e 27,29 MPa. Entretanto, os autores não especificam a idade em que foram obtidos esses valores de resistência, sendo difícil, então, tomá-los como base de comparação.

Bloco...(2007) cita que a resistência mínima para os blocos de gesso sem função estrutural é de 5 MPa. Comparando, então, esse valor com as resistências obtidas neste trabalho, nota-se que, já aos 14 dias, todas as misturas confeccionadas apresentaram um valor de resistência acima deste citado na literatura.

4.8 Microscopia eletrônica de varredura

Com a realização dos ensaios de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi possível observar a morfologia da microestrutura das diferentes misturas de gesso.

Ao observar o pó de gesso, notou-se que o gesso alfa apresenta uma morfologia cúbica com pequena dispersão de tamanhos em torno da média, enquanto que o gesso beta apresenta aglomerados de grãos aciculares (em forma de agulha), com grande dispersão de tamanhos, conforme pode-se visualizar nas figuras 47 e 48. A menor dispersão de tamanhos visualizada no gesso alfa faz que com que a interação dos grãos seja melhor.

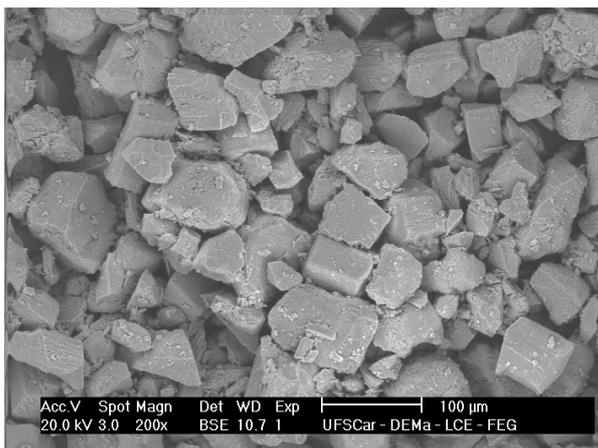


Figura 47: Fotomicrografia da amostra do pó de gesso alfa, com aumento linear de 200 vezes.

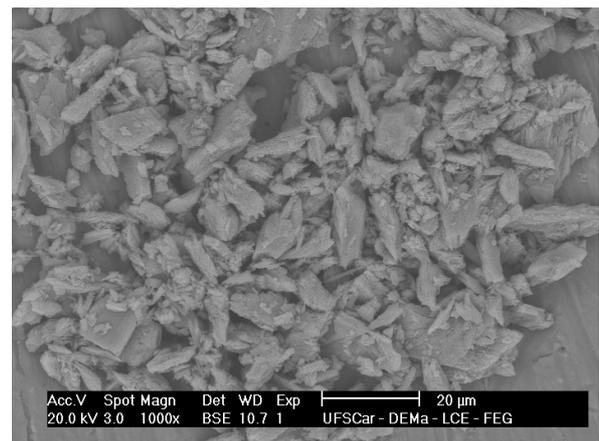


Figura 48: Fotomicrografia da amostra do pó de gesso beta, com aumento linear de 1.000 vezes.

Comparando as misturas B e P (tabela 23), que se diferenciam apenas pela adição de silicone no traço P, verificou-se que em ambos os casos houve um crescimento mais lento dos cristais (maior tempo de pega), resultando na formação de cristais mais espessos e arredondados, o que pode acarretar em uma redução das propriedades mecânicas, como por exemplo, a resistência à compressão. Além disso, aparentemente, os cristais, tanto na mistura B quanto na mistura P, apresentam-se sobrepostos (figuras 49 e 50), com pouca aderência, sendo responsável pela menor resistência mecânica.

Tabela 23: Resumo das características das misturas B e P após todos os ensaios.

	Mistura B	Mistura P
Relação a/g	0,70	0,70
Quantidade de gesso α adicionada à mistura (%)	0	0
Aditivo utilizado	Sem aditivos	Silicone – 0,6%
Tempo de início de pega	25min a 27min	25min a 30min
Tempo de fim de pega	32min a 35min	35min a 40min
Absorção por imersão (%)	36,42	8,98
Absorção por capilaridade após 72 horas em contato com a água (g/cm ²)	4,61	0,42
Resistência à compressão aos 63 dias (MPa)	6,72	8,83
Características dos grãos	Grãos aciculares com extensa formação inicial de placas.	Grãos aciculares com extensa formação inicial de placas.
Distribuição dos grãos	Grande dispersão de tamanhos	Morfologia média predominante e homogeneamente distribuída

Por outro lado, esse crescimento lento favoreceu a formação de maior quantidade de cristais pequenos na mistura P, que contribuiu a preencher os vazios e reduzir a porosidade. Além disso, a mistura P possui uma distribuição média de espessuras mais homogênea do que B, fazendo com que a interação entre os grãos seja melhor, minimizando a formação de poros grandes. A área média superficial de cada poro em P ficou em torno de 0,47 μm^2 enquanto que 1/3 dos poros de B resultaram em áreas médias em torno de 21 μm^2 . As imagens também mostraram que os cristais de gesso em B apresentam poros na sua superfície (figura 49), o que não ocorre em P (figura 50). Provavelmente, o silicone encapsulou os grãos em P, reduzindo a porosidade do cristal. Essa redução da porosidade pôde ser comprovada com o ensaio de absorção por imersão onde se obteve uma taxa de absorção de 8,98%.

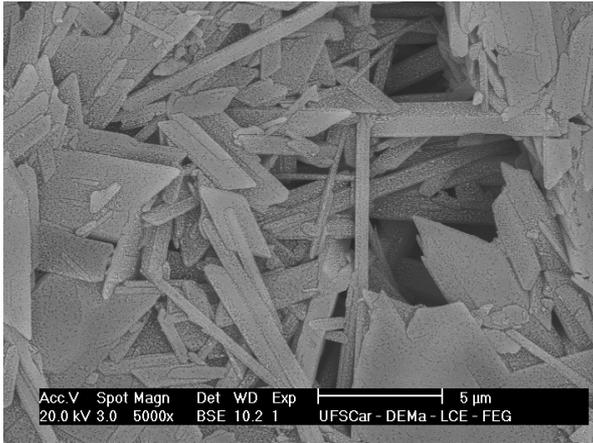


Figura 49: Fotomicrografia da amostra B, com aumento linear de 5.000 vezes.

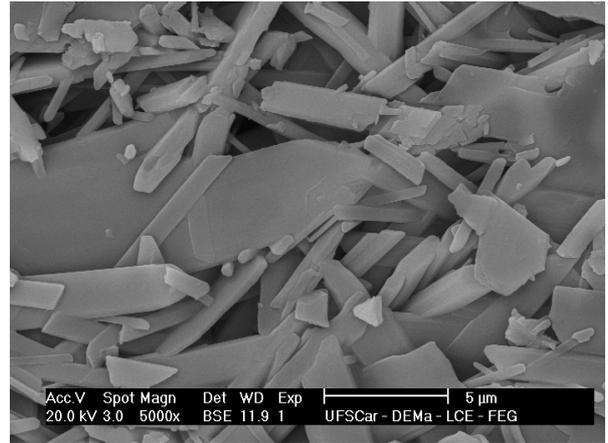


Figura 50: Fotomicrografia da amostra P, com aumento linear de 5.000 vezes.

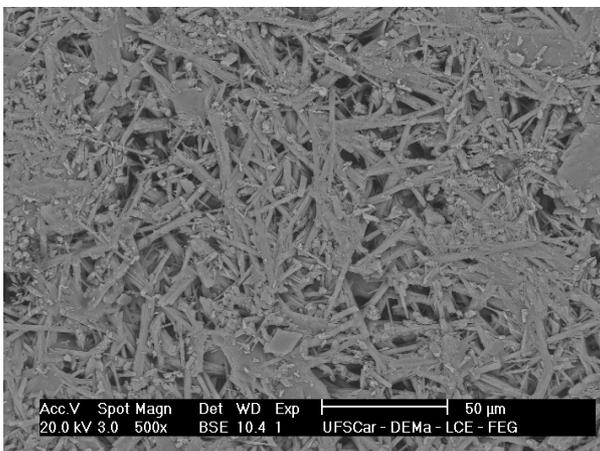
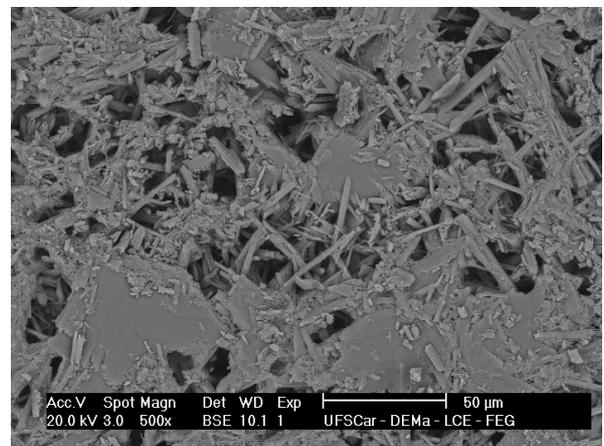
Analisando as misturas D e E_1 (tabela 24), que se diferem pela adição de 5% de Masterfix em E_1 , nota-se que enquanto em E_1 é predominante a presença de placas, D é composto somente por grãos colunares, tipo agulhas, bem entrelaçados e embricados. Isso se deve ao menor tempo de pega de D, que favorece a formação de grãos, não chegando a formar placas. Essa característica da microestrutura de D é responsável pelo aumento da resistência à compressão. Placas hexagonais e de tamanho maior provocam a queda da resistência devido à falta de aderência entre os cristais (HINCAPIE & CINCOTTO, 1997).

A porosidade do material é visível, observando-se nas imagens (figuras 51 e 52) algumas áreas escuras resultantes da perda da água de amassamento durante a secagem do gesso. Verificou-se que a área de porosidade superficial de D é 22% menor que a de E_1 . Assim, nota-se que o Masterfix proporcionou um maior tempo de hidratação, aumentando o tempo de pega e, conseqüente, maior crescimento dos grãos e maior porosidade.

Esses dados estão de acordo com o que foi observado na literatura. Muitos autores afirmam que as propriedades mecânicas decrescem com o aumento da porosidade da pasta (MURAT *et al*, 1975 apud ANTUNES, 1999).

Tabela 24: Resumo das características das misturas D e E₁ após todos os ensaios.

	Mistura D	Mistura E ₁
Relação a/g	0,70	0,70
Quantidade de gesso α adicionada à mistura (%)	5	5
Aditivo utilizado	Sem aditivos	Masterfix – 5%
Tempo de início de pega	5min30s a 6min30s	8min30s a 9min30s
Tempo de fim de pega	11min30s a 12min	17min a 18min
Resistência à compressão aos 63 dias (MPa)	8,67	7,07
Características dos grãos	Grãos aciculares, somente agulhas.	Presença predominante de placas extremamente crescidas, em vez de agulhas.
Distribuição dos grãos	Grande dispersão de tamanhos	Morfologia média predominante e homogeneamente distribuída

**Figura 51:** Fotomicrografia da amostra D, com aumento linear de 500 vezes.**Figura 52:** Fotomicrografia da amostra E₁, com aumento linear de 500 vezes.

Analisando as misturas D e L (tabela 25) onde houve uma redução da relação água/gesso em L, notou-se um menor crescimento dos grãos em L devido à hidratação. O comprimento médio dos cristais em L são aproximadamente $\frac{1}{4}$ do comprimento médio dos cristais em D.

Hallows (1992 apud SELMO *et al*, 1997), em seu estudo experimental, concluiu que a redução da relação água/gesso leva ao encurtamento e engrossamento das agulhas. Já SELMO *et al* (1997) não obtiveram diferenças significativas nos cristais de gipsita em função da relação água/gesso.

De acordo com Murat *et al* (1975 apud ANTUNES, 1999), microestruturas formadas por cristais grandes são menos resistentes (mais porosas) que as formadas por cristais pequenos (mais densas). Isso pôde ser observado nesse caso, pois a resistência à compressão de L foi, aproximadamente, 6% maior que a resistência obtida no traço D.

Tabela 25: Resumo das características das misturas L e D após todos os ensaios.

	Mistura L	Mistura D
Relação a/g	0,60	0,70
Quantidade de gesso α adicionada à mistura (%)	5	5
Aditivo utilizado	Sem aditivos	Sem aditivos
Tempo de início de pega	7min a 7min30s	5min30s a 6min30s
Tempo de fim de pega	14min a 15min	11min30s a 12min
Absorção por imersão (%)	33,71	Não determinado
Absorção por capilaridade após 72 horas em contato com a água (g/cm ²)	4,24	Não determinado
Resistência à compressão aos 63 dias (MPa)	9,21	8,67
Características dos grãos	Grãos aciculares.	Grãos aciculares, somente agulhas.
Distribuição dos grãos		Grande dispersão de tamanhos

Pelas imagens (figuras 53, 54, 55 e 56), também foi possível notar que a porosidade superficial de D é de aproximadamente 0,84%, enquanto que D possui aproximadamente 7% em área de porosidade.

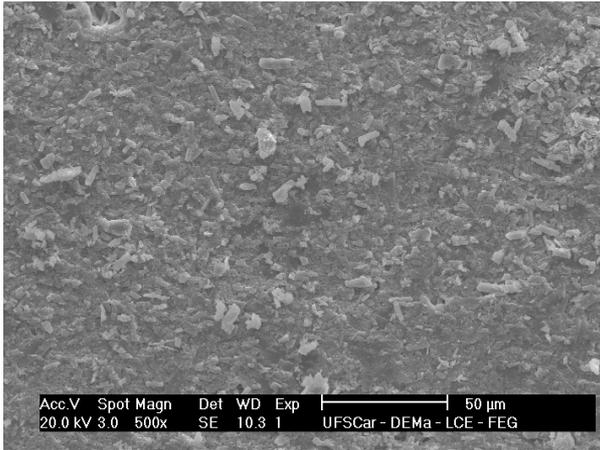


Figura 53: Fotomicrografia da amostra L, com aumento linear de 500 vezes.

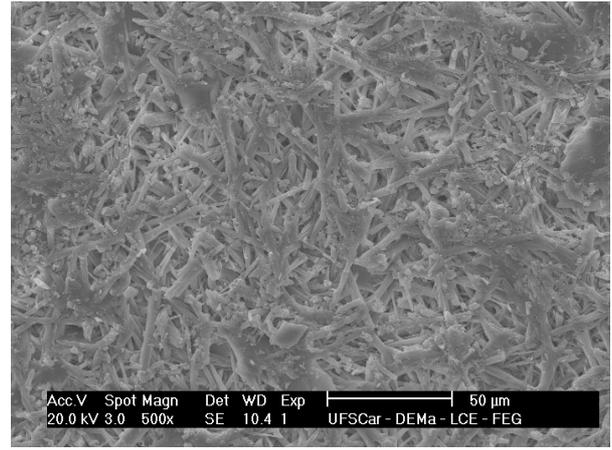


Figura 54: Fotomicrografia da amostra D, com aumento linear de 5.000 vezes.

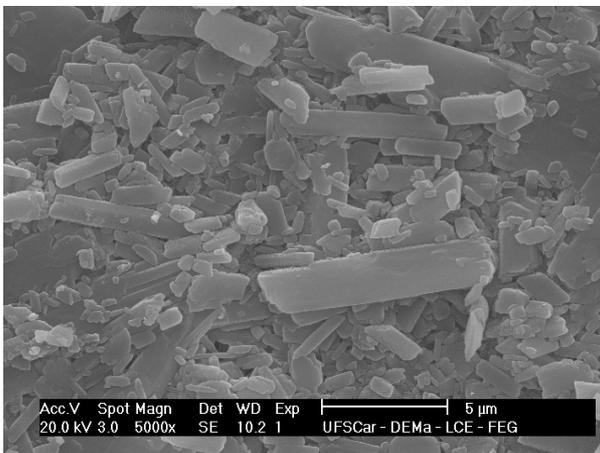


Figura 55: Fotomicrografia da amostra L, com aumento linear de 500 vezes.

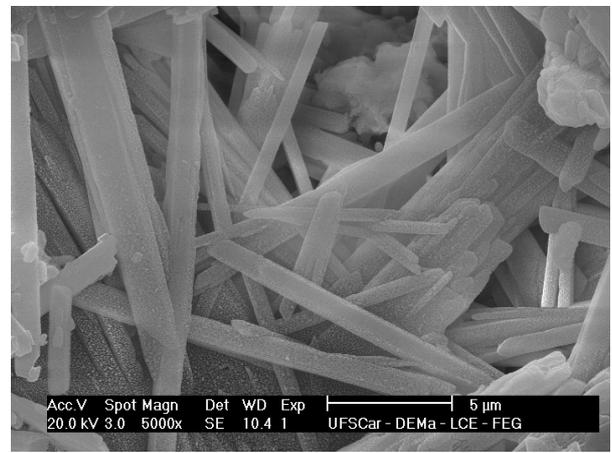
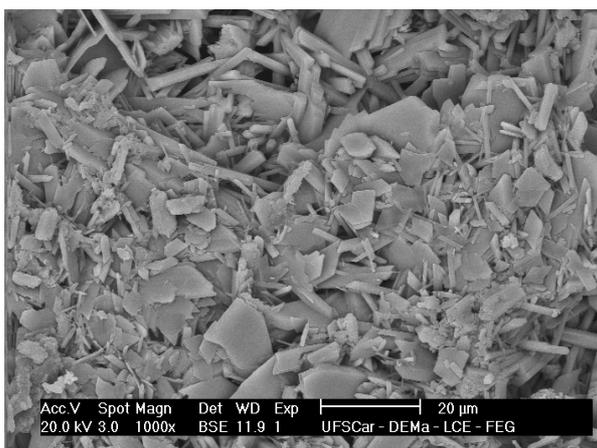
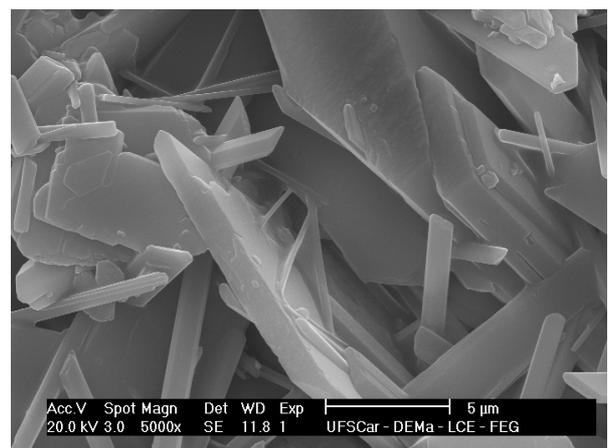


Figura 56: Fotomicrografia da amostra D, com aumento linear de 5.000 vezes.

Comparando os traços G_5 , G_8 e I_5 , ambos com relação água/gesso de 0,60, mas com a utilização de diferentes aditivos em várias porcentagens (tabela 26), foram constatadas microestruturas morfolologicamente idênticas, com a presença predominante de placas (figuras 57, 58, 59 e 60), em vez de agulhas, como produto resultante da hidratação. A porcentagem de sólidos presente no Masterfix, de acordo com Basf (2007), varia de 9 a 11%. Isso significa que a quantidade de água presente nesses aditivos é grande, o que aumentou ainda mais a hidratação e, conseqüentemente, o tempo de pega das misturas. A porcentagem de sólidos presentes no Imperwall não foi divulgada pelo fabricante.

Tabela 26: Resumo das características das misturas G₅, G₈ e I₅ após todos os ensaios.

	Mistura G ₅	Mistura G ₈	Mistura I ₅
Relação a/g	0,60	0,60	0,60
Quantidade de gesso α adicionada à mistura (%)	5	5	5
Aditivo utilizado	Imperwall – 40%	Imperwall – 70%	Masterfix – 40%
Tempo de início de pega	26min a 27min	Não determinado	16min a 17min
Tempo de fim de pega	32min a 33min	Não determinado	19min30s a 20min
Absorção por imersão (%)	33,62	22,75	30,84
Absorção por capilaridade após 72 horas em contato com a água (g/cm ²)	3,93	Não determinado	3,89
Resistência à compressão aos 63 dias (MPa)	10,92	Não determinado	10,49
Características dos grãos	Presença predominante de placas em vez de agulhas.	Presença predominante de placas em vez de agulhas.	Presença predominante de placas em vez de agulhas.

**Figura 57:** Fotomicrografia da amostra G₅, com aumento linear de 1.000 vezes.**Figura 58:** Fotomicrografia da amostra G₅, com aumento linear de 5.000 vezes.

Apesar de constar na literatura que placas hexagonais e de maiores dimensões são responsáveis pela queda da resistência, devido à falta de aderência

entre os cristais (HINCAPIE & CINCOTTO, 1997), as misturas G₅ e I₅ apresentaram valores de resistência mecânica em torno de 15% maior que a mistura L (branco) formada por cristais menores. O motivo provável dessa ocorrência foi que a presença dos aditivos promoveu certo embricamento dos grãos, conforme pode ser visto na figura 57, acarretando no aumento da resistência mecânica.

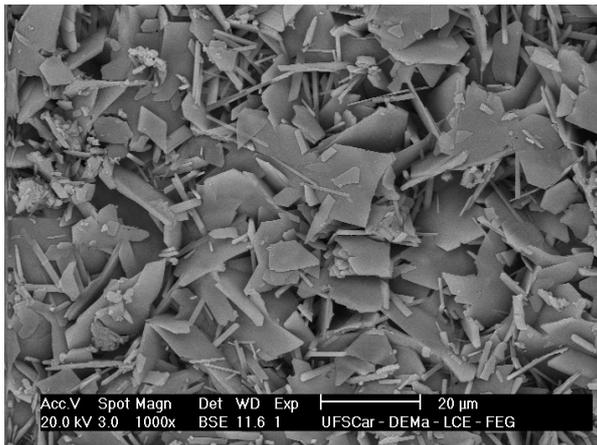


Figura 59: Fotomicrografia da amostra I₅, com aumento linear de 1.000 vezes.

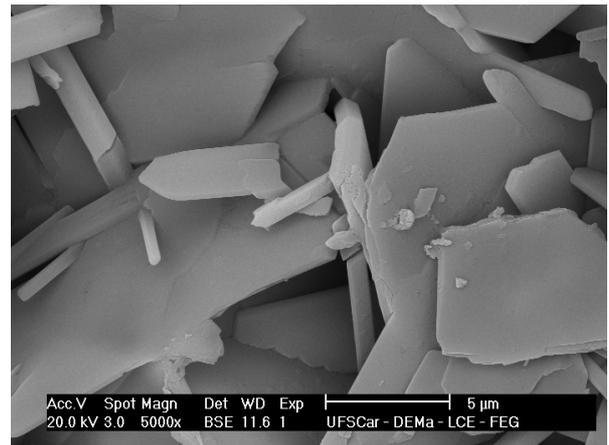


Figura 60: Fotomicrografia da amostra I₅, com aumento linear de 5.000 vezes.

Observa-se em G₈ grande presença do aditivo na superfície da amostra, conforme ilustrado nas figuras 61 e 62. Nos três casos também se observa uma formação superficial bastante fechada, praticamente sem porosidade superficial. Apesar dessa constatação, a taxa de absorção de água em G₅ foi a mesma encontrada no traço branco L, ou seja, a adição de 40% de Imperwall não teve influência na permeabilidade do material. No caso de I₅, houve uma redução na absorção de apenas 8%. Somente a mistura G₈ apresentou uma melhor impermeabilidade, com absorção em torno de 30% menor que a mistura L.

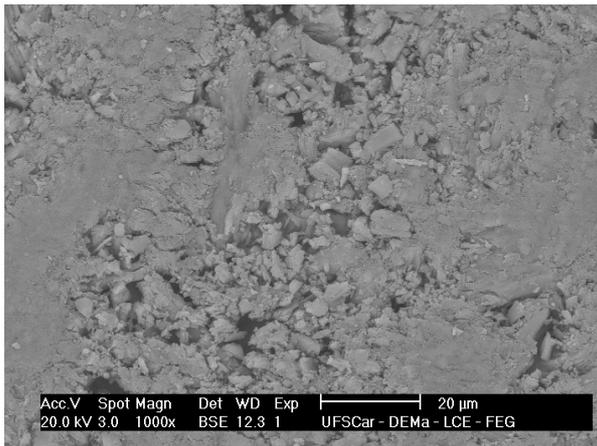


Figura 61: Fotomicrografia da amostra G_8 , com aumento linear de 1.000 vezes.

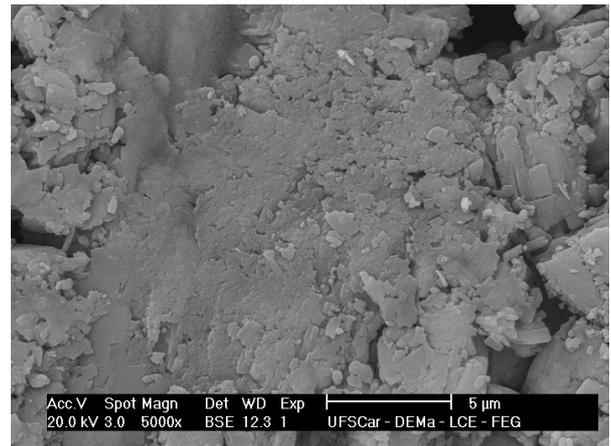


Figura 62: Fotomicrografia da amostra G_8 , com aumento linear de 5.000 vezes.

Ao analisar as misturas P e T_2 , verifica-se que enquanto T_2 apresenta somente grãos colunares bastante crescidos em relação ao pó original, P apresenta uma extensa formação inicial de placas, conforme pode ser visto nas figuras 63 e 64, apesar de o tempo de pega de P ser menor que o de T_2 , o que diminui o tempo de hidratação em P.

SELMO *et al* (1997), em seu estudo experimental, verificaram que as pastas aditivadas com um incorporador de ar e outra com um superfluidificante obtiveram uma tendência a uma microestrutura diferenciada, com cristais de maior diâmetro, estando de acordo com as características observadas de endurecimento mais lento e maior temperatura na fase de hidratação. Isso pôde ser visualizado na mistura T_2 , onde as espessuras das agulhas na mistura T_2 variaram entre 1,1 a 5,7 μm , enquanto que em P essas espessuras variaram de 0,45 a 2,0 μm , resultado do maior tempo de pega (tabela 27).

Aparentemente, os cristais em P apresentam-se sobrepostos (figura 66) enquanto que os cristais em T_2 apresentam-se embricados uns aos outros (figura 65). Essa falta de aderência dos cristais em P pode ser responsável pela redução da resistência mecânica verificado nessa mistura (tabela 27).

Além disso, de acordo com Hincapié & Cincotto (1997), os maiores valores de resistência à compressão são conseguidos com cristais em forma de agulha e embricados, de maior comprimento e menor largura. Essa constatação pode ser observada nas imagens de T_2 (figura 63), que mostram cristais bem mais compridos do que os cristais em P (figura 64).

Sendo a única diferença entre essas duas misturas, a adição de Glenium em T₂, que pode ter provocado um aumento no crescimento dos cristais apesar da baixa velocidade de hidratação, promoveu maiores valores de resistência à compressão nesse traço, conforme pode ser visto na tabela 27.

Em relação ao silicone, conforme análise realizada anteriormente entre as misturas P e B, verificou-se que presença do mesmo proporcionou redução da taxa de absorção da mistura, provavelmente pelo encapsulamento dos cristais, conforme visualizado na figura 49 (traço B) e na figura 50 (traço P), pois os cristais de gesso em B apresentaram poros na superfície, o que não ocorreu nos cristais de P.

Tabela 27: Resumo das características das misturas P e T₂ após todos os ensaios.

	Mistura P	Mistura T₂
Relação a/g	0,70	0,50
Quantidade de gesso α adicionada à mistura (%)	0	0
Aditivo utilizado	Silicone – 0,60% em relação à massa de gesso	Silicone – 0,60% em relação à massa de gesso; Glenium – 0,60% em relação à massa de gesso.
Tempo de início de pega	25min a 30min	45min a 50min
Tempo de fim de pega	35min a 40min	55min a 60min
Absorção por imersão (%)	8,98	7,14
Absorção por capilaridade após 72 horas em contato com a água (g/cm ²)	0,42	0,64
Resistência à compressão aos 63 dias (MPa)	8,83	16,07
Características dos grãos	Grãos aciculares bastante crescidos com relação ao pó original e uma extensa formação inicial de placas.	Somente grãos aciculares, bastante crescidos com relação ao pó original.
Distribuição dos grãos	Morfologia média predominante e homogeneamente distribuída.	Morfologia média predominante e homogeneamente distribuída.

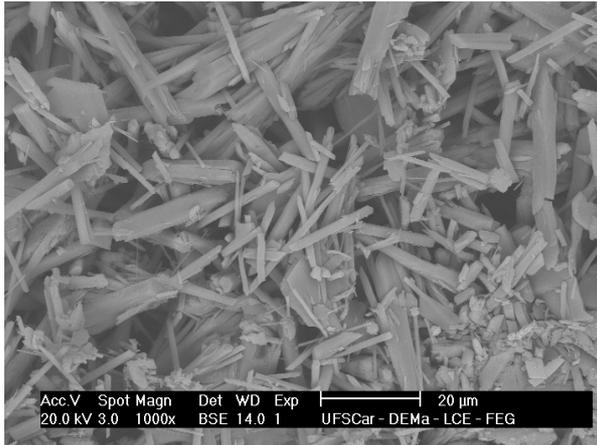


Figura 63: Fotomicrografia da amostra T₂, com aumento linear de 1.000 vezes.



Figura 64: Fotomicrografia da amostra P, com aumento linear de 1.000 vezes.

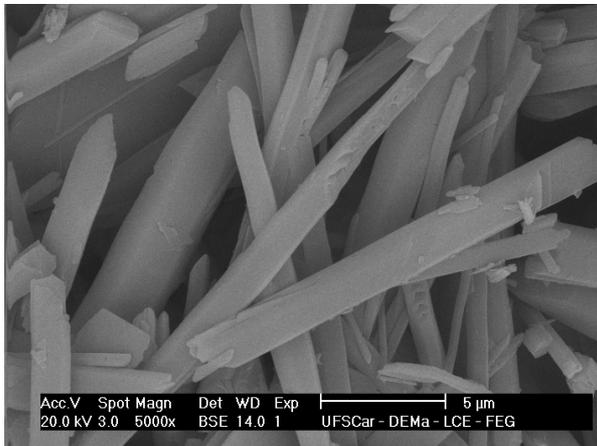


Figura 65: Fotomicrografia da amostra T₂, com aumento linear de 5.000 vezes.

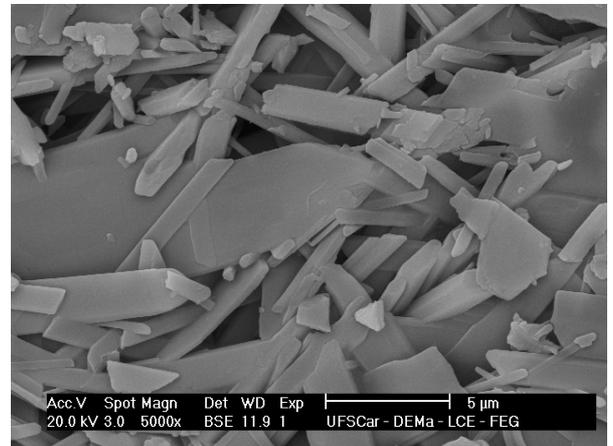


Figura 66: Fotomicrografia da amostra P, com aumento linear de 5.000 vezes.

4.9 Ensaios realizados nos artefatos de gesso produzidos

Foram determinadas as características de dois blocos de gesso para vedação, produzidos conforme descrito no item 3.2.9, as quais estão apresentadas na tabela 28.

Tabela 28: Características dos blocos de gesso produzidos com garrafas PET no seu interior.

	BLOCO 1	BLOCO 2
Especificação	6 garrafas PET de 2 litros	6 garrafas PET de 2,5 litros
Comprimento	61,90 cm	61,60 cm
Largura	45,20 cm	45,50 cm
Espessura	14,60 cm	14,10 cm
Peso	31,30 kg	29,28 kg
Volume total do bloco	0,0408 m ³	0,0395 m ³
Volume das garrafas	0,002 m ³	0,0025 m ³
Volume de vazios	0,012 m ³	0,015 m ³
Volume de sólidos	0,0288 m ³	0,0245 m ³
Densidade	767,20 kg/m ³	741,30 kg/m ³

A pasta utilizada para a confecção dos blocos apresentou abatimento de 16,0cm, determinado pelo *mini-slump*, que conferiu à mesma capacidade de preencher os vãos entre as garrafas, mas coesa o suficiente para não vazar pela forma, apesar da precariedade da sua execução, conferindo características de auto-adensável e de acordo com a proposta do trabalho.

Com a mesma pasta foi produzido um painel e para conferir se a consistência da pasta resultou em trabalhabilidade adequada, o mesmo foi cortado transversal e longitudinalmente (figura 67).



Figura 67: Aspecto de um painel de gesso cortado.

Pode-se verificar que houve perfeito espalhamento do gesso pela fôrma, tendo inclusive formado os alvéolos entre as garrafas, condição que pode ampliar o uso dos painéis.

A densidade obtida nesses blocos corresponde a 60% da densidade da alvenaria de blocos cerâmicos, o que resulta, numa edificação, na redução de peso significando um menor consumo de estrutura e fundação.

Os blocos foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial, o qual consiste na aplicação de uma força vertical no bloco para verificar sua resistência máxima antes de apresentar qualquer sinal de ruína, trinca ou ruptura.

O bloco foi colocado em uma máquina de ensaio universal mecânica, conforme ilustrado na figura 68, que tem seu acionamento através de uma fonte estável de energia, de modo a propiciar uma aplicação de carga contínua e isenta de choques, que é registrada, conforme visto na figura 69.

Para permitir uma distribuição de carga uniforme no bloco, utilizou-se de uma chapa de aço nas faces inferior e superior do mesmo.



Figura 68: Bloco de gesso posicionado para o ensaio de compressão axial.



Figura 69: Mostrador do índice de carga da máquina universal de ensaio.

Os resultados do ensaio à compressão foram satisfatórios e estão apresentados na tabela 29.

Tabela 29: Resultados obtidos no ensaio de compressão com blocos produzidos com garrafas PET no seu interior

	BLOCO 1	BLOCO 2
Força de ruptura (kgf)	6800	7600
Resistência à compressão (kgf/cm ²)	7,5	8,7

4.10 Análise dos custos das misturas

A partir dos preços dos materiais apresentados na tabela 13, foi calculado um indicativo de custo de cada mistura confeccionada neste trabalho, conforme se pode visualizar no gráfico 14.

Nesses custos só estão inclusos os preços dos materiais utilizados neste trabalho. Não foram considerados os custos com formas, produção e montagem das placas.

Apesar de contemplar apenas um componente, é possível verificar que o preço do quilo das misturas com silicone e Glenium (P e T₂) são baixos se comparados com o custo das misturas com Imperwall e Masterfix (G₅, G₈, H₅ e I₅).

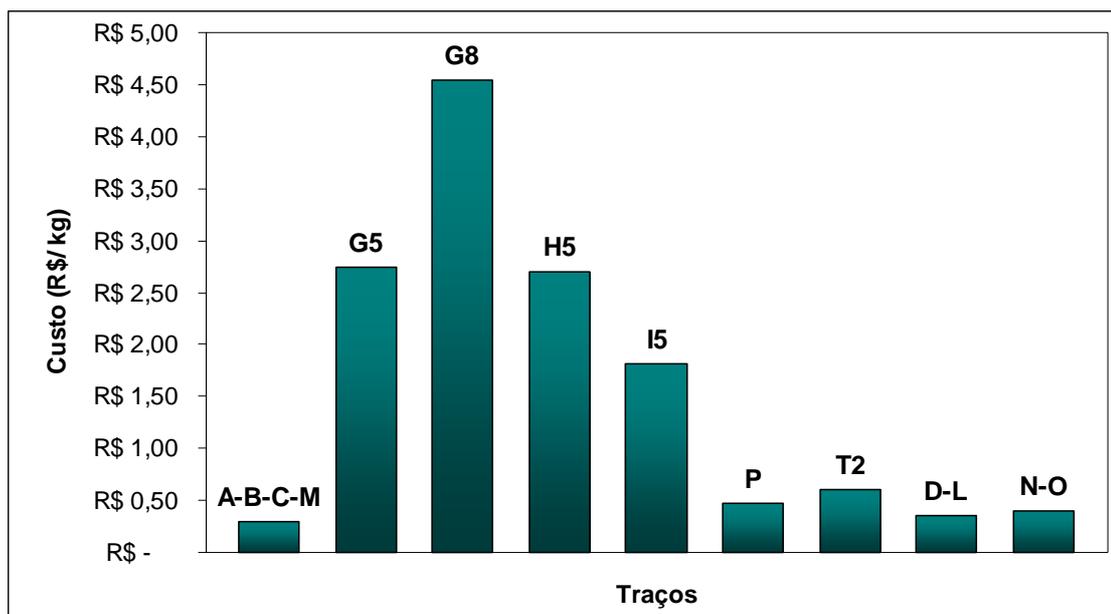


Gráfico 14: Indicativo de custo de cada mistura estudada, para um quilo de gesso.

Assim, em função da sua eficácia para o objetivo presente neste estudo, é possível aumentar a porcentagem de silicone e Glenium 3200 HES na mistura até uma quantidade que resulte em um preço competitivo para o mercado, e assim analisar, por meio de novos ensaios, maiores melhorias nas propriedades do gesso.

5 CONCLUSÕES

Com a realização deste trabalho, foi possível aprofundar o conhecimento sobre o gesso como material de construção, o qual, além do alto potencial de exploração e produção no Brasil, é um material que requer baixa quantidade de energia para sua produção, se comparado com outros materiais de construção, e pode ser reciclado, conforme estudo bibliográfico realizado.

O processo de reciclagem é comum e viável em diversos países, conforme mostrado na revisão bibliográfica. No Brasil, algumas empresas fabricantes de gesso acartonado fazem reciclagem dos resíduos e utilizam 5% de matéria-prima reciclada na produção de novas chapas.

Este estudo, com o intuito de explorar o mercado verde no país, baseou-se na necessidade de suprir as limitações do gesso para a produção de painéis modulares, com precaução em termos ecológicos.

Para suprir essas limitações, foram adicionados alguns produtos comerciais na água de amassamento do gesso, em diferentes dosagens e, através dos ensaios realizados, foi possível verificar a influência desses aditivos nas propriedades físicas e mecânicas do produto final.

A realização da MEV possibilitou comprovar os dados obtidos nos ensaios físicos e mecânicos através da análise da microestrutura das pastas de gesso, com as características dos grãos cristalinos e sua distribuição, fatores que influenciam na redução ou aumento da resistência à compressão e na absorção de água.

Conforme citado em Manual... (2001), com maior quantidade de água de amassamento há uma maior porosidade, menor compactação, densidade e resistência do produto. Dessa forma, diminuir a relação a/g se torna um fator importante para possibilitar melhoria nas propriedades do gesso, rompendo a barreira para o desenvolvimento de produtos com gesso devido à alta taxa de absorção de água em produtos de gesso natural que é em torno de 50%, de acordo com Li, Li, Yu (2006).

A adição dos polímeros aumentou a fluidez das pastas, melhorando assim a trabalhabilidade, sem precisar aumentar a relação água/gesso, o que acarretaria em um maior índice de vazios e, conseqüentemente, menor impermeabilidade. A

consistência definida neste estudo confere às misturas características de pasta auto-adensável, propriedade importante para a produção de artefatos.

O aditivo superplastificante à base de policarboxilatos Glenium 3200 HES apresentou um desempenho maior ao possibilitar a redução da relação a/g para 0,50 no traço T₂ e conseqüente aumento na resistência à compressão e redução na taxa de absorção de água. Sem esse aditivo, não foi possível moldar corpos-de-prova nessa relação, devido à baixa fluidez da pasta.

Neste trabalho, a taxa de absorção, após imersão, variou de 7% a 40%. A menor taxa foi obtida na composição T₂ (7,14%) que possui relação a/g de 0,50, adição de Glenium 3200 HES e silicone. A adição somente de silicone, mantendo a relação a/g de 0,70, provocou uma redução na taxa de absorção da água em 80%, se comparada com o traço branco de análise.

A presença do silicone proporcionou um crescimento lento dos cristais, favorecendo a formação de grãos cristalinos pequenos, que contribuíram para o preenchimento dos vazios e, conseqüentemente, redução da porosidade, conforme visualizado na MEV. Além disso, acredita-se que o silicone encapsulou os grãos cristalinos, pois os mesmos deixaram de apresentar poros na sua superfície, conforme visto pela MEV na mistura B.

Placas cimentícias produzidas em cimento reforçado com fios sintéticos têm uma taxa de absorção máxima de 30% (BRASIPLAC, 2006), blocos cerâmicos para alvenaria possuem uma taxa de absorção entre 8% e 25% (ABNT NBR 7171, 1992) e tijolos maciços de solo-cimento, uma taxa máxima de 20% (ABNT NBR 8491, 1984).

Em relação às placas de gesso acartonado, algumas normas de absorção estrangeiras referem-se a um período de 2 horas de imersão das placas, limitando a taxa de absorção máxima para as placas resistentes à umidade em 5% (GYPSUM ASSOCIATION, 2005). O projeto de norma para os blocos de gesso sem função estrutural tipo H (hidrófugo) também utiliza esse mesmo limite de absorção, sem especificar sua metodologia de ensaio.

Comparando esses dados com as taxas obtidas neste trabalho, pode-se verificar que o traço G₅, com a presença de Imperwall, e o traço I₅ com a presença de Masterfix, resultaram numa taxa de absorção acima de 30%; enquanto que as composições G₈ (com adição de Imperwall), T₂ e P têm impermeabilidade compatível com os materiais de construção tradicionais utilizados para vedação,

como as placas cimentícias, os blocos cerâmicos para alvenaria e os tijolos maciços de solo-cimento. Por outro lado, apresentam-se ligeiramente acima do limite estabelecido para as placas de gesso acartonado e blocos de gesso resistentes à umidade.

Mesmo tratando-se de um material alternativo em relação aos tradicionais, submetidos a ensaios com metodologias diferentes, essa comparação mostra a potencialidade dos materiais adicionados ao gesso, principalmente do silicone e do Glenium 3200 HES, indicando bom desempenho para o uso determinado no objetivo.

Para futuras normatizações para o material desenvolvido neste trabalho, recomenda-se tomar como base o limite máximo de absorção por imersão de 8%, e, posteriormente, realizar novos ensaios aumentando a quantidade de silicone adicionada à pasta, no intuito de restringir aquele valor para 5%.

Em relação à resistência à compressão dos traços, verificou-se que os valores variaram conforme a idade do corpo-de-prova. Coutinho (2006) cita que ao ar livre e com umidade relativa média a resistência do gesso pode duplicar entre o 1º e o 7º dia após o amassamento. Isso foi observado nos traços com silicone e Glenium 3200 HES. Com os presentes dados, pôde-se notar que a resistência à compressão aumentou até os 7 dias de idade e depois se manteve praticamente constante. Os valores máximos obtidos de resistência são da ordem de 19 MPa para a mistura com adição de Glenium e com a relação a/g de 0,50. Para o traço com silicone e relação a/g de 0,70, a resistência à compressão foi menor que 11MPa. Em relação a outros traços, tanto os brancos quanto os com Masterfix e Imperwall, a resistência à compressão variou entre 6 MPa e 11 MPa, sendo que as misturas com relação a/g de 0,60 apresentaram valores acima de 9 MPa. Com isso, pôde-se verificar que um dos fatores de maior influência na taxa de resistência à compressão do gesso, conforme citado por autores como Nolhier (1986 apud ANTUNES, 1999), é a relação água/gesso, que foi reduzida na composição com adição do Glenium 3200 HES.

A quantidade de água presente na mistura é responsável pela quantidade de poros presente no material endurecido e pelas características dos seus grãos cristalinos que se modificam dependendo do processo de hidratação em que estão inseridos.

A redução na relação água/gesso promoveu um baixo crescimento dos grãos cristalinos devido a um tempo de hidratação menor, formando microestruturas mais

densas e, conseqüentemente, mais resistentes (MURAT *et al* 1979 apud ANTUNES, 1999), comprovando assim os resultados obtidos durante o ensaio de compressão na mistura L.

Hincapié & Cincotto (1997) afirmam que quanto menor o tempo de pega, ou seja, quanto mais rápida for a velocidade de hidratação, são formados cristais bem definidos, em maior número por unidade de volume, maior resistência mecânica e menor porosidade; o tempo de pega maior favorece a formação de cristais espessos, cuja estrutura é mais organizada, com menos defeitos, menor resistência mecânica e maior porosidade. Além disso, citam que os maiores valores de resistência à compressão são conseguidos com cristais em forma de agulha e embricados, de maior comprimento e menor largura.

A presença do Glenium 3200 HES na mistura T₂ permitiu a formação de grãos cristalinos em forma de agulha, de maior comprimento e embricados uns aos outros, características não presentes em casos com maior tempo de pega, que é o caso dessa mistura.

Assim, acredita-se que o Glenium 3200 HES proporcionou uma mudança na estrutura cristalina do gesso, pois não permitiu a formação de placas que são conseqüência de uma baixa velocidade de hidratação, o que resultou em uma estrutura mais resistente devido ao embricamento dos grãos cristalinos e menos porosa.

Nos ensaios de resistência à compressão para os traços B, L, P e T₂, verificou-se que a tensão média mostrou-se maior aos 28 dias do que aos 63 dias. Essa constatação serve como um alerta para o uso desse material em um processo industrial, à medida que sua resistência depende muito da forma de moldagem e da cura do material. Se a mistura, a moldagem, a cura e os ensaios forem realizados corretamente, obtêm-se o valor previsto. Um erro ou descuido em qualquer uma dessas fases inevitavelmente provoca redução do valor da resistência. Essa variabilidade existente justifica maior rigor de controle dos parâmetros influenciáveis em trabalhos futuros para descartar hipóteses presentes.

O objetivo deste trabalho foi atingido ao confeccionar os artefatos de gesso com a utilização de garrafas PET que poderiam virar resíduos. A composição de gesso T₂ foi utilizada na confecção desses painéis, pois conferiu os melhores resultados em relação à impermeabilidade, resistência à compressão e em relação ao seu custo, que foi baixo se comparado com as outras misturas confeccionadas.

O traço T₂ foi confeccionado com 100% de gesso beta, relação água/gesso de 0,50 e com a adição de 0,60% de silicone e 0,6% de Glenium 3200 HES, em relação à massa de gesso.

Assim, em função da sua eficácia para o objetivo presente neste estudo e um potencial futuro para a produção de painéis modulares de gesso, é possível aumentar a porcentagem de silicone e Glenium 3200 HES na mistura até uma quantidade que resulte em um preço competitivo para o mercado, e assim analisar, por meio de novos ensaios, maiores melhorias nas propriedades do gesso.

Por apresentarem potencial para serem empregados ao uso pretendido, sugere-se, para trabalhos futuros, a confecção de painéis de gesso com as outras composições que apresentaram também bons resultados em relação à impermeabilidade e resistência à compressão, de modo a verificar seu desempenho físico, mecânico e sua durabilidade, assim como artefatos confeccionados com a mistura T₂.

Recomenda-se, ainda, para futuras pesquisas, a realização da MEV em diversas idades do gesso, para acompanhar as fases de crescimento dos cristais e a forma de ocorrência ou não do embricamento dos grãos cristalinos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E.M.X.; BARROS, J.V.; FERREIRA, R.A.S.; YADAVA Y.P.; SILVA, C. L. de; SOUZA, D.P.F. de **Análise microestrutural do efeito de diferentes pós hemidratado no desempenho dos moldes de gesso**. João Pessoa: Anais do 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2003.

ADDISON, J. Vermiculite: A Review of the Mineralogy and Health Effects of Vermiculite. **Exploitation Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v.21, issue 3, p. 397-405, June 1995.

AGOPYAN, V.; SOUZA, U.E.L. de; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A.C. de **Alternativas para redução de desperdício de materiais nos canteiros de obras**. São Paulo: FINEP, ITQC. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1998.

AGUIAR, G. **Estudo de argamassas produzidas com agregados reciclados contaminados por gesso de construção**. ed.rev. São Paulo: [s.n.], 2004, 282 p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ÂNGULO, S.C. **Caracterização e controle de qualidade de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo: [s.n.], 2004. 140p. Exame de Qualificação (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ANTUNES, R.P. do N. **Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso**. São Paulo, 1999. 145p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ANUÁRIO DA MINERAÇÃO, 2005. Disponível em: <[http://www.dnrm.gov.br/assets/galeria_documento/AMB2005/Partell_UF/PE_Parte_II_\(2005\).pdf](http://www.dnrm.gov.br/assets/galeria_documento/AMB2005/Partell_UF/PE_Parte_II_(2005).pdf)>. Acesso em: 13 nov. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e Documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 7171**: Bloco Cerâmico para Alvenaria - Especificação. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 8491**: Tijolo maciço de solo-cimento: especificação. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 9779:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 10004:** Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

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

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

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

_____. **NBR 14715:** Chapas de gesso acartonado – Requisitos. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 15112:** Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

BASF Construction Chemicals Brasil. Disponível em: <<http://www.basf-cc.com.br/novo/produtos-todos.asp>>. Acesso em: 10 dez. 2007.

BALTAR, C.A.M.; BASTOS, F.F.; LUZ, A.B. **Diagnóstico do pólo gesseiro de Pernambuco (Brasil) com ênfase na produção de gipsita para fabricação de cimento.** Pernambuco: [2004?]. Disponível em: <www.minas.upm.es/catebraanefa/Consultas/MagalhaesCarlos_IVIbermac.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2007.

BARBARATO, P. R.; DAMIANI, F.; TATSCH, P.J. **Microscópio eletrônico de varredura.** 2002. Disponível em <http://www.dsif.fee.unicamp.br/~furio/IE607A/SEM.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2007.

BAUER, L.F. **Materiais de Construção 1.** 4 ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 1992.

BLOCO de gesso sem função estrutural. **Construção Mercado**, São Paulo: Ed. Pini, n.70, p.79-82, mai.2007.

BLUESTAR SILICONES FRANCE SAS. **Certificate of analysis.** 2008.

BRASIPLAC – Placa cimentícia impermeabilizada. São Paulo, 2006.

BROWN, W.M.; MATOS, R.G.; SULLIVAN, D. (relatores) **Materials and Energy Flows in the Earth Science Century**. A Summary of a Workshop Held by the USGS in November 1998. US Geological Survey, 1999.

CALLISTER, Jr., D.W. **Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC. 2002. 587p.

CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center) **Trends on line – A compendium of data on global change**. 2000. Disponível em: < <http://cdiac.ornl.gov/trends/trends.htm>>. Acesso em: 09 jun. 2007.

CHEN, J.J.; CHAMBERS, D. Sustainability and the impact of Chinese policy initiatives upon construction. **J Construction Management and Economics**. n°. 17, p. 679-687, 1999.

CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V. e FLORINDO, M. C. **O gesso como material de construção**. Tecnologia de Edificações, São Paulo: IPT-PINI, Parte 1, 1988.

CIWMB - California Integrated Waste Management Board. Disponível em: <<http://www.ciwmb.ca.gov>>. Acesso em: 08 Ago. 2007, 20:50:00

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 307**. 2002. Disponível em: <www.mma.gov.br> . Acesso em: 06 jan. 2007.

COUTINHO, J.S. **Materiais de Construção 2 – 1ª Parte – Ligantes e Caldas**. 2006, Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~jcouti/ligantes2006.pdf>> . Acesso em: 08 jul. 2007.

CURWELL, S.; COOPER, I. The implications of urban sustainability. **Building Research and Information**. V. 26., n° 1, 1998, p.17-28.

DAY, G.S.; WENSLEY, R. Assessing In: Readings in Marketing Strategy. Cook, Larréché and Strong edit. The Scientific Press. Readwood, 1989, p. 53-73.

DESIMONE, L.; POPOFF, F. **Eco-efficiency – The business Link to Sustainable Development**. MIT Press: Cambridge 1998. 280p.

DIAS, R. **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2006.

DRYWALL. Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall.(Org.) Disponível em: <www.drywall.org.br/index.php/90>. Acesso em: 20 jan. 2006.

DURIEZ, M. **Traité de Matériaux de Construction**. Tome 1. Paris: Ed. Dunond, 1952.

EPA - United States Environmental Protection Agency Office of Solid Waste. **Characterization of building-related construction and demolition debris in the United States**. EPA. Report nº EPA530-R-98-010. 1998. 100p. Disponível em: <<http://www.recyclecddebris.com/rCDd/Resources/Documents/CSNCharacterizationCDWasteUS.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2007.

EU (European Union) **Construction and demolition waste management practices and their economic impacts**. Report to DGXI European Commission. 1999. 83p.

FÁVERO, T. **Adesivo Natural Reduz Riscos à Saúde**. Correio Popular – Cenário XXI. Assessoria de Comunicação e Imprensa – UICAMP. Publicado em 17 abr. 2004. Disponível em <http://www.unicamp.br/unicamp/canal_aberto/clipping/abril2004/clipping040417.correiopop.html>

FGV/ SINDUSCON - FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS / SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Construção: desempenho e perspectiva**. São Paulo: SINDUSCON/ FGV PROJETOS, 2006. Disponível em: <http://www.sindusconsp.com.br/downloads/Construcao_desempenho_perspectivas.pdf> Acesso em: 03 dez. 2007.

FIKSEL, J. **Design for environment: creating eco-efficient products and processes**. New York: McGraw-Hill, 1996.

GEROLLA, G. Gesso – Acabamento Projetado. **Revista Técnica**, São Paulo: Ed. Pini, n.131, fev.2008.

GRÜBL, P.L; RÜHL, M. German committee for reinforced concrete (Dafstb) – Code: Concrete with recycled aggregates. In: **Use of recycle concrete aggregate**. DH IR, HENDERSON & LIMBACHIYA eds. Tomas Telford, 1998. p.410-418.

GV CONSULT / SINDUSCON-SP - SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Déficit Habitacional Brasileiro e 26ª Sondagem Nacional da Indústria da Construção Civil**. São Paulo: GV CONSULT/SINDUSCON, 2006. Disponível em: http://www.cbic.org.br/arquivos/deficit_habitacional_2004_SONDAGEM.pdf. Acesso em: 05 dez. 2007.

GYP SUM ASSOCIATION. **Gypsum Board Typical Mechanical and Physical Properties**. Washington DC, 2005.

GYP SUM RECYCLING INTERNATIONAL. Disponível em: < www.gypsumrecycling.biz>. Acesso em: 10 abr. 2006.

HALLOWS, J.C. **Property-structure relationships in set gypsum platers**. Thesis, Imperial College of Science, Technology & Medicine. London, 1992.

HILL, R.C.; BERGMAN, J.; BOWEN, P.A. **A framework for the attainment of sustainable construction**. In: CIB TG 16 Sustainable Construction. Proceedings. Tampa, Florida, November 6-9, 1994, p. 13-15.

HINCAPIE, A.M.; CINCOTTO, M.A. Efeito de retardadores de pega no mecanismo de hidratação e na microestrutura do gesso de construção. **Revista Ambiente Construído**, São Paulo, v.1, n.2, p. 07-16, jul-dez 1997. Disponível em: <www.infohab.org.br>. Acesso em: 06 jul. 2007.

ISAIA, G.C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: OBRAÇON, 2007. 2v.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo: [s.n.], 2000, 113 p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

JOHN, V.M, CINCOTTO, M.A. **Alternativas de Gestão dos Resíduos de Gesso**. 2003. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/artigos.htm>> . Acesso em: 25 jan. 2007.

JORGENSEN, D.B. **Gypsum and anhydrite**. In: Industrial Minerals and Rocks, 6th edition. Carr, D.D. (Editor). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, 1994.

KEBEL, H.L. **Construction Uses: Gypsum Plasters and Wallboards**. In.: Industrial Minerals and Rocks, 6th edition. Carr, D. D. (Editor). Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, 1994.

KITAJIMA, E.W.; LEITE, B. **Curso Introductório de Microscopia Eletrônica de Varredura**. 2^a ed. São Paulo – Piracicaba: [s.n.], 1999. 46p.

LAVOISIER A. **Men. Math. Phys.**, 5, 341, 1768.

LE PLÂTRE - Physico-chimie Fabricatio. Emplois Syndicat National dês Industries du Plâtre. Paris – France: Eyrolles, 1982. Traduzido por : Paulo Mariano Lopes, 2002.

LEACH, M.A.; BAUEN, A.; LUCAS, N.J.D. A systems approach to materials flow in sustainable cities: a case study of paper. **J. Environmental Planning and Management**. V. 40, n.6, p. 705-723, 1997.

LI, J.; LI, G.; YU, Y. The influences of gypsum water-proofing additive on gypsum crystal growth. **Materials Letters**. 2006. Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 16 jul. 2007.

LIDDLE, B.T. **Construction for sustainability and the sustainability of the construction industry**. In: CIB TG 16 Sustainable Construction. Proceedings. Tampa, Florida, November 6-9, p. 47-56, 1994.

LUZ, A.B.; BALTAR, C.A.M; FREITAS, E.J.G. de; SILVA, A.P. da. **Gesso – Mineração São Jorge**. In.: Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil. Rio de Janeiro, 2001, p. 240-249.

LYRA, A.C. **O Mercado de Gipsita e Gesso no Brasil**. Vortal da Cadeia Produtiva de Gesso: [2002?] Disponível em: <www5.prossiga.br/gesso> . Acesso em: 05 jan. 2006.

MANUAL DO GESSO. Espanha: Oficinas Gráficas D. Bosco. 1ª Ed. 2001. Traduzido por : Paulo Mariano Lopes, 2002.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 2002. Traduzido por: Astrid de Carvalho.

MARCZAK, R.J. **Polímeros como Materiais de Engenharia**. Parte 1, v.2, Porto Alegre, 2004.

MELLO, M.C.A. de **Produção mais limpa: um estudo de caso na AGCO do Brasil**. Porto Alegre: [s.n.], 2002. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MITCHELL, B.S. **An introduction to materials engineering and science: for chemical and materials engineers**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2004.

MIRANDA, L.F.R. **Desenvolvimento de metodologia para o controle de produção de argamassas em usinas de reciclagem**. Relatório 02. Processo FAPESP no. 01/00610-6. 2003. São Paulo.

MURAT, M. PUSZTASZERI, L., GREMION, M. Correlations “texture cristalline-proprietés mécaniques” des plâtres durcis: étude préliminaire. **Matériaux et Constructions**. V. 8, n° 47, p. 377-85, 1975.

NETO, J.C.M. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Carlos: RiMa, 2005.

NOLHIER, M. **Construire em plâtre**. Paris, L’Harmattan, 1986.

OBRA ABERTA STUDIO DE ARTE. Disponível em: <<http://www.geocities.com/obraaberta/silicone.htm>> Acesso em: 11 dez. 2007.

OLIVEIRA, C.T.A.. **Água do poro de pastas de cimento de escória**. São Paulo: [s.n.], 2000, p.85. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ONU **Agenda 21**. 1992. Disponível em: <www.tufts.edu/fletcher/multi/chrono.html> Acesso em: 23 jan. 2000.

PADILHA, A.F. **Materiais de Engenharia: microestrutura e propriedades**. São Paulo: Hemus, 1997.

PAPAROTTE, I.A.; MACIEL, C.A.C. Efeitos do resíduo de gesso da indústria cerâmica sobre as propriedades químicas do solo. **Revista Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.3, n.1, p. 32-41, jan/jun. 2006.

PEREZ, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V.A. dos **O Gesso: Produção e Utilização na Construção Civil**. Recife: Editora Bagaço, 2001, 156 p.

PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de cimento Portland**. 10 ed. Porto Alegre – Rio de Janeiro: Globo, 1983.

PHILIPPI JR., A.; ROMÉRO, M.A.; BRUNA, G.C. **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004.

PNUMA – Programa das Nações Unidas. **A produção mais limpa e o consumo sustentável na América Latina e Caribe**. São Paulo: Copyright, 2004.

ROCHA, A.C.P.F. **Materiais plásticos para a construção civil**. Texto apresentado no curso de mestrado em edificações em edifícios de FEUP. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Portugal, 1990.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. Tradução Magda Lopes. São Paulo: Studio Nobel, 1993.

SAMPAIO, J.C. **Materiais de construção**. AEFEP, Universidade do Porto, 1978.

SANTOS, V.A.; VASCONCELOS, E.C.; PINTO, F.G. **Determinação do Teor de Hemidratado em Gesso a partir de Variações na Temperatura de Rehidratação**. Gypsum Fair'97, Olinda, PE, 1997.

SANTOS, V. A. **Fundamentos sobre processos de produção de gesso a partir da desidratação térmica da gipsita**. Recife: PEDITEC-ITEP-DQ/UNICAPDEQ, Universidade Federal de Pernambuco, 1998.

SELMO, S.M.S.; GABAS, S.G.; TAKEASHI, M.S.; AGOPYAN, V.; KAHN, H. **Microestrutura de pastas de gesso de construção - efeito da relação água/gesso e de alguns aditivos, por microscopia eletrônica de varredura**. In: ENCONTRO NACIONAL DO GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL., Olinda, 1997. Gypsum Fair'97: Anais. Olinda : Finep/Sectma/Itep, 1997. p. 79-86.

SICHERI, E.P.; FERREIRA, O.P.; CARAM, R.; ROSSIGNOLO, J.A.; PABLOS, J.M.; CHAVES, A.L.O. **Materiais de Construção III (Polímeros na arquitetura e na construção civil)**. São Carlos: EESC, 2005.

SILVA, R. V. **Compósito de Resina Poliuretano Derivada de Óleo de Mamona e Fibras Vegetais**. São Carlos, 2003. 157 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais) – Universidade de São Paulo. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-29082003-105440/>> Acesso em: 09 dez. 2007.

SINDUSGESSO (Brasil) (Org.) - SINDUSGESSO – Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do estado de Pernambuco. Disponível em: <www.sindusgesso.org.br>. Acesso em: 05 jan. 2006.

SWINK, M. L. Tutorial on implementing concurrent engineering in new product development. **J. Operations Management**, no. 16, 1998. p.103-116.

TUKKER, A.; GIELEN, D.J. **A concept for the environmental evaluation of waste management benefits**. In: Environmental Aspects of Construction with Waste Materials. GOUMANS, VAN DER SLOOT & AALBERS (editors). Londres: Elsevier, 1994. p.737-748.

UNEP. **Cleaner production worldwide**. Vol. II, pg 1. França, 1995.

VELHO, J.; GOMES, C.; ROMARIZ, C. **Minerais Industriais**. Universidade de Aveiro, 1998, 591p.

WORLD WASTE. **The deconstruction of C&D waste: nailing down the numbers**. v.37, n.6, p.36-38, 1994.

ANEXO A

DETERMINAÇÃO DA MASSA EM RELAÇÃO À IDADE DO CORPO-DE-PROVA

Tabela 1:	Traço "A"- Determinação da massa com a idade	125
Tabela 2:	Traço "B"- Determinação da massa com a idade	125
Tabela 3:	Traço "C"- Determinação da massa com a idade	125
Tabela 4:	Traço "D"- Determinação da massa com a idade	126
Tabela 5:	Traço "E ₁ "- Determinação da massa com a idade	126
Tabela 6:	Traço "E ₄ "- Determinação da massa com a idade	126
Tabela 7:	Traço "F ₁ "- Determinação da massa com a idade	126
Tabela 8:	Traço "G ₅ "- Determinação da massa com a idade	127
Tabela 9:	Traço "I ₅ "- Determinação da massa com a idade	127
Tabela 10:	Traço "L"- Determinação da massa com a idade	127
Tabela 11:	Traço "P"- Determinação da massa com a idade	128
Tabela 12:	Traço "T ₂ "- Determinação da massa com a idade	128

Tabela 1: Traço “A” – Determinação da massa com a idade.

CP's	IDADE (dias) / MASSA (gramas)						
	0	5	7	14	21	28	35
1	19,20	14,07	13,55	14,64	14,67	13,51	13,64
2	20,19	14,19	14,35	15,28	14,91	14,25	14,22
3	18,88	13,76	14,79	14,80	13,48	13,33	13,34
4	19,33	13,59	13,83	14,26	13,80	13,66	13,60
5	19,69	13,82	14,38	15,74	13,87	13,86	13,86
6	19,27	13,55	14,05	14,32	13,65	13,58	13,59
MÉDIA	19,43	13,83	14,16	14,84	14,06	13,70	13,71

Tabela 2: Traço “B” – Determinação da massa com a idade.

CP's	IDADE (dias) / MASSA (gramas)						
	0	5	7	14	21	28	35
1	18,90	18,44	18,36	16,54	13,74	13,71	13,72
2	18,77	17,73	17,50	17,61	14,05	13,50	13,50
3	18,72	18,02	17,10	16,86	13,65	13,40	13,39
4	18,81	18,10	17,92	18,13	14,58	13,50	13,51
5	18,38	17,86	17,61	16,30	13,51	13,12	13,12
MÉDIA	18,72	18,03	17,70	17,09	13,91	13,45	13,45

Tabela 3: Traço “C” – Determinação da massa com a idade.

CP's	IDADE (dias) / MASSA (gramas)						
	0	5	7	14	21	28	35
1	18,92	18,35	18,16	16,13	13,40	13,22	13,21
2	18,83	18,34	18,33	16,35	13,04	13,03	13,02
3	18,84	18,11	17,67	16,67	13,51	13,15	13,15
4	19,20	18,58	18,63	17,29	13,99	13,20	13,19
5	18,77	18,25	18,15	15,82	13,46	13,10	13,10
6	19,12	18,30	18,25	17,49	13,44	13,12	13,13
MÉDIA	18,95	18,32	18,20	16,63	13,47	13,14	13,13

Tabela 4: Traço “D” – Determinação da massa com a idade.

CP's	IDADE (dias) / MASSA (gramas)						
	0	5	7	14	21	28	35
1	19,22	18,35	18,56	16,96	14,57	13,40	13,40
2	19,10	18,68	18,44	18,15	13,83	13,47	13,46
3	19,17	18,32	18,28	18,20	14,54	13,48	13,49
4	19,69	19,01	19,02	18,63	15,36	13,80	13,78
5	19,30	18,48	18,29	17,33	14,37	13,46	13,47
MÉDIA	19,30	18,57	18,52	17,85	14,53	13,52	13,52

Tabela 5: Traço “E₁” – Determinação da massa com a idade.

CP's	IDADE (dias) / MASSA (gramas)						
	0	5	7	14	21	28	35
1	18,79	17,81	16,22	13,74	13,50	13,48	13,49
2	18,94	15,97	15,85	13,80	13,60	13,60	13,60
3	18,72	17,66	15,63	13,63	13,50	13,51	13,51
MÉDIA	18,82	17,15	15,90	13,72	13,53	13,53	13,53

Tabela 6: Traço “E₄” – Determinação da massa com a idade.

CP's	IDADE (dias) / MASSA (gramas)						
	0	5	7	14	21	28	35
1	19,29	18,33	16,34	14,27	13,96	13,97	13,95
2	19,46	17,35	16,82	14,32	14,05	14,08	14,11
3	19,51	17,52	15,86	14,38	14,20	14,22	14,17
MÉDIA	19,42	17,73	16,34	14,32	14,07	14,09	14,08

Tabela 7: Traço “F₁” – Determinação da massa com a idade.

CP's	IDADE (dias) / MASSA (gramas)						
	0	5	7	14	21	28	35
1	19,29	15,40	13,63	13,63	13,65	13,65	13,65
2	18,99	15,20	13,48	13,43	13,44	13,44	13,42
3	18,86	15,49	13,28	13,31	13,32	13,34	13,29
4	19,06	15,27	13,30	13,30	13,29	13,28	13,28
5	18,99	15,35	13,32	13,31	13,31	13,30	13,28
6	19,43	15,20	13,58	13,59	13,59	13,57	13,56
MÉDIA	19,10	15,32	15,32	13,43	13,43	13,43	13,41

Tabela 8: Traço “G₅” – Determinação da massa com a idade.

CP's	IDADE (dias) / MASSA (gramas)					
	0	7	14	21	28	35
1	20,01	15,84	15,95	15,90	15,86	15,86
2	19,69	15,61	15,65	15,55	15,84	15,84
3	20,11	15,81	16,00	15,83	15,81	15,81
4	20,74	16,05	16,12	16,02	15,99	15,99
5	20,36	15,76	15,65	15,62	15,58	15,58
6	20,10	15,55	15,55	15,46	15,45	15,45
MÉDIA	19,85	15,73	15,80	15,73	15,85	15,76

Tabela 9: Traço “I₅” – Determinação da massa com a idade.

CP's	IDADE (dias) / MASSA (gramas)					
	0	5	7	14	21	28
1	20,66	16,57	15,80	15,79	15,80	15,76
2	20,31	16,64	15,49	15,47	15,47	15,45
3	19,96	15,55	15,45	15,42	15,42	15,43
4	19,99	15,80	15,20	15,16	15,18	15,13
5	19,81	15,77	15,31	15,31	15,31	15,31
6	20,30	16,81	15,68	15,74	15,70	15,75
MÉDIA	20,17	16,19	15,49	15,48	15,48	15,47

Tabela 10: Traço “L” – Determinação da massa com a idade.

CP's	IDADE (dias) / MASSA (gramas)					
	0	7	14	21	28	35
1	19,74	16,35	14,50	14,64	14,52	14,51
2	20,10	17,77	14,53	14,54	14,54	14,52
3	19,96	16,55	14,49	14,49	14,47	14,48
4	19,84	15,72	14,54	14,59	14,55	14,55
5	19,67	15,71	14,38	14,54	14,40	14,39
	19,64	15,61	14,53	14,40	14,49	14,51
MÉDIA	19,83	16,29	14,50	14,53	14,50	14,49

Tabela 11: Traço “P” – Determinação da massa com a idade.

CP's	IDADE (dias) / MASSA (gramas)				
	0	7	14	21	28
1	19,06	16,15	13,59	13,60	13,60
2	17,70	14,85	13,33	13,33	13,35
3	18,94	16,04	13,37	13,37	13,26
4	18,84	15,78	13,35	13,32	13,34
5	18,81	15,91	13,41	13,41	13,42
MÉDIA	18,67	15,75	13,41	13,41	13,39

Tabela 12: Traço “T₂” – Determinação da massa com a idade.

CP's	IDADE (dias) / MASSA (gramas)				
	0	7	14	21	28
1	20,93	18,63	16,73	16,71	16,72
2	20,87	18,54	16,63	16,61	16,58
3	21,17	19,98	16,82	16,81	16,81
4	20,92	18,62	16,55	16,54	16,54
5	20,87	18,47	16,60	16,59	16,59
MÉDIA	20,95	18,85	16,67	16,65	16,65

ANEXO B

ENSAIO DE ABSORÇÃO POR IMERSÃO

Tabela 1: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção no traço B	130
Tabela 2: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção no traço G ₅ e G ₈	131
Tabela 3: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção no traço I ₅	132
Tabela 4: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção no traço L.....	133
Tabela 5: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção no traço P.....	134
Tabela 6: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção no traço T ₂	135

Tabela 1: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção no traço B.

Índices / CP's	1B	2B	3B
m_1 (g)	222,23	222,93	220,02
m_2 (g)	42,89	41,24	44,40
m_{3-1} (g)	221,82	222,57	219,69
m_{3-2} (g)	221,69	222,50	219,58
m_{3-3} (g)	221,58	222,39	219,52
m_s (g)	221,70	222,50	219,63
m_{sat-1} (g)	308,01	304,86	304,07
m_{sat-2} (g)	304,86	301,98	301,02
m_{sat-3} (g)	304,24	301,19	300,18
m_{i-1} (g)	103,56	103,02	102,54
m_{i-2} (g)	103,20	102,86	101,79
m_{i-3} (g)	103,68	103,17	101,95
M_{sat_fer} (g)	305,48	301,71	303,20
M_{i_ferv} (g)	114,16	113,02	113,43
Ab_{sat} (%)	37,23	35,37	36,68
Ab_{ferv} (%)	37,79	35,60	38,05
I_{sat} (%)	41,15	39,74	40,63
I_{ferv} (%)	43,79	41,98	44,04
γ_o (g/cm ³)	1,10	1,12	1,09
γ_{sat} (g/cm ³)	1,51	1,52	1,49
γ_{ferv} (g/cm ³)	1,51	1,52	1,1
γ_{real} (g/cm ³)	1,88	1,86	1,87

Tabela 2: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção no traço G_5 e G_8 .

Índices / CP's	1G ₅	2G ₅	3G ₅	4G ₅	5G ₅	1G ₈	2G ₈
m₁ (g)	234,79	234,99	243,93	246,11	242,93	274,39	279,03
m₂ (g)	42,65	36,74	37,21	41,57	37,57	77,20	77,65
m₃₋₁ (g)	234,25	234,19	243,00	245,33	242,23	272,34	277,26
m₃₋₂ (g)	234,13	234,08	242,87	245,19	242,12	272,05	277,01
m₃₋₃ (g)	234,07	234,04	242,79	245,13	242,07	271,91	276,87
m_S (g)	234,15	234,11	242,89	245,21	242,14	272,25	277,23
m_{sat-1} (g)	312,80	312,88	323,52	325,75	323,08	333,44	340,72
m_{sat-2} (g)	312,94	312,96	323,47	326,07	323,19	333,45	340,80
m_{sat-3} (g)	313,24	313,62	324,19	326,57	323,73	333,52	241,00
m_{i-1} (g)	114,48	113,81	116,76	120,75	116,93	133,86	136,61
m_{i-2} (g)	114,63	113,97	117,03	121,21	117,15	134,20	136,60
m_{i-3} (g)	115,07	114,93	118,02	122,00	117,86	134,37	136,80
M_{sat_fer} (g)	323,01	323,04	336,19	335,38	333,57	344,70	351,47
M_{i_ferv} (g)	126,09	125,73	131,11	132,38	129,91	145,50	147,96
Ab_{sat} (%)	33,78	33,96	33,47	33,18	33,70	22,51	23,00
Ab_{ferv} (%)	37,95	37,99	38,41	36,77	37,76	26,61	26,78
I_{sat} (%)	39,91	40,02	39,43	39,77	39,63	30,77	31,23
I_{ferv} (%)	45,12	45,07	45,49	44,42	44,89	36,37	36,48
Y_o (g/cm ³)	1,13	1,12	1,11	1,15	1,12	1,29	1,29
Y_{sat} (g/cm ³)	1,51	1,51	1,49	1,53	1,50	1,59	1,59
Y_{ferv} (g/cm ³)	1,55	1,55	1,54	1,57	1,55	1,64	1,64
Y_{real} (g/cm ³)	1,97	1,96	1,95	1,99	1,95	1,97	1,97

Tabela 3: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção no traço I₅.

Índices / CP's	1I ₅	2I ₅	3I ₅	4I ₅	5I ₅
m₁ (g)	251,15	252,41	242,92	252,32	250,56
m₂ (g)	47,53	47,30	45,64	47,52	47,28
m₃₋₁ (g)	250,72	251,96	242,41	251,74	250,06
m₃₋₂ (g)	250,61	251,85	242,32	251,67	249,96
m₃₋₃ (g)	250,58	251,81	242,29	251,62	249,93
m_S (g)	250,68	251,91	242,37	251,72	250,01
m_{sat-1} (g)	327,72	330,77	316,99	327,80	324,71
m_{sat-2} (g)	327,53	330,70	316,98	327,80	324,62
m_{sat-3} (g)	328,47	331,62	317,63	328,24	325,25
m_{i-1} (g)	122,62	125,30	119,31	122,80	120,96
m_{i-2} (g)	122,95	125,64	119,52	123,06	121,25
m_{i-3} (g)	123,87	126,79	120,65	123,81	121,90
M_{sat_fer} (g)	336,22	337,34	324,81	337,34	335,68
M_{i_ferv} (g)	134,16	134,71	129,66	134,77	133,96
Ab_{sat} (%)	31,03	31,64	31,05	30,40	30,09
Ab_{ferv} (%)	34,12	33,91	34,01	34,01	34,27
I_{sat} (%)	38,02	38,92	38,21	37,43	37,00
I_{ferv} (%)	42,33	42,16	42,24	42,27	42,47
Y_o (g/cm ³)	1,18	1,20	1,19	1,18	1,17
Y_{sat} (g/cm ³)	1,55	1,58	1,56	1,54	1,52
Y_{ferv} (g/cm ³)	1,58	1,60	1,59	1,58	1,57
Y_{real} (g/cm ³)	1,98	2,01	1,99	1,97	1,95

Tabela 4: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção no traço L.

Índices / CP's	1L	2L	3L	4L	5L	6L
m_1 (g)	236,86	236,22	237,42	236,67	237,86	234,15
m_2 (g)	42,77	47,05	41,37	44,15	42,24	42,88
m_{3-1} (g)	236,53	235,92	237,03	236,38	237,54	233,86
m_{3-2} (g)	236,43	235,82	236,97	236,29	237,47	233,76
m_{3-3} (g)	236,37	235,78	236,91	236,26	237,41	233,71
m_s (g)	236,59	235,96	237,12	236,46	237,63	233,89
m_{sat-1} (g)	315,88	314,88	314,46	314,60	315,35	317,34
m_{sat-2} (g)	315,86	314,89	314,60	314,64	315,40	317,43
m_{sat-3} (g)	316,23	315,27	315,04	315,17	315,94	317,79
m_{i-1} (g)	113,81	113,39	112,66	113,23	113,42	113,81
m_{i-2} (g)	114,44	114,19	113,21	113,89	113,83	114,61
m_{i-3} (g)	114,79	114,80	113,62	114,41	114,64	114,70
M_{sat_fer} (g)	311,37	312,32	312,52	318,33	315,47	322,06
M_{i_ferv} (g)	116,69	119,05	113,90	121,42	116,74	122,10
Ab_{sat} (%)	33,66	33,61	32,86	33,29	32,95	35,87
Ab_{ferv} (%)	31,61	32,36	31,80	34,62	32,76	37,70
I_{sat} (%)	39,54	39,56	38,69	39,21	38,90	41,31
I_{ferv} (%)	38,41	39,51	37,96	41,58	39,17	44,09
γ_o (g/cm ³)	1,20	1,19	1,19	1,16	1,18	1,13
γ_{sat} (g/cm ³)	1,61	1,60	1,58	1,55	1,57	1,53
γ_{ferv} (g/cm ³)	1,58	1,58	1,57	1,56	1,57	1,55
γ_{real} (g/cm ³)	1,94	1,95	1,92	1,94	1,93	1,96

Tabela 5: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção no traço P.

Índices / CP's	1P	2P	3P
m_1 (g)	215,21	210,48	219,52
m_2 (g)	32,28	31,57	32,93
m_{3-1} (g)	214,62	209,90	218,92
m_{3-2} (g)	214,46	209,78	218,70
m_{3-3} (g)	214,35	209,66	218,58
m_s (g)	214,55	209,86	218,79
m_{sat-1} (g)	232,53	229,86	242,12
m_{sat-2} (g)	238,89	232,90	244,03
m_{sat-3} (g)	238,31	232,27	230,15
m_{i-1} (g)	35,66	33,87	38,33
m_{i-2} (g)	42,60	37,55	40,52
m_{i-3} (g)	43,15	37,87	41,18
M_{sat_fer} (g)	289,39	286,66	298,29
M_{i_ferv} (g)	106,91	107,22	103,70
Ab_{sat} (%)	11,07	10,68	5,19
Ab_{ferv} (%)	34,88	36,60	36,34
I_{sat} (%)	12,17	11,53	6,01
I_{ferv} (%)	41,01	42,80	40,86
γ_o (g/cm ³)	0,87	0,84	0,85
γ_{sat} (g/cm ³)	0,97	0,93	0,90
γ_{ferv} (g/cm ³)	1,18	1,15	1,16
γ_{real} (g/cm ³)	1,25	1,22	1,23

Tabela 6: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção no traço T_2 .

Índices / CP's	1 T_2	2 T_2	3 T_2
m_1 (g)	270,60	268,24	274,32
m_2 (g)	65,90	63,47	70,96
m_{3-1} (g)	269,73	267,32	273,35
m_{3-2} (g)	269,23	267,20	273,23
m_{3-3} (g)	269,10	267,08	273,15
m_s (g)	269,73	267,30	273,32
m_{sat-1} (g)	287,78	284,68	289,77
m_{sat-2} (g)	290,18	287,35	292,27
m_{sat-3} (g)	289,70	286,89	291,57
m_{i-1} (g)	83,49	82,62	82,85
m_{i-2} (g)	86,80	85,82	86,58
m_{i-3} (g)	87,19	86,36	86,35
M_{sat_fer} (g)	338,51	335,59	341,45
M_{i_ferv} (g)	139,28	138,02	140,02
Ab_{sat} (%)	7,40	7,33	6,68
Ab_{ferv} (%)	25,50	25,55	24,93
I_{sat} (%)	9,86	9,77	8,89
I_{ferv} (%)	34,52	34,56	33,82
γ_o (g/cm ³)	1,07	1,07	1,07
γ_{sat} (g/cm ³)	1,15	1,15	1,14
γ_{ferv} (g/cm ³)	1,35	1,35	1,34
γ_{real} (g/cm ³)	1,48	1,48	1,46

Onde:

m_1 – massa natural ao ar, em gramas;

m_2 – massa natural imersa, em gramas;

m_{3-1} – massa seca em estufa após permanência de 24 horas, em gramas;

m_{3-2} – massa seca em estufa após permanência de 48 horas, em gramas;

m_{3-3} – massa seca em estufa após permanência de 72 horas, em gramas;

m_s – massa seca no dessecador a temperatura de 23 ± 2 °C, em gramas;

$m_{\text{sat-1}}$ – massa saturada com superfície seca após 24 horas de imersão, em gramas;

$m_{\text{sat-2}}$ – massa saturada com superfície seca após 48 horas de imersão, em gramas;

$m_{\text{sat-3}}$ – massa saturada com superfície seca após 72 horas de imersão, em gramas;

m_{i-1} – massa da amostra imersa em água após 24 horas de imersão, em gramas;

m_{i-2} – massa da amostra imersa em água após 48 horas de imersão, em gramas;

m_{i-3} – massa da amostra imersa em água após 72 horas de imersão, em gramas;

$M_{\text{sat_fer}}$ – massa saturada com superfície seca após fervura, em gramas;

M_{i_ferv} – massa da amostra imersa em água após saturação e fervura, em gramas.

Ab_{sat} = taxa de absorção de água após imersão (%);

Ab_{ferv} = taxa de absorção de água após imersão e fervura (%);

I_{sat} = Índice de vazios após saturação em água (%);

I_{ferv} = Índice de vazios após saturação e fervura (%);

γ_o = A massa específica da amostra seca (g/cm^3);

γ_{sat} = massa específica da amostra após saturação (g/cm^3);

γ_{ferv} = massa específica após saturação e fervura (g/cm^3);

γ_{real} = massa específica real (g/cm^3).

ANEXO C

ENSAIO DE ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

Tabela 1:	Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção por capilaridade no traço B.....	138
Tabela 2:	Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção por capilaridade no traço G ₅	139
Tabela 3:	Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção por capilaridade no traço I ₅	140
Tabela 4:	Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção por capilaridade no traço L.....	141
Tabela 5:	Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção por capilaridade no traço P.....	142
Tabela 6:	Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção por capilaridade no traço T ₂	143

Tabela 1: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção por capilaridade no traço B.

Índices / CP's	1B	2B	3B
m₁ (g)	222.26	216.93	220.59
m₂₋₁ (g)	221.91	216.59	220.26
m₂₋₂ (g)	221.80	216.49	220.16
B (g)	222.08	216.77	220.41
A_{3h} (g)	310.68	304.14	308.78
A_{6h} (g)	310.74	304.24	309.00
A_{24h} (g)	311.36	304.87	309.71
A_{48h} (g)	312.18	305.82	310.66
A_{72h} (g)	312.96	306.34	311.52
C_{3h} (g/cm²)	4.51	4.45	4.50
C_{6h} (g/cm²)	4.52	4.46	4.51
C_{24h} (g/cm²)	4.55	4.49	4.55
C_{48h} (g/cm²)	4.59	4.54	4.60
C_{72h} (g/cm²)	4.63	4.56	4.64

Tabela 2: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção por capilaridade no traço G₅.

Índices / CP's	1G₅	2G₅	3G₅	4G₅	5G₅
m₁ (g)	241.12	235.51	235.65	245.50	241.78
m₂₋₁ (g)	240.73	235.10	235.26	245.08	241.39
m₂₋₂ (g)	240.55	234.93	235.11	244.91	241.22
B (g)	240.68	235.07	235.27	245.10	241.38
A_{3h} (g)	274.73	283.45	273.61	319.88	285.26
A_{6h} (g)	312.65	308.00	310.32	323.68	318.65
A_{24h} (g)	313.27	309.04	311.08	324.34	319.49
A_{48h} (g)	313.81	309.67	311.60	324.90	319.95
A_{72h} (g)	314.52	310.27	312.10	325.38	320.50
C_{3h} (g/cm²)	1.74	2.47	1.95	3.81	2.24
C_{6h} (g/cm²)	3.67	3.72	3.82	4.00	3.94
C_{24h} (g/cm²)	3.70	3.77	3.86	4.04	3.98
C_{48h} (g/cm²)	3.73	3.80	3.89	4.07	4.00
C_{72h} (g/cm²)	3.76	3.83	3.91	4.09	4.03

Tabela 3: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção por capilaridade no traço I₅.

Índices / CP's	1I₅	2I₅	3I₅	4I₅	5I₅
m₁ (g)	238.04	246.89	249.70	237.59	248.05
m₂₋₁ (g)	237.69	246.54	249.34	237.26	247.70
m₂₋₂ (g)	237.55	246.41	249.21	237.13	247.55
B (g)	237.70	246.56	249.35	237.27	247.71
A_{3h} (g)	271.23	279.07	284.23	279.96	299.02
A_{6h} (g)	310.42	321.92	325.75	309.80	322.07
A_{24h} (g)	311.47	322.95	326.88	310.63	322.71
A_{48h} (g)	312.11	323.55	327.75	311.27	323.15
A_{72h} (g)	312.67	324.21	328.07	311.93	323.70
C_{3h} (g/cm²)	1.71	1.66	1.78	2.18	2.61
C_{6h} (g/cm²)	3.71	3.84	3.89	3.70	3.79
C_{24h} (g/cm²)	3.76	3.89	3.95	3.74	3.82
C_{48h} (g/cm²)	3.79	3.92	3.99	3.77	3.84
C_{72h} (g/cm²)	3.82	3.96	4.01	3.80	3.87

Tabela 4: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção por capilaridade no traço L.

Índices / CP's	1L	2L	3L	4L	5L
m₁ (g)	236.30	236.75	235.56	236.67	234.91
m₂₋₁ (g)	235.95	236.41	235.21	236.35	234.57
m₂₋₂ (g)	235.60	236.04	234.91	236.01	234.22
B (g)	235.69	236.11	235.00	236.08	234.30
A_{3h} (g)	315.72	316.09	308.18	316.15	314.84
A_{6h} (g)	316.75	316.37	315.41	316.52	315.06
A_{24h} (g)	317.87	317.45	316.60	317.68	316.03
A_{48h} (g)	318.82	318.37	317.53	318.65	316.99
A_{72h} (g)	319.45	319.03	318.19	319.24	317.48
C_{3h} (g/cm²)	4.08	4.08	3.73	4.08	4.10
C_{6h} (g/cm²)	4.13	4.09	4.10	4.10	4.12
C_{24h} (g/cm²)	4.19	4.14	4.16	4.16	4.16
C_{48h} (g/cm²)	4.24	4.19	4.21	4.21	4.21
C_{72h} (g/cm²)	4.27	4.23	4.24	4.24	4.24

Tabela 5: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção por capilaridade no traço P.

Índices / CP's	1P	2P	3P
m₁ (g)	218.57	210.31	217.52
m₂₋₁ (g)	217.85	209.72	216.77
m₂₋₂ (g)	217.58	209.48	216.61
B (g)	217.67	209.56	216.69
A_{3h} (g)	219.54	211.29	218.79
A_{6h} (g)	220.33	211.98	219.64
A_{24h} (g)	222.98	214.34	222.53
A_{48h} (g)	224.81	215.95	224.40
A_{72h} (g)	222.95	217.06	225.54
C_{3h} (g/cm²)	0.11	0.10	0.09
C_{6h} (g/cm²)	0.15	0.14	0.12
C_{24h} (g/cm²)	0.30	0.27	0.24
C_{48h} (g/cm²)	0.39	0.36	0.33
C_{72h} (g/cm²)	0.45	0.42	0.38

Tabela 6: Massas e índices obtidos durante ensaio de absorção no traço T₂.

Índices / CP's	1T ₂	2T ₂	3T ₂	4T ₂	5T ₂	6T ₂
m₁ (g)	271.62	269.07	268.58	263.36	258.70	269.18
m₂₋₁ (g)	270.97	268.43	267.99	262.75	257.83	268.29
m₂₋₂ (g)	270.78	268.25	267.84	262.55	257.68	268.13
B (g)	271.26	268.71	268.33	263.02	257.77	268.22
A_{3h} (g)	272.21	270.60	269.56	264.13	259.58	270.11
A_{6h} (g)	273.36	272.79	271.30	265.36	260.32	270.79
A_{24h} (g)	278.63	278.95	277.26	270.15	263.03	273.32
A_{48h} (g)	283.09	282.83	281.36	274.22	264.79	274.91
A_{72h} (g)	285.70	284.95	283.67	276.65	265.79	275.75
C_{3h} (g/cm ²)	0.05	0.10	0.06	0.06	0.09	0.10
C_{6h} (g/cm ²)	0.11	0.21	0.15	0.12	0.13	0.13
C_{24h} (g/cm ²)	0.38	0.52	0.46	0.36	0.27	0.26
C_{48h} (g/cm ²)	0.60	0.72	0.66	0.57	0.36	0.34
C_{72h} (g/cm ²)	0.74	0.83	0.78	0.69	0.41	0.38

Onde:

m_1 – massa natural ao ar, em gramas;

m_{2-1} – massa seca em estufa após permanência de 24 horas, em gramas;

m_{2-2} – massa seca em estufa após permanência de 48 horas, em gramas;

B – massa seca no dessecador a temperatura de 23 +/- 2 °C, em gramas;

A_{3h} – massa das amostras em contato com a água após 3 horas, em gramas;

A_{6h} – massa das amostras em contato com a água após 6 horas, em gramas;

A_{24h} – massa das amostras em contato com a água após 24 horas, em gramas;

A_{48h} – massa das amostras em contato com a água após 48 horas, em gramas;

A_{72h} – massa das amostras em contato com a água após 72 horas, em gramas;

C_{3h} = Absorção de água por capilaridade após 3 horas em contato com a água, em g/cm²;

C_{6h} = Absorção de água por capilaridade após 6 horas em contato com a água, em g/cm²;

C_{24h} = Absorção de água por capilaridade após 24 horas em contato com a água, em g/cm²;

C_{48h} = Absorção de água por capilaridade após 48 horas em contato com a água, em g/cm²;

C_{72h} = Absorção de água por capilaridade após 72 horas em contato com a água, em g/cm².

ANEXO D

RELATÓRIOS DE ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL