UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

LUIZ FERNANDO BERNHOEFT

CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSA COM GESSO RECICLADO.

Recife, PE
2010

UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

LUIZ FERNANDO BERNHOEFT

CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSA COM GESSO RECICLADO.

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Duarte Gusmão
Co-orientador: Profa. Dra.Yêda V. Póvoas Tavares

Recife, PE
2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Universidade de Pernambuco – Recife

Bernhoeft, Luiz Fernando

B527c Caracterização de propriedades físicas e mecânicas de argamassa com gesso reciclado / Luiz Fernando Bernhoeft. – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2010.

80 f. : il.

Orientador: Dr. Alexandre Duarte Gusmão
Dissertação (Mestrado - Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, 2010.

1. Gesso. 2. Revestimento em gesso. 3. Gestão de resíduo da construção I. Gusmão, Alexandre Duarte (orient.). II. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. III. Título.

CDU: 691.55

LUIZ FERNANDO BERNHOEFT

CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE MECÂNICAS DE ARGAMASSA COM GESSO RECICLADO

BANCA EXAMINADORA:

Orientador:

_____
Prof. Dr. Alexandre Duarte Gusmão
Universidade de Pernambuco

Co - orientadora:

_____
Prof. Drª. Yêda Vieira Póvoas Tavares
Universidade de Pernambuco

Examinadores:

_____
Prof.Dr. Valdemir Alexandre dos Santos
Examinador externo
Universidade Católica de Pernambuco

_____
Prof.Dr. Arnaldo Cardim de Carvalho Filho
Examinador Interno
Universidade de Pernambuco

Recife, PE
2010

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, por me ensinar em tese e prática que a educação é a maior herança que podemos deixar a um filho.

AGRADECIMENTOS

A minha esposa Danielle que me sustenta, me motiva e sempre me deu todo o apoio necessário, certamente a pessoa neste mundo que mais acredita em meu potencial.

As minhas filhas Bruna e Júlia pois mesmo sem saber, cada sorriso em seus rostos, são combustíveis essenciais que me fazem sempre querer mais e melhor.

Ao professor Alexandre Gusmão que talvez por ser mais Professor do que Doutor, é inspiração profissional e acadêmica, desde o inicio dos anos 90, sendo meu professor na Escola técnica, na Graduação em engenharia civil, e nas aulas do Mestrado, ainda tive a mais absoluta "sorte" de tê-lo como meu orientador, sem seu apoio e confiança este trabalho não seria possível.

A professora Yeda Povoas que mesmo diante de uma gestação, e natural dificuldades posteriores, exercitou o máximo de sua paciência comigo me forneceu orientações fundamentais para conclusão do trabalho.

A Italo e Rodrigo, alunos de iniciação cientifica, companheiros de laboratórios e formidáveis nas metas e agendamentos estabelecidos, além de grande companheiros em discussões ou troca de informações técnicas.

A Lajeiro Gesso, especialmente na pessoa de Cleandro que forneceu fundamental apoio aos registros deste trabalho que se referem a canteiro de obra.

Não posso deixar de agradecer a FACEPE, pelo apoio fomentando pesquisas em nosso estado.

“ O único lugar onde sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”
Albert Einstein

RESUMO

O objetivo desta dissertação foi analisar a influência da adição de resíduo beneficiado de pasta de gesso como agregado em argamassa de gesso para revestimentos internos, estudando algumas de suas propriedades tanto no estado fresco como endurecido. Sabendo que o gesso é cada vez mais utilizado como opção alternativa para revestimento, e ainda que a utilização deste material produz um importante desafio em sua utilização por se tratar de um material classe C, segundo a resolução do CONAMA (2003), o princípio fundamental do estudo é a reutilização de sobras de gesso no próprio canteiro de obra.

Na Metodologia utilizada foi fixada a relação água/gesso de 0,66, valor obtido através do ensaio de consistência normal, e executados ensaios comparativos entre o gesso natural, GN, e o gesso aditivado com 5 e 10 % de resíduo, G5 e G10. Os ensaios executados foram de início e fim de pega, calor de hidratação, resistência à compressão, e resistência de aderência.

Foi ainda observado e registrado procedimentos empíricos da utilização deste processo em obras na Região Metropolitana do Recife.

Para as adições entre 0 e 10% de resíduo, os resultados apresentam diminuição do tempo de pega diretamente proporcional ao incremento da adição, claramente observados nas curvas de calor de hidratação. Com isso, são necessários cuidados para utilização deste processo, uma vez que o rápido endurecimento das pastas de gesso é a causa da grande geração de resíduo. A diminuição da resistência à compressão é diretamente proporcional ao volume adicionado de resíduo (para relação a/g próxima a 0,66), por outro lado, os resultados mostram pequena influência desta adição na resistência de aderência, sendo praticamente irrelevantes as alterações. No campo, a instituição dos procedimentos para reaproveitamento das sobras, foram detalhadas, sendo observado diminuição (não medida) da geração de resíduo

Palavras-chave:

Reciclagem, gesso, resíduo, revestimento

ABSTRACT

The aim of this work was to analyze the influence of the addition of waste received folder as aggregate gypsum plaster mortar linings for studying some properties of early age and hardened. Knowing that plaster is used increasingly as an alternative to coating, and that the use of this material produces a significant challenge in its use because it is a Class C material, according to CONAMA 2003, the study's goal is to ratify a proposal reuse of leftover plaster on the construction work.

Methodology used was fixed at the water / plaster of 0.66, a value obtained by testing normal consistency, and performed comparative tests between the pure gypsum and gypsum added with 5 and 10% of waste, G5 and G10. The tests were run to start and end grip, heat of hydration, compressive strength, and bonding strength. It was also observed and recorded practical procedures, empirical use of this process works in the Metropolitan Region of Recife.

For additions between 0 and 10% waste, the results showed a decrease of setting time directly proportional to the increase in addition, requiring care to use the process as the rapid hardening of gypsum plasters is the cause of his great generation residue, and a decrease in compressive strength directly proportional to the added volume of waste (for ratios a / g close to 0.66), and also the results show little influence of this residue in addition to grip strength, being almost irrelevant changes.

Keywords:

Recycling, gypsum, waste, coating

LISTA DE FIGURAS…….....12
LISTA DE TABELAS.....14

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15

1.1 Considerações iniciais.....15
1.2 Justificativa.....16
1.3 Objetivos 17
1.3.1 Objetivo geral.....17
1.3.2 Objetivos específicos.....17
1.4 Estrutura da dissertação 18

2 REFERENCIAL TEÓRICO.....19

2.1 Relevância do Gesso na Construção Civil 19
2.2 A produção do gesso 20
2.3 Hidratação e Pega do Gesso 22
2.3.1 Tempo útil das pastas de gesso 23
2.3.2 Fatores que influenciam a cinética da reação de hidratação do gesso 25
2.4 Desafios na Aplicação do Gesso para Revestimentos.....26
2.5 Reciclagem dos Resíduos de Gesso em Obras.....29

3 METODOLOGIA.....31

3.1 Procedimentos de Campo.....31
3.1.1 Etapa 01 - Serviços pré liminares.....32
3.1.2 Etapa 02 –Mistura.....35
3.1.3 Etapa 03 – Aplicação.....36
3.2 Programa experimental.....37

3.2.1 Caracterização química das amostras.....39
3.2.2 Seleção dos teores de adição de resíduo.....40
3.2.3 Consistência Normal.....40
3.2.4 Tempo de pega.....42
3.2.5 Calor de hidratação 43
3.2.6 Resistência à Compressão.....44
3.2.7 Resistência de aderência 46
3.2.7.1Forma de ruptura da amostra.....48
3.2.7.2Tratamento estatístico dos resultados.....49
3.2.8 Massa unitária 49

4 RESULTADOS E COMENTÁRIOS.....51

4.1 Observações “in loco” 51
4.2 Experimentos realizados na pasta / argamassa no estado fresco 51
4.2.1 Tempo de pega.....51
4.2.1.1Comparação com pesquisas anteriores 54
4.2.2 Calor de hidratação 55
4.2.3 Resistência à Compressão.....58
4.2.4 Resistência de aderência 62

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 68

5.1 Proposta para estudos complementares.....69

REFERÊNCIAS.....……....69
APÊNDICE.....72
ANEXO.....76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Curva de hidratação do gesso (ANTUNES, 1999) 23
Figura 2 - Divisão percentual proposta por Antunes et al.(1999) , do tempo de utilização da pasta de gesso 24
Figura 3 - Geração de resíduo na aplicação de revestimento de gesso 26
Figura 4 - Destinação inadequada de resíduo de RCD 28
Figura 5 - Detalhe de preparação do ambiente para coleta de resíduo. 31
Figura 6 - Preparação do ambiente para posterior coleta de resíduo do gesso. 32
Figura 7 - Moagem do resíduo de forma manual. 33
Figura 8 - Moagem do resíduo de forma mecânica. 33
Figura 9 - Peneira plástica para determinação da dimensão máxima do resíduo em obra. 33
Figura 10 - Resultado da moagem mecânica. 34
Figura 11 - Deficiência na base (alvenaria) gerando grandes espessuras de revestimentos. ... 34
Figura 12 - Espessura de até 25 mm, por deficiência da base. 34
Figura 13 - Pesagem do resíduo - preparação para adição. 35
Figura 14 - Adição de resíduo a pasta de gesso 36
Figura 15 - Superfície aplicada com resíduo a espera de acabamento final. 36
Figura 16 - Aplicação de acabamento final com pasta sem adição de resíduo. 37
Figura 17 - Resíduo de gesso coletado em obra para beneficiamento 37
Figura 18 - Moagem do resíduo de gesso 38
Figura 19 - Esquema do aparelho de Vicat Modificado (ANTUNES, 1999) 40
Figura 20 - Aparelho de Vicat Modificado utilizado no LACC - POLI/UPE 40
Figura 21 - Aparelho de Vicat utilizado no LACC – POLI/UPE. 42
Figura 22 - Etapas das reações de hidratação da pasta de gesso 43
Figura 23 - Calorímetro pseudo-adiabático, montado no LACC – POLI/UPE 44
Figura 24 - Molde dos corpos de prova para determinação da resistência à compressão 44
Figura 25 - Máquina universal de ensaios utilizada 45
Figura 26 - Corpo de prova a ser rompido por compressão. 45
Figura 27 - Expressão gráfica do resultado da tensão de compressão 46
Figura 28 - Expressão numérica de tensão de compressão. 46
Figura 29 - Pórtico preparado para execução de ensaio de resistência de aderência. 47
Figura 30 - Execução de ensaio de resistência de aderência 47

Figura 31 - Rompimento tipo 1, bloco cerâmico. 48
Figura 32 - Rompimento Tipo 2, interface argamassa / base. 48
Figura 33 - Rompimento Tipo 3, argamassa de gesso. 49
Figura 34 - Aparelho para determinação de massa unitária. 49
Figura 35 - Tempo de pega do gesso. 52
Figura 36 - Tempo de pega do gesso com adição de 5% de resíduo. 52
Figura 37 - Tempo de pega do gesso com adição de 10% de resíduo 53
Figura 38 - Comparações entre resultados para início de pega obtidos por Schimitz (2008) e a atual pesquisa. 55
Figura 39 - Comparações entre resultados para fim de pega obtidos por Schimitz (2008) e a atual pesquisa. 55
Figura 40 - Calor de hidratação da pasta e das argamassas de gesso. 57
Figura 41 - T1 (Tempo de início de pega), e T2 (Tempo de fim de pega), segundo adição de resíduos 57
Figura 42 - Tempo útil das argamassas. 58
Figura 43 - Resistência à compressão da pasta e argamassas de gesso. 59
Figura 44 - Resistência à compressão em pesquisa de Alencar et al (2008) 60
Figura 45 - Gráfico de Nita et al (2004), relacionando tensão de compressão a pequenas adições de resíduos e diferentes relações água / gesso. 61
Figura 46 - Comparação dos resultados de tensão de compressão entre Schimitz (2008) e a atual pesquisa. 62
Figura 47 - Resistência de aderência média comparada com o limite normativo. 65
Figura 48 - Influência do substrato na resistência de aderência à tração de argamassas inorgânicas. (KAZMIERCZAK, BREZEZINSKI e COLLATTO, 2007). 66
Figura 49 - Resistência de aderência de pastas e argamassas de gesso (SOBRINHO, 2009).. 67
Figura 50 - Resistência de aderência de pastas e argamassas de gesso (ALENCAR et al, 2008) 67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química teórica da gipsita segundo Baltar, Bastos e Luz (2005)..... 21
Tabela 2 - Relação de ensaios realizados na pesquisa 38
Tabela 3 - Caracterização química das amostras de gesso natural e do resíduo beneficiado .. 39
Tabela 4 - Tentativas para obtenção da consistência (30 ± 2) mm..... 41
Tabela 5 - Relação água / elementos sólidos do programa experimental 41
Tabela 6- Resultado referente à massa unitária do gesso natural e do resíduo. 50
Tabela 7 - Valores médios de início e fim de pega..... 53
Tabela 8 - Resistência de aderência para GN..... 63
Tabela 9 - Resistência de aderência para G5..... 63
Tabela 10 - Resistência de aderência para G10..... 64
Tabela 11 - Limites superiores e inferiores do tratamento estatístico. 64
Tabela 12 - Resistência de aderência para GN após tratamento estatístico. 64
Tabela 13 - Resistência de aderência para G5 após tratamento estatístico. 64
Tabela 14 - Resistência de aderência para G10 após tratamento estatístico. 65
Tabela 15 - Limites de resistência de aderência (Ra) para emboço e camada única (NBR 13528 (ABNT, 1995). 66

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A cadeia produtiva da construção civil brasileira, quando levado em consideração todo o construbusiness (a construção, o setor de materiais de construção, e serviços acoplados à construção), apresenta dados que ilustram de forma inquestionável sua relevância no cenário econômico nacional, uma indústria que responde a aproximadamente 13% do PIB (quando avaliado apenas o setor imobiliário, estima-se entre 6 a 9% do PIB), sendo responsável por 26% do montante tributário arrecadado (de forma direta e indireta), e ainda corresponde a 9% da mão de obra ocupada na economia brasileira (COUTINHO, 2003).

A indústria da construção civil, por sua vez, é responsável por uma elevada extração de recursos naturais do planeta (GUSMÃO, 2008), sendo a busca por aglomerantes, agregados e demais materiais o motivo da extração e, posteriormente, um grande gerador de resíduo.

Dentre os materiais que têm sua utilização em largo crescimento na construção civil, não se pode deixar de fora o gesso. Esse pode ser considerado o aglomerante mais antigo de que se tem notícia / registro. Amostras deste material foram abundantemente encontradas em obras do Antigo Egito, Pirâmide de Keops (2.800 anos a.C.), além de ser encontrado em ruínas do IX milênio a.C. na Turquia; em ruínas do VI milênio a.C. em Jericó (BALTAR, BASTOS, LUZ, 2005). As técnicas de utilização deste material, como a calcinação e suas propriedades hidráulicas, eram dominadas por esses antigos possibilitando que seu emprego fosse variado, desde a confecção de objetos decorativos, como estátuas, como também na construção civil em processos tão conhecidos pela engenharia atual como revestimentos de paredes na forma de argamassas e pastas (ANTUNES, 1999).

Nos dias atuais a utilização deste mineral vem crescendo de forma relevante, observando pelo ponto de vista volumétrico, especialmente no contexto da construção civil, em atuações que serão mencionadas adiante.

A construção civil, que tradicionalmente é um grande agente gerador de resíduo, seja por falta de visão/consciência meio ambiental, ou por falta de tecnologia, e ainda por deficiência na aplicação da tecnologia, requer cuidado especial com a elevação do uso do gesso na construção civil, sendo importante o registro de que a resolução do CONAMA – Conselho

Nacional do Meio Ambiente, numero 307, que entrou em vigor em 2003, insere este material como resíduo classe “C”, requerendo uma destinação especial.

1.2 Justificativa

Não obstante ser um mineral muito abundante em todo o planeta, com extração mundial estimada em 8 milhões de toneladas/mês (SANTOS, 1998), o contexto pernambucano é bastante favorável a estudos envolvendo a utilização de gesso como matéria-prima na construção civil.

O Pólo Gesseiro do Araripe é uma das maiores reservas de gipsita do país, e devido a suas características geográficas é considerado a melhor condição de aproveitamento econômico da reserva, e está localizado no estado de Pernambuco. (SINDUSGESSO, 2008).

Neste pólo, existem 26 empresas mineradoras, 139 calcinadoras e 456 fábricas de pré-moldados atestando, de fato, uma estrutura relevante deste pólo industrial.

O uso do gesso na construção civil, especialmente quando observado pela ótica quantitativa, é crescente, fato justificado devido a diversas vantagens apresentadas como material alternativo na execução de revestimentos, forros, vedações dentre outros (SOBRINHO, 2009).

O crescimento de sua aplicação na construção civil é notório mesmo em regiões distantes do Pólo Gesseiro, ainda que se considere como elevado o custo com transporte/frete. Este tipo de revestimento apresenta-se como uma alternativa altamente interessante, neste caso, justificando ainda mais a importância da presente pesquisa.

Como propõe Gasi (2002), a hierarquia adequada no gerenciamento de resíduo é: i) Não gerar (eliminar o resíduo); ii) Minimizar a geração; iii) Reciclar no processo; iv) Reciclar fora do processo; v) Tratamento; vi) Disposição Final. Porém, certamente nem toda tecnologia e conhecimento na área de gestão à disposição do mercado tem sido utilizada visando alcançar metas mais coerentes com esta evolução. A deficiência / ausência da gestão do resíduo da construção muitas vezes não torna possível obter sucesso nos itens i e ii desta hierarquia. Assim, esta pesquisa apresenta-se como uma alternativa relevante para reciclar resíduo de pasta de gesso no próprio processo de aplicação (canteiro), e esta foi a grande motivação do

Sindusgesso/PE, no incentivo à adoção destes procedimentos de reciclagem junto as empresas aplicadoras.

Tendo associação direta com o crescente volume de extração deste mineral , o volume de pesquisas no meio acadêmico / científico, cresce proporcionalmente com a sua utilização, sendo, inclusive, parte da linha de pesquisa do PEC, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade de Pernambuco, com destaque especial para sua correlação com aspectos meio ambientais, uma vez que segundo a Resolução do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, que entrou em vigor em 2003, este resíduo possui classificação C, por ser um resíduo para o qual não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis, que permitam a sua reciclagem / recuperação.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

A pesquisa desenvolvida nesta dissertação tem como objetivo geral caracterizar a argamassa de gesso com adição de seu resíduo nas propriedades físicas e mecânicas, observando suas propriedades no estado fresco e endurecido, visando a contribuição do desenvolvimento da metodologia de reaproveitamento no próprio canteiro de obra, da sobra de gesso para revestimento.

1.3.2 Objetivos específicos

- ⇒ Registrar procedimento empírico de adição do resíduo de gesso para revestimento em argamassa de gesso executado em paredes internas.
- ⇒ Estudar a influência da adição do resíduo no tempo de consistência útil para aplicação em revestimentos internos.
- ⇒ Analisar a influencia da adição do resíduo no calor de hidratação e no tempo de pega da argamassa de gesso.
- ⇒ Avaliar as propriedades mecânicas de resistência à compressão e resistência de aderência na argamassa de gesso com adição de resíduo.

1.4 Estrutura da dissertação

Na busca do objetivo proposto no item 1.3, esta dissertação foi estruturada em cinco capítulos.

O Capítulo 2 apresenta um referencial teórico referente ao gesso, sua aplicação na construção civil, e ainda a problemática meio ambiental gerada por resíduos em geral, e especificamente devido ao resíduo do gesso.

No Capítulo 3 é demonstrada a metodologia do trabalho, mais especificamente a coleta de material de campo, e a proposta do programa experimental.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados dos ensaios e suas análises.

As considerações finais, na exposição da conclusão e sugestões de novas pesquisas, são apresentadas no Capítulo 5.

Todo o material utilizado como leitura para confecção do texto e execução dos ensaios estão descritos nas referências.

No apêndice A são apresentadas planilhas com resultados dos ensaios em estado fresco e endurecido

No anexo A está apresentado o resultado da caracterização química do gesso natural e do resíduo, executado por laboratório especializado situado em Recife.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Relevância do Gesso na Construção Civil

A extração da gipsita possui basicamente duas destinações: em sua forma natural é muito utilizada na agricultura e na indústria cimenteira; enquanto sua forma calcinada (gesso) é amplamente utilizada na construção civil, material ortopédico, dental, dentre outros de menor relevância (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005). Sua destinação na fabricação do cimento possui uma relevância óbvia na construção civil, através de seu aglomerante principal. Porém é importante ressaltar que o gesso obtido pela calcinação, também em sua grande maioria (observando volume de extrações), é destinado ao emprego na construção civil, podendo ser utilizado como: gesso para fundição ou gesso para revestimento.

O material destinado à fundição é utilizado na fabricação de pré-moldados como peças para decoração, placas para forro, blocos de gesso, chapas de gesso acartonado, entre outros. O gesso para revestimento é empregado para revestir paredes e tetos de ambientes internos e secos, e essa utilização tem quebrado paradigmas e temores dentro do ramo da construção, ganhando cada vez mais espaço e força nos canteiros de obras.

O gesso para revestimento tem sido visto pelas construtoras como um material alternativo que não deixa a desejar em sua qualidade e baixo custo, uma vez que o revestimento em pasta de gesso pode substituir a camada de chapisco, a argamassa (emboço / massa única) e na etapa de preparação para pintura (nos casos de utilização desse sistema), a massa corrida.

Como afirma Sobrinho (2009), as vantagens do revestimento em gesso também está ligada a mistura fácil, utilizando apenas a água e o próprio gesso, isentando a necessidade de agregados, fato importante uma vez que a construção civil é vilã para o esgotamento desses recursos naturais no planeta (GUSMÃO, 2008).

Um revestimento de gesso bem utilizado pode promover superfícies mais planas e regulares, possibilitando menores espessuras, pela não necessidade de utilização de agregado, menor dimensão essa, desejável e necessária em nossas edificações racionalizadas; além é claro, de proporcionar menor custo e maior produtividade no serviço, aumentando a competitividade de

empresas de dominam essa técnica (ANTUNES, 1999). Além disso, seu endurecimento rápido propicia a diminuição do tempo para aplicação do acabamento final, em relação à argamassa produzida à base cimentícia. A soma desses fatores associados a ganhos em materiais, cronograma, projeto, e em geral, como conseqüência, retornos financeiros, faz da utilização de revestimentos em pasta de gesso, uma possibilidade de estratégia, bastante competitiva no mercado cada vez mais concorrido.

Além disso, do ponto de vista físico / mecânico, o revestimento em pasta de gesso possui excelente capacidade de aderência em diversos tipos de substratos, desde os mais tradicionais em vedações na construção civil, como alvenarias em blocos cerâmicos ou concreto, até em madeiras e cerâmica (SOBRINHO, 2009).

É importante registrar que, segundo Selmo (1997), o revestimento de gesso possui algumas desvantagens quando comparado a outro tipo de revestimento (especialmente os cimentícios), como elevada solubilidade, que impede seu uso em ambientes molhados. Sua relativa fragilidade o torna vulnerável a fissuração diante da transferência de tensões proveniente da base (alvenaria) cada vez mais comuns nos atuais projetos arquitetônico, mais arrojados, gerando estruturas mais esbeltas, ou até mesmo choques mecânicos eventuais, e ainda a corrosão de metais não tratados em contato com a pasta.

2.2 A produção do gesso

Como indica Antunes (1999), a produção do gesso a partir do minério gipsita possui basicamente 4 etapas: a extração do minério, a preparação para calcinação, a calcinação propriamente dita e a seleção.

i) **Extração:** Como parte da composição da gipsita, que é um sufato de cálcio di-hidratado, a matéria prima do gesso, cuja a fórmula química é $CaSO_4.2\ H_2O$. Como a função da extração do gipso é a obtenção da gipsita, o teor deste elemento atesta a qualidade do gipso.

A composição química teórica da gipsita é apresentado na Tabela 1, segundo Baltar, Bastos, Luz (2005).

Tabela 1 - Composição química teórica da gipsita segundo Baltar, Bastos e Luz (2005).

Composto	Composição (%)
CaO	32,5
SO_3	46,6
H_20	20,9

ii) **Preparação:** Basicamente esta etapa se resume, além da seleção manual, na britagem, moagem e composição granulométrica. Todo o produto deve apresentar uma distribuição granulométrica uniforme, pois desta forma pode-se evitar eventual desidratação desigual para as partículas (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

iii) **Calcinação:** É o processo pelo qual, através de uma temperatura entre 125 e 180° C, perde parte da água de cristalização, resultando no gesso (hemidrato); submetido a temperaturas superiores, entre 180 e 250 °C, forma-se a anidrita III (anidrita ativa), composto ávido por água, que ao absorver umidade do ar, assume a forma de hemidrato. Essa capacidade (avidez por água), permite que seja utilizada como acelerador de pega. Outra faixa de temperatura (300 a 700° C) obtém-se a anidrita II, um produto totalmente desidratado e insolúvel.

$$CaSO_4.2H_2O \text{ (dihidrato)} + \text{energia } * \rightarrow CaSO_4.0{,}5H_2O \text{ (hemidrato)} + 1{,}5H_2O$$

(* 125 a 180°C)

$$CaSO_4.0{,}5H_2O + \text{energia } ** \rightarrow CaSO_4 + 0{,}5\ H_2O \text{ (anidrita solúvel)}$$

(**180 a 250°C)

$$CaSO_4 \text{ (anidrita solúvel)} + \text{energia } *** \rightarrow CaSO_4 \text{ (anidrita insolúvel)}$$

(*** 300 a 700°C)

iv) **Seleção :** Nesta última etapa o resultado da calcinação é moído, selecionado e classificado, segundo requisitos da NBR 13207 (ABNT, 1994).

2.3 Hidratação e Pega do Gesso

Esta hidratação resulta da reação química entre o hemidrato e a água, gerando novamente o di-hidrato, através da reação inversa da formação de gipsita em gesso, liberando calor.

$CaSO_4.0{,}5H_2O$ (hemidrato) + $1{,}5H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O$ (dihidrato) + energia

A hidratação do gesso pode ser explicada por meio da calorimetria. Antunes (1999) apresentou uma curva típica de calor de hidratação de uma pasta de gesso ilustrado na Figura 1 , onde nesta curva registra-se a evolução da temperatura (liberação de energia na reação), em função do tempo, observando-se uma clara divisão em 3 etapas distintas:

a) **ETAPA 1 - Inicial:** Onde ocorre uma pequena hidratação seguida pelo período de indução. A indicação de término desta etapa surge pelo aumento da taxa de elevação da temperatura, ou seja, quando é observada a elevação superior a 0,1°C/min. Neste momento está caracterizando o início de pega.

b) **ETAPA 2 – Evolução rápida da reação de hidratação**: Esta segunda etapa é caracterizada pela rápida elevação da temperatura, e apresenta o momento propício para aplicação do gesso em pasta para revestimentos.

c) **ETAPA 3 – Fim de pega:** A temperatura atinge seu maior valor, de modo que foi concluída a hidratação, sendo assim caracterizado o fim de pega. Neste momento a temperatura medida inicia a baixar.

As informações geradas por esta curva são fundamentais para estudo da melhor forma e possibilidade de aplicação do gesso, uma vez que se pode observar que, na etapa 1, o único procedimento produtivo possível é a mistura entre o hemidrato e a água, de modo que boa parte deste período é improdutivo.

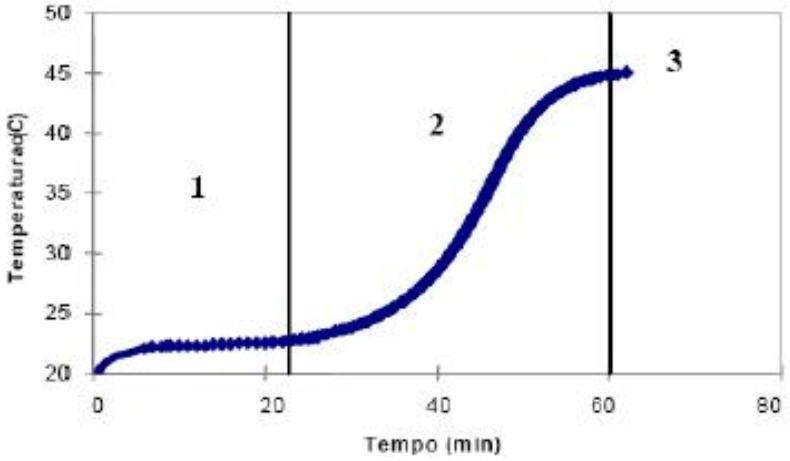

Figura 1- Curva de hidratação do gesso (ANTUNES, 1999)

Tomando como referência o tempo de mistura proposto por norma, tem-se quatro minutos, considerando que o início de pega do gesso natural, aproximado de vinte minutos, resulta neste caso um relevante período improdutivo, localizado na etapa 1 da Figura 1.

Em geral, na etapa 2, tem-se o tempo útil de aplicação da pasta no substrato; o momento de elevação da temperatura onde as reações de hidratação estão em pleno desenvolvimento.

E por fim, a etapa 3 representa os fim da reação de hidratação e, consequentemente, a impossibilidade de uso da pasta de gesso.

A exata compreensão desta curva (Figura 1), assim como fatores que podem alterar o tempo de cada etapa, pode colaborar com a redução de geração de resíduo diminuindo o desperdício do material no canteiro de obras.

2.3.1 Tempo útil das pastas de gesso

Antunes, John (2000) define tempo de vida útil como "*o tempo disponível para aplicação do revestimento em gesso, o intervalo de tempo em que a pasta se encontra dentro da faixa de consistência adequada*", ou ainda, "*período reservado ao trabalho produtivo*". Esse período possui como os dois extremos limitadores, a consistência mínima e máxima, ou seja, a consistência útil da pasta de gesso, obtido através de ensaio com o aparelho de VICAT modificado, o que corresponde a, aproximadamente, o início e fim da pega do gesso, que em

valores teóricos, segundo NBR 13207 (1994), tem-se maior do que dez minutos , e maior do que quarenta e cinco minutos, respectivamente, gerando um tempo de vida útil estimado em, aproximadamente, trinta e cinco minutos.

Observa-se no gráfico da Figura 1 , que a etapa 3 registra o fim da possibilidade de uso da pasta de gesso, a chamada morte do gesso. Sendo assim, o período teórico produtivo refere-se as etapas 1 e 2. Todavia é sabido que a etapa 1 tem grande parte de seu tempo dedicado apenas a espera do início das reações, reduzindo assim o tempo produtivo real.

Antunes et al. (1999), propõem o gráfico da Figura 2 , ilustrando percentuais relacionados às etapas 1 e 2.

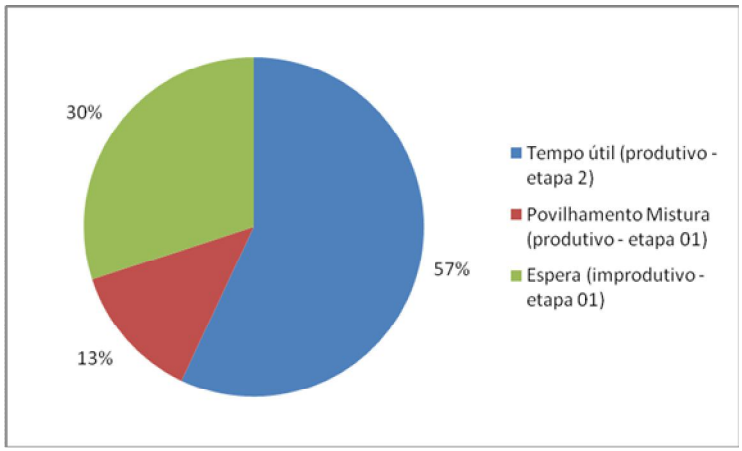

Figura 2 - Divisão percentual proposta por Antunes et al.(1999) , do tempo de utilização da pasta de gesso

A Figura 2 apresenta um período totalmente improdutivo de aproximadamente 30%. Este fato tem sido motivador de diversas pesquisas para analisar a influência de aditivos, e técnicas de aplicação da pasta de gesso de modo a minimizar o tempo sem produtividade, visando produzir resultados financeiros sem comprometimento técnico e / ou ambientais.

2.3.2 Fatores que influenciam a cinética da reação de hidratação do gesso

Diversos fatores influenciam na cinética da reação de hidratação do gesso. Pode-se mencionar com destaque: a relação água/gesso (a/g); a energia de mistura do gesso com a água; a temperatura da água de amassamento; a umidade relativa do ar no ambiente de trabalhado; a presença de impurezas / pontos de nucleação ; e ainda a presença de aditivos (ANTUNES et al , 2009)

Dos itens citados acima, atribui-se ao fator a/g, a maior responsabilidade na influência das reações de hidratação do gesso. Quanto maior a quantidade de água, maior será o tempo necessário para formação dos cristais de dihidrato e precipitação (início de pega), ou seja, resulta em um aumento no período de indução (NOLHIER, 1986 ; ANTUNES; JOHN, 2000). Este é um aspecto que motiva um procedimento comum de obra : os fatores a/g são superiores quando comparado com os resultados obtidos através do ensaio de consistência, segundo MB 3469 (1991). Nos canteiros de obra é comum observar a relação a/g próximo a 0,80. Todavia o ensaio de consistência fornece resultados próximos a 0,65.

Outro fator de grande relevância, cujo conhecimento é vastamente utilizado nas técnicas de aplicação de revestimento em pasta de gesso, é o incremento de energia na mistura. A energia aplicada na mistura aumenta a dispersão do pó na água de amassamento, e por conseqüência, tem-se a formação de uma quantidade maior de núcleos de cristalização, acelerando o processo de hidratação. Estudo realizado por Blaine (1997), é um exemplo de base científica dos procedimentos adotados comumente em obra, onde os aplicadores de gesso misturam, a princípio, apenas 50% do volume do conjunto gesso e água no recipiente, retardando assim a hidratação da parte em repouso.

Presença de impurezas, que são elementos estranhos à mistura da pasta de gesso, é outro fator que acelera a pega das pastas; agregados, como o próprio dihidrato ou grãos de areia, que atuam como núcleos de cristalização; e como já apresentado, o aumento desses núcleos favorece a agilidade das reações de hidratação (ANTUNES; JOHN, 2000).

O estudo referente ao maior controle / domínio do tempo de início e fim de pega, consequentemente, do tempo de consistência útil, seja por emprego de técnicas de aplicação ou intervenção / adição de materiais que influenciam na cinética da reação, é fundamental na

tentativa de minimizar o tempo improdutivo e maximizar o tempo produtivo da aplicação de pasta de gesso em revestimentos.

2.4 Desafios na Aplicação do Gesso para Revestimentos

Quando se analisa a energia empregada no processo de fabricação, a aplicação do revestimento de pasta de gesso apresenta inquestionável vantagem ambiental, quando comparada a argamassas de base cimentícia. Isso porque, segundo Nolhier (1986), para calcinação da gipsita utiliza-se temperaturas entre 180 e 200 °C. Por outro lado, o cimento Portland é calcinado entre 1400 a 1450 °C (MEHTA; MONTEIRO, 1995).

O mesmo fator que faz do produto um diferencial positivo de rapidez na aplicação, torna-se um grande desafio quando observado do prisma meio ambiental. A grande geração de resíduo, a exemplo da Figura 3, devido especialmente, a seu rápido endurecimento, associado a falta de consciência e tecnologia aplicada ao processo de aplicação de pasta de gesso em revestimentos, resulta em perdas estimadas em torno de 30% da massa de gesso (JOHN; CINCOTTO, 2003).

Levantamento elaborado em três obras na cidade do Recife remete ao incrível percentual de 47%, fazendo da aplicação do gesso em pasta o maior gerador proporcional de resíduo nas obras, ou seja, possui o maior percentual de perda relativo ao material empregado no serviço (GUSMÃO, 2008) (Figura 3).

Figura 3 - Geração de resíduo na aplicação de revestimento de gesso

O problema desta geração de resíduo possui um agravante além da óbvia problemática econômica, que é o impacto ecológico. Afinal, segundo a Resolução do CONAMA N° 307– Conselho Nacional do Meio Ambiente, que entrou em vigor em 2003, este resíduo possui classificação C, uma vez que é um resíduo para o qual não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis, que permitam a sua reciclagem/recuperação. Ou seja, este resíduo quando gerado requer destinações especiais, que diferem da grande parte dos resíduos de construção que são, em sua maioria, inertes e de classe A.

É possível imaginar a dimensão da problemática, observando a impossibilidade de utilização das destinações mais comuns para os resíduos da construção e demolição, não apenas do resíduo de gesso, mas também pelo resíduo contaminado com gesso. A presença de gesso compromete o resíduo de classe A.

Essas impossibilidades são registradas e justificadas pelo motivos abaixo enumerados :

1) **Como agregados para produtos cimentícios** - A presença do gesso compromete a utilização, uma vez que a reação entre os aluminatos do cimento e o sulfato do gesso, associada à presença de umidade, gera a etringita, composto que ocupa volume superior ao do reagente original, criando tensões (fruto dessas reações químicas) expansivas que levam à desagregação das peças de concreto, e revestimentos de base cimentícia (JOHN; CINCOTTO, 2003).

Admite-se como razoável a limitação do teor de sulfatos nos agregados a um valor limite de 1% (JOHN; CINCOTTO, 2003). Porém, uma das características dos resíduos de construção é sua heterogeneidade, de modo que, cada volume / caçamba possui diferenças uma das outras, muitas vezes relevante.

Na ausência de controle / gestão dos resíduos gerados na etapa de acabamento, especialmente obras com revestimentos de gesso, estes volumes tendem a conter teores de sulfato muito mais elevados que o admissível, ou seja, a omissão da gestão de resíduo da construção implementada no canteiro de obra permite que uma pequena parte do resíduo de gesso possa comprometer a maior parte ou a totalidade dos resíduos que possuiriam uma destinação mais ampla e com menores custos. Diante deste quadro, pode-se afirmar que o crescimento (inevitável) do teor de gesso em resíduos, deverá exigir controles maiores.

2) **Como Agregados para pavimentação e aterro –** Sendo o gesso solúvel em água, a existência do mesmo em aterro ou base de pavimentação irá, inevitavelmente, resultar em vazios oriundos da sua lixiviação, podendo assim, comprometer a médio e longo prazo o serviço executado.

Pode-se citar ainda possível alteração de composição e pH da água do solo, contaminando lençol freático, podendo resultar em danos incalculáveis (JOHN; CINCOTTO, 2003).

Ainda descrevendo sobre a dificuldade de destinação do resíduo de gesso, além de seus desafios de reutilização, esse material, diferentemente dos resíduos classe A, não podem ser depositados em aterros sanitários, pois o gesso em contato com umidade/água, e ainda em condições anaeróbicas, com baixo pH, e sob ação de bactérias redutoras de sulfatos (condição existente em muitos aterros sanitários e lixões), pode formar um gás com o odor característico de ovo podre que é o gás sulfídrico, sendo ainda , tóxico e inflamável (CIWMB, 2003).

Na prática, especialmente relativos a pequenos geradores, muitas vezes são depositados de forma e em local inadequados, clandestinos, gerando grande impacto ambiental e econômico (GUSMÃO, 2008), como por exemplo, próximo a vias, rios e terrenos, como se observa na Figura 4.

Figura 4 - Destinação inadequada de resíduo de RCD

2.5 Reciclagem dos Resíduos de Gesso em Obras

Partindo na frente, devido a preocupação com a destinação dos resíduos de gesso, algumas empresas aplicadoras de gesso, no caso da cidade do Recife, com o apoio do Sindusgesso/PE, iniciaram a reciclagem deste material reaproveitando-o na própria execução do revestimento, sendo adicionados cerca de 10 % de resíduo de gesso ao hemidrato.

Apesar da iniciativa louvável, esses procedimentos basearam-se em observações e sentimentos práticos (dia a dia da obra), a princípio sem nenhum tipo de critério ou estudo científico, de modo que, por eles, são desconsideradas as fortes possibilidades de manifestações patológicas futuras (SCHMITZ, 2008).

Seja por consciência ambiental, ou por exigência da legislação, é crescente a preocupação com a gestão de resíduos no canteiro de obra. Na reciclagem fora do canteiro de obra algumas técnicas são teóricas e comprovadamente possíveis. Como exemplos cita-se: correção de solos (agricultura , plantação de cogumelos); aditivo para compostagem; forração para animais; absorvente de óleo; controle de odores em estábulos; secagem de lodo de esgoto (CINCOTTO; JOHN, 2003). Porém, uma vez que o custo com transportes e eventual recalcinação são elevados, na prática essas ações são pontuais.

Apesar da carência de estudos referente ao tema da reciclagem / reaproveitamento de pastas de gesso em obras, alguns pesquisadores têm dedicado-se ao tema, onde se pode destacar: Nita et al (2004), que analisou a possibilidade de reciclagem de resíduos de gesso de construção hidratado na produção de gesso de construção, na forma de dihidrato, finamente moído, como substituição ao gesso hemidrato natural em teores de 0%, 1%, 2% e 4% ; foi utilizado dois fatores água/material sólido (0,60 e 0,72). A conclusão do trabalho apresentou grande potencial para utilização da prática, porém necessitando de maiores estudos e possibilidades.

Alencar et al (2008), analisou o desempenho do procedimento utilizado para reciclagem de resíduo gerado em canteiro de obra por uma das empresas da RMR. Foi executado um comparativo de desempenho físico e mecânico de pasta de gesso com adição de resíduo de 10, 15, 20 e 25 %, e um fator água/gesso de 0,75. A conclusão do trabalho apresentou diminuição

do tempo de pega, que segundo o autor pode ser administrado pela forma de mistura da pasta e adição dos resíduos (parcial). Características mecânicas importantes como aderência ao substrato e resistência à compressão, não apresentaram perdas.

Schimitz (2008) propôs-se a avaliar a melhor forma de utilizar o resíduo da pasta de gesso natural no revestimento interno de paredes de modo que seja minimizado o comprometimento na qualidade e no desempenho do revestimento. O pesquisador utilizou a metodologia de substituir 5 e 10 % de resíduo moído, e comparar os resultados com o desempenho do gesso natural. A conclusão do autor se mostrou bastante otimista quanto a viabilidade da reutilização do resíduo gerado no próprio canteiro de obras.

Sobrinho (2009) apresentou metodologia próxima a Schimtz (2008) e Alencar et al (2008), tendo ensaiado uma série com gesso natural, e outras com 5%, 10%, 15%, 20%, e 25% de adição de resíduo. Sua conclusão, da mesma forma, caminha na tendência favorável a aplicação da prática.

Visando dar continuidade ao estudo da reciclagem dos resíduos de gesso em obras, esta pesquisa propõe fornecer mais informações referentes ao assunto, utilizando-se a metodologia apresentada no próximo capítulo.

3 METODOLOGIA

3.1 Procedimentos de Campo

Com a visão de promover reaproveitamento do resíduo no próprio canteiro, o Sindugesso/PE tem incentivado aplicadores de gesso em pasta para revestimentos a se utilizarem de um processo de reaproveitamento da sobra do gesso na própria obra, sendo utilizado como agregado no próprio revestimento em pasta de gesso, formando uma argamassa.

Na presente pesquisa foi escolhida uma obra vertical de edifício residencial, localizado na Av. Boa Viagem no Bairro de Boa vigem, em Recife, cuja aplicadora do revestimento de gesso é uma empresa associada ao sindugesso/PE. A opção por esta obra deu-se pelo fato da mesma trabalhar com gestão de resíduo através de projeto elaborado pelo AMBITEC do PEC/POLI - UPE, grupo de pesquisa de engenharia aplicada ao meio ambiente, onde estes resíduos também são utilizados em outras pesquisas.

No local foram observados os procedimentos de reaplicação do resíduo do gesso (dihidrato) e foram colhidas amostras aplicadas na obra, devidamente captadas em lona plástica, como mostra a Figura 5. O resíduo foi levado ao LACC (Laboratório Avançado de Construção Civil), da Escola Politécnica de Pernambuco, para realização das pesquisas.

Figura 5 - Detalhe de preparação do ambiente para coleta de resíduo.

O objetivo desta etapa é registrar os procedimentos executados no canteiro de obra, onde até então, o resultado de caracterização da argamassa (seu desempenho no estado fresco e endurecido) eram consagrados apenas de forma empírica.

3.1.1 Etapa 01 - Serviços pré liminares

a) Preparação do ambiente com a colocação de lona plástica no local do serviço, visando a coleta das sobras com o mínimo de impurezas agregadas ao produto durante o processo de aplicação (Figura 6).

Figura 6 - Preparação do ambiente para posterior coleta de resíduo do gesso.

b) Trituração manual (figura 7) ou mecânica (Figura 8) dos resíduos dependendo da disponibilidade em obra. Trata-se do procedimento para obtenção da granulometria adequada, sendo que no procedimento manual, o resíduo beneficiado foi passado em uma peneira plástica de aproximadamente 12 mm de abertura (Figura 9), para obtenção de grãos mais finos. O beneficiado mecanicamente já se apresentava pronto para adição às pastas (Figura 10). A empresa aplicadora observada adota o critério de utilizar grãos dos resíduos de até 1/3 da espessura do revestimento. Devido a deficiências de qualidade da base (alvenaria) (Figura 11), a espessura do revestimento chega até 25 mm (figura 12), o que torna possível utilização de grãos de resíduo de aproximadamente 10 mm para etapa de enchimento, ou seja, facilmente obtido através do método manual.

Figura 7 - Moagem do resíduo de forma manual.

Figura 8 - Moagem do resíduo de forma mecânica.

Figura 9 - Peneira plástica para determinação da dimensão máxima do resíduo em obra.

Figura 10 - Resultado da moagem mecânica.

Figura 11 - Deficiência na base (alvenaria) gerando grandes espessuras de revestimentos.

Figura 12 - Espessura de até 25 mm, por deficiência da base.

O resíduo de gesso beneficiado foi separado em pacotes de peso conhecido para adição em futuros revestimentos (Figura 13).

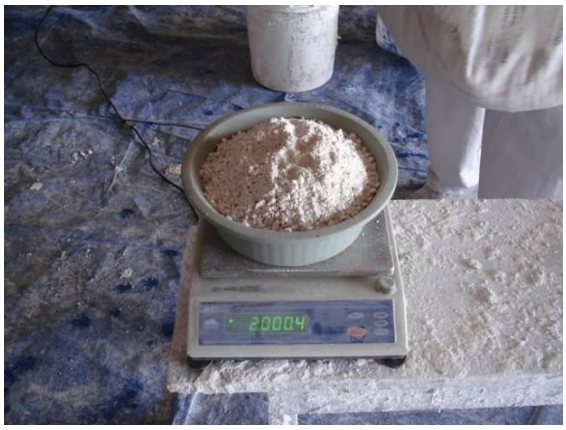

Figura 13 - Pesagem do resíduo - preparação para adição.

A rigor pode-se considerar esta etapa como uma necessidade presente para coleta e utilização de resíduo futuro, sendo necessária a sua inclusão em qualquer estudo de produtividade em revestimento de gesso com adição de resíduo beneficiado.

3.1.2 Etapa 02 –Mistura

a) A pasta de gesso foi preparada polvilhando o gesso natural sobre a água, observando um fator água / gesso sempre próximo a 0,8;
b) Após o período de repouso (que dependendo do momento ou do gesso utilizado, em gera,l variou entre 10 e 15 minutos), o operador misturou de forma suave apenas metade do recipiente com objetivo de estimular as reações de hidratação apenas na área trabalhada, uma vez que a energia de mistura tem ligação direta com o início das reações;
c) Apenas próximo ao momento da aplicação foi adicionado aproximadamente 10% de resíduo (Figura 14). Este procedimento foi realizado apenas na metade da masseira que já tinha recebido incremento de energia cinética, permanecendo ainda a outra metade da mistura de gesso e água em repouso, apenas em processo de indução.

Figura 14 - Adição de resíduo a pasta de gesso.

d) A adição de resíduo no final do processo da mistura acelerou ainda mais as reações de hidratação, permitindo que, em um menor intervalo de espera, houvesse o inicio da aplicação da argamassa de gesso, de modo que este processo mostrou seu potencial contribuinte a redução do tempo improdutivo (período de indução) .

3.1.3 Etapa 03 – Aplicação

a) Aplicou-se a argamassa de gesso produzida na primeira metade da masseira, onde foi adicionado resíduo, e foi implementada energia cinética de mistura para aceleração das reações de hidratação. Essa mistura foi utilizada para enchimento do revestimento, não sendo possível obter acabamento satisfatório nesta etapa (Figura 15).

Figura 15 - Superfície aplicada com resíduo a espera de acabamento final.

b) Após a aplicação do gesso com resíduo, foi misturada e aplicada outra parte do recipiente contendo apenas pasta de gesso natural e água. Em geral, este último procedimento é utilizado na etapa de acabamento final (Figura 16).

Figura 16 - Aplicação de acabamento final com pasta sem adição de resíduo.

3.2 Programa experimental

O resíduo de gesso colhido em obra, como se observa na Figura 17, foi moído através moinho mecânico (figura 18) e posteriormente foi regularizada a granulometria máxima através da passagem em peneira de 0,6 mm de abertura.

Figura 17 - Resíduo de gesso coletado em obra para beneficiamento

Figura 18 - Moagem do resíduo de gesso

A estocagem do resíduo colhido e moído, assim como o hemidrato adquirido (amostragem única/mesmo fabricante) foi suficiente para execução de todo o plano experimental de modo a garantir homogeneidade das amostras em todos os resultados.

O plano experimental desenvolvido na pesquisa envolveu ensaios físicos e mecânicos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Relação de ensaios realizados na pesquisa

Item	Ensaio	Método	Amostras	
			Tipo	Quantidade
1	Consistência normal	MB 3469 (ABNT, 1991)	GN	Até obter (30 ±2) mm
2	Tempo de pega	MB 3469 (ABNT, 1991)	GN	03 amostras
			G5	03 amostras
			G10	03 amostras
3	Calor de hidratação	Calorímetro pseudo-adiabático MURAT; JEANDOT (1973)	GN	03 amostras
			G5	03 amostras
			G10	03 amostras
4	Resistência à compressão	MB3470 (ABNT,1991)	GN	3 CP
			G5	3 CP
			G10	3 CP
5	Aderência	NBR 13528 (ABNT, 1995)	GN	12 Pontos
			G5	12 Pontos
			G10	12 Pontos
6	Massa Unitária	MB 3468 (ABNT, 1991)	GN	2 Amostras
			R	2 Amostras
8	Caracterização química	NBR 13207 (ABNT, 1994)	GN	2 Amostras
			R	2 Amostras

Os resultados do gesso natural denominado – GN, foram comparados com o mesmo produto adicionado 5% de resíduo (passando esta argamassa a ser denominada G5), e 10% de resíduo (passando esta argamassa a ser denominada G10), com a granulometria máxima determinada de 0,6 mm, gerada por moinho mecânico.

3.2.1 Caracterização química das amostras

Para caracterização química, foram retiradas duas amostras do montante geral do resíduo de gesso beneficiado chamados de R1, e R2, assim como mais duas amostras do gesso natural adquirido, G1 e G2.

Todas foram enviadas a laboratório especializado na cidade do Recife, para execução de ensaios de caracterização química conforme NBR 13207 (ABNT, 1994). A Tabela 3 apresenta um resumo dos resultados. No anexo 1 são apresentados resultados totais.

Tabela 3 - Caracterização química das amostras de gesso natural e do resíduo beneficiado

Parâmetro	**Gesso Natural**		**Gesso Beneficiado**	
	G1	G2	R1	R2
Umidade a 45 ° C	1,14%	1,12%	0,35%	0,38%
Anidrido Sulfúrico (em SO 3)	32,02%	29,60%	33,00%	31,72%
Cálcio (em Ca)	11,96%	13,60%	13,56%	13,02%
Cálcio (em CaO)	16,62%	19,04%	18,97%	18,22%
Resíduos Insolúveis _ SiO2	7,50%	19,03%	23,40%	34,85%

Como esperado, o percentual de resíduos insolúveis das amostras do resíduo, é superior o da amostra do hemidrato, fato justificado pela previa manipulação com inevitável acréscimo de impurezas.

O limite de água livre registrado se encontra dentro da referencia normativa que é máxima de 1,3% NBR 13207 (ABNT, 1994).

No hemidrato analisado, a quantidade de (CaO + SO 3) é inferior ao limite normativo de 91% NBR 13207 (ABNT, 1994).

3.2.2 Seleção dos teores de adição de resíduo

A opção por adição de resíduo beneficiado em percentuais de 5 e 10% à argamassa de gesso, deu-se pelo fato de, não obstante indicadores e pesquisas anteriores do AMBITEC e demais autores, apresentar como geração aproximada em revestimento de pasta de gesso de 47% de resíduo (GUSMÃO, 2009), observa-se que com a implantação de sistema de gestão de resíduo que inevitavelmente resulta em maior controle dos procedimentos, esta geração cai substancialmente. Priori (2006) apresenta valores inferiores a 10% em sua pesquisa. Sendo a proposta do processo reciclar no próprio canteiro de obra, valores próximos a este percentual (10%) não seriam considerados como razoáveis.

3.2.3 Consistência Normal

Para determinação da consistência normal da pasta de gesso foi seguido o procedimento recomendado pela da MB 3469 (ABNT, 1991), utilizando-se o aparelho de Vicat Modificado (Figuras 19 e 20). A relação água/gesso utilizada em todos os ensaios foi de 0,66.

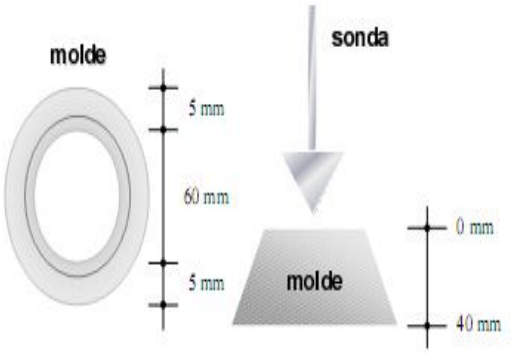

Figura 19 - Esquema do aparelho de Vicat Modificado (ANTUNES, 1999)

Figura 20 - Aparelho de Vicat Modificado utilizado no LACC - POLI/UPE

Para obtenção da relação água / gesso foi utilizada a mistura com gesso natural (GN), para se obter um resultado de consistência igual a (30 ± 2) mm, como indica MB 3469 (ABNT, 1991).

Para este objetivo foi utilizado o peso de água de 150 gramas com adição de retardador (10 gramas de solução de citrato de sódio dissolvido 20 g / 1000 ml de água). Foram executadas tentativas registradas na planilha da Tabela 4, onde o hemidrato era polvilhado durante um minuto na água, passando por um descanso de 2 minutos, e por fim, misturado por 1 minuto para posterior colocação no molde do aparelho de Vicat modificado, para obtenção da a medida da consistência.

Como se pode observar na Tabela 4 , a relação água/gesso para penetração ideal foi obtida com 227 gramas de gesso, ou seja relação água/gesso 150/227 = 0,66.

Tabela 4 - Tentativas para obtenção da consistência (30 ± 2) mm

	Teste 01	Teste 02	Teste 03	Teste 04
Massa de água (g)	150	150	150	150
Massa de gesso (g)	200	214	220	227
Penetração (mm)	37	34	33	30

Tendo em vista que as amostras trabalhadas incluam adições de 5 e 10 % de resíduo beneficiado, é possível observar na tabela 5 ,os valores das relações água / elementos sólidos, que foi utilizada em todo programa experimental.

Tabela 5 - Relação água / elementos sólidos do programa experimental

Relação	**GN**	**G5**	**G10**
Relação água / gesso	0,66	0,66	0,66
Relação água / elementos sólidos	0,66	0,63	0,60

3.2.4 Tempo de pega

Na determinação do tempo de pega das pastas de gesso foram ensaiadas 03 amostras observando-se o procedimento da MB 3469 (ABNT, 1991) e utilizando-se o aparelho de Vicat (Figura 21).

Figura 21 - Aparelho de Vicat utilizado no LACC – POLI/UPE.

Foi obtido o tempo de pega em GN, G5 e G10 segundo relação água / gesso , e água elementos sólidos apresentados na Tabela 5. A mistura da pasta obedeceu às recomendações da MB 3469 (ABNT, 1991).

A mistura da argamassa foi feita colocando-se o resíduo beneficiado na última etapa da mistura, ou seja, no quarto minuto, onde os elementos recebem energia cinética na mistura.

Foi registrado o tempo de início de pega no momento em que a agulha estacionou a 1 mm da base. O fim de pega foi determinado quando a tensão exercida pelo aparelho deixou apenas uma leve impressão no gesso.

3.2.5 Calor de hidratação

Este ensaio teve como objetivo principal a obtenção das curvas de calor de hidratação. Estas curvas possibilitam análise do comportamento da pasta e das argamassas observando com clareza as delimitações das etapas 1 (indução), 2 (consistência útil), e 3 (fim do período de utilização), como ilustra Antunes (1999) na Figura 22.

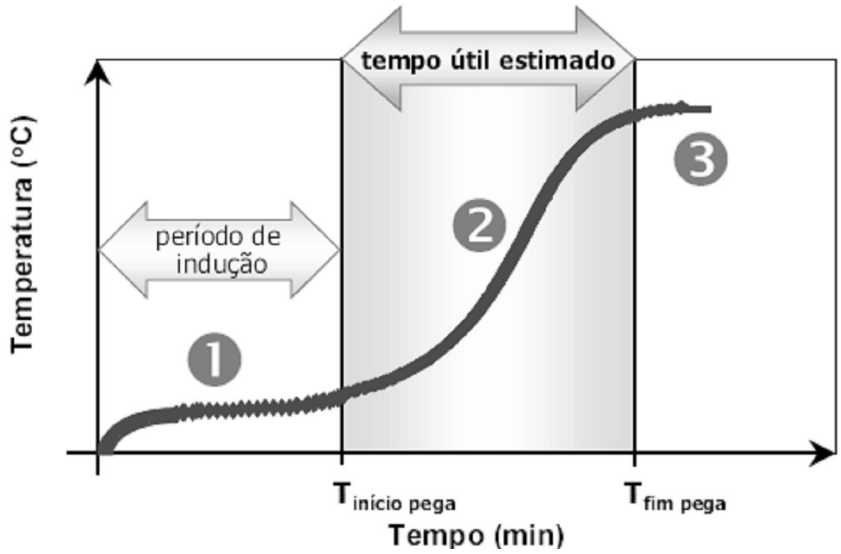

Figura 22 - Etapas das reações de hidratação da pasta de gesso

A curva ainda indica o tempo de início e fim de pega através da análise das curvas de calor de hidratação em função do tempo, gerado pela variação de temperatura durante as reações de hidratação do gesso (que libera energia),

O parâmetro adotado para determinar o início de pega foi a observação de quando o gradiente térmico ultrapassa 0,1°C/min, e o fim de pega, foi o instante em que a temperatura máxima foi atingida, evidenciado pela interrupção da elevação de temperatura.

Neste ensaio foi utilizado um calorímetro pseudo-adiabático proposto por Murat e Jeandot (1973) e um cronômetro (Figura 23).

Figura 23 - Calorímetro pseudo-adiabático, montado no LACC – POLI/UPE

O procedimento de mistura foi o mesmo utilizado no ensaio de tempo de pega. Após a mistura a amostra foi colocada dentro de um recipiente plástico, conectado ao termômetro. Posteriormente, o recipiente foi colocado em garrafa térmica visando a não interferência do ambiente externo.

Neste ensaio a temperatura foi medida a cada minuto, passando pela sua elevação brusca de temperatura (auge das reações), até o momento onde o aumento da temperatura foi interrompido.

3.2.6 Resistência à Compressão

A determinação da resistência à compressão seguiu as recomendações da MB 3470 (ABNT, 1991).

A forma metálica utilizada para confecção dos corpos de prova ensaiados está apresentada na Figura 24, e a prensa utilizada foi uma máquina universal de ensaios da Emic, marca DL 30.000 (Figura 25).

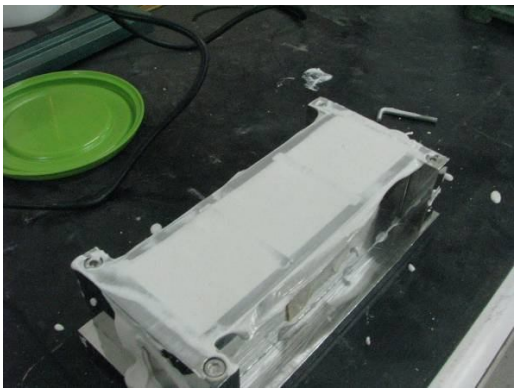

Figura 24 - Molde dos corpos de prova para determinação da resistência à compressão

Foram ensaiadas 03 séries: GN (Gesso Natural), G5 (Gesso com adição de 5% de resíduo), e G10 (Gesso com adição de 10% resíduo), cada série com 03 amostras (Figura 26).

Figura 25 - Máquina universal de ensaios utilizada.

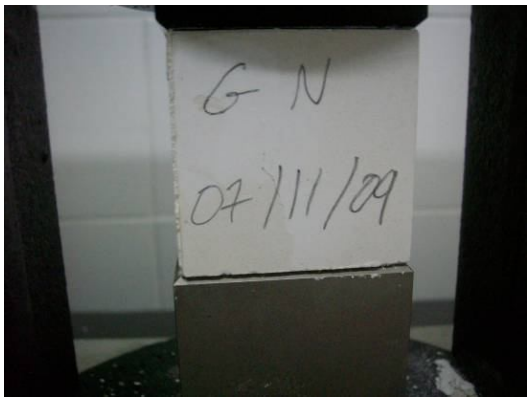

Figura 26 - Corpo de prova a ser rompido por compressão.

Os resultados são apresentados em forma gráfica (Figura 27) e numérica (Figura 28) através de um computador acoplado a prensa.

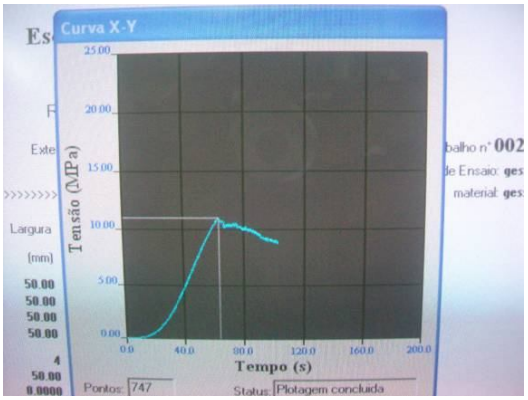

Figura 27 - Expressão gráfica do resultado da tensão de compressão

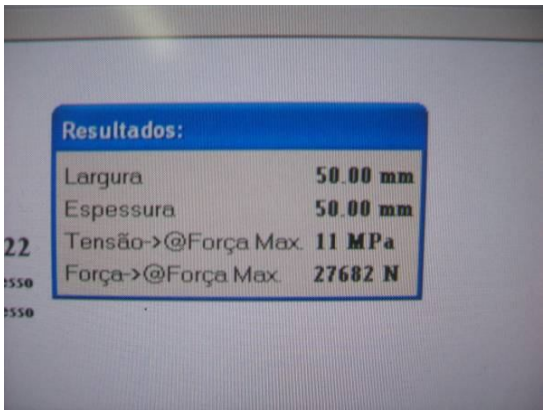

Figura 28 - Expressão numérica de tensão de compressão.

3.2.7 Resistência de aderência

A metodologia foi baseada na NBR 13528 (ABNT,1995). Os ensaios foram realizados em um pórtico cuja base de aplicação eram blocos cerâmicos de vedação que receberam aplicação de revestimento em pasta de gesso.

O pórtico foi dividido em 03 panos, No primeiro foi aplicado gesso natural (GN), e nos outros dois foi aplicado gesso adicionado com resíduo a 5% (G5) e 10% (G10) , todos com fator a/g 0,66.

Foram coladas com adesivo epóxi no revestimento em gesso, placas metálicas de (5 x 5) cm como indica a Figura 29.

Figura 29 - Pórtico preparado para execução de ensaio de resistência de aderência.

Após a cura / endurecimento da resina epóxi, foi executado ensaio através de equipamento de tração acoplado aos suportes metálicos (Figura 30) onde foi aplicada uma carga crescente, normal à superfície do corpo de prova, até a ruptura. A resistência de aderência foi calculada pela relação entre a carga de tração e a área do corpo de prova.

O ensaio foi realizado com Transdutor de força, marca Alfa Instrumentos, modelo Z2T, número de série 0842339, faixa nominal de 2000 kgf, e instrumentação eletrônica associada digital, marca Alfa Instrumentos, modelo 3105C, número de série 100BC9, faixa nominal de cinco dígitos e 1 ponto.

Figura 30 - Execução de ensaio de resistência de aderência

3.2.7.1 Forma de ruptura da amostra

Visando incrementar a interpretação dos ensaios, foram observadas e registradas três formas diferentes de ruptura, seguindo as camadas e seus revestimentos.

TIPO 1 – Ruptura no bloco cerâmico, como observada na Figura 31. Neste caso o elo frágil do sistema não tem nenhuma ligação com a pasta de gesso, sendo a resistência do próprio bloco inferior à da pasta e suas interfaces.

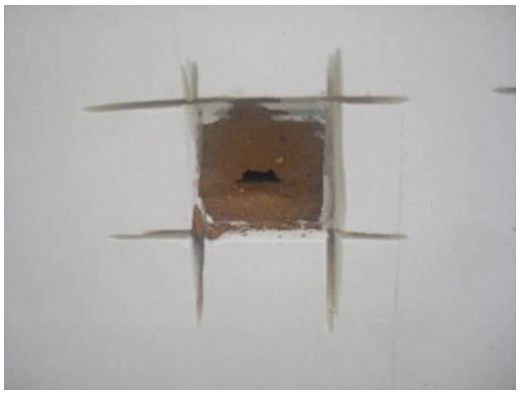

Figura 31 - Rompimento tipo 1, bloco cerâmico.

TIPO 2 – Ruptura na interface bloco cerâmico / pasta de gesso, como observado na figura 32, mostrando a fragilidade justamente na aderência entre elementos distintos.

Figura 32 - Rompimento Tipo 2, interface argamassa / base.

TIPO 3 – Ruptura na pasta / argamassa de gesso,como observado na Figura 33. Apresenta como elo frágil a própria pasta / argamassa de gesso.

Figura 33 - Rompimento Tipo 3, argamassa de gesso.

3.2.7.2 Tratamento estatístico dos resultados

Visando controlar a dispersão entre os 12 pontos ensaiados em cada tipo de revestimento (GN, G5 e G10), foram desconsiderados os pontos na faixa de 20% acima ou abaixo da média de cada grupo. O procedimento se repetiu até não existir desconsiderações de valores, de modo que eventuais falhas de manuseio ou operação que resultassem em resultados distantes da media obtida, não fraudassem as analises.

3.2.8 Massa unitária

Os ensaios de massa unitária foram realizados de acordo com a MB 3468 (ABNT, 1991), sendo executados com duas amostra do gesso natural, e duas amostras do resíduo puro. Foi utilizado um recipiente cilíndrico de 100mm de diâmetro e 125mm de altura, um funil e uma peneira (Figura 34).

Figura 34 - Aparelho para determinação de massa unitária.

No ensaio de massa unitária o material (gesso puro ou resíduo puro) foi colocado sobre a peneira para que o material passante, com auxílio do funil, preenchesse o recipiente cilíndrico. Após o completo preenchimento, o material foi pesado e a massa unitária obtida pela relação entre a massa do material e o volume do recipiente.

Conforme determinação normativa, a massa unitária é encontrada através da divisão do peso, em grama, dos materiais dentro do recipiente (gesso e resíduo separadamente), pelo volume do recipiente, em cm^3, multiplicando o resultado por 1000. Os valores obtidos são os observados na Tabela 6.

Tabela 6- Resultado referente à massa unitária do gesso natural e do resíduo.

	Amostra Gesso		**Amostra Resíduo**	
Massa Unitária kg/m³	1	2	1	2
	688,00	686,00	671,00	665,00

Os valores obtidos se encontram inferiores porém próximos a indicação normativa da NBR 13207 (ABNT, 1994), que deve ser superior a 700 kg/m^3.

4 RESULTADOS E COMENTÁRIOS

4.1 Observações “in loco”

A adição do resíduo associado ao incremento da energia cinética aplicada a apenas uma parte de todo o gesso polvilhado na água, gerou aceleração no início de pega, diminuindo o tempo improdutivo gerado pela espera da consistência mínima necessária para a condição do início da aplicação.

Seja por falta de controle, ou por busca de facilitação da mistura (maior plasticidade), ou até mesmo pelo retardo do início precoce das reações de hidratação, o fator água / gesso utilizado é consideravelmente maior, quando comparado ao previsto utilizado nos procedimentos propostos pela MB 3469 (ABNT, 1991), para obtenção da consistência. É sabido, porém, que diferenças da utilização do fator a/g, como observado, resultam inevitáveis consequências nas propriedades mecânicas do revestimento, que podem ou não comprometer seu desempenho.

Apesar de não possuir ligação direta com os procedimentos de reutilização de resíduo em beneficiamento, os cuidados durante o processo como: colocação de lona, coleta de sobras e beneficiamento, resultaram em redução de resíduo gerado, possivelmente como fruto da consciência meio ambiental, indiretamente implementada pelo processo.
Essa diminuição, apesar de comprovada através do fato de que era comum faltar resíduos para adição de 10% em alguns momentos de trabalho, não foi medida, mas estima-se, como informado na metodologia deste trabalho, que um percentual aceitável de perda está próximo a 10% , ou seja , valores bem inferiores aos pesquisados por diversos autores.

4.2 Experimentos realizados na pasta / argamassa no estado fresco

4.2.1 Tempo de pega

Segundo a MB 3469 (ABNT, 1991), os limites de início e fim de pega devem ser, respectivamente, maior que 10 e 45 minutos. Conforme esperado, a argamassa com resíduo beneficiado e pasta de gesso apresenta uma diminuição no tempo de pega, tanto inicial como final.

Observa-se nas Figuras 35, 36 e 37, os resultados das amostras para GN, G5, e G10, respectivamente, cuja dispersão observada não requer tratamento estatístico.

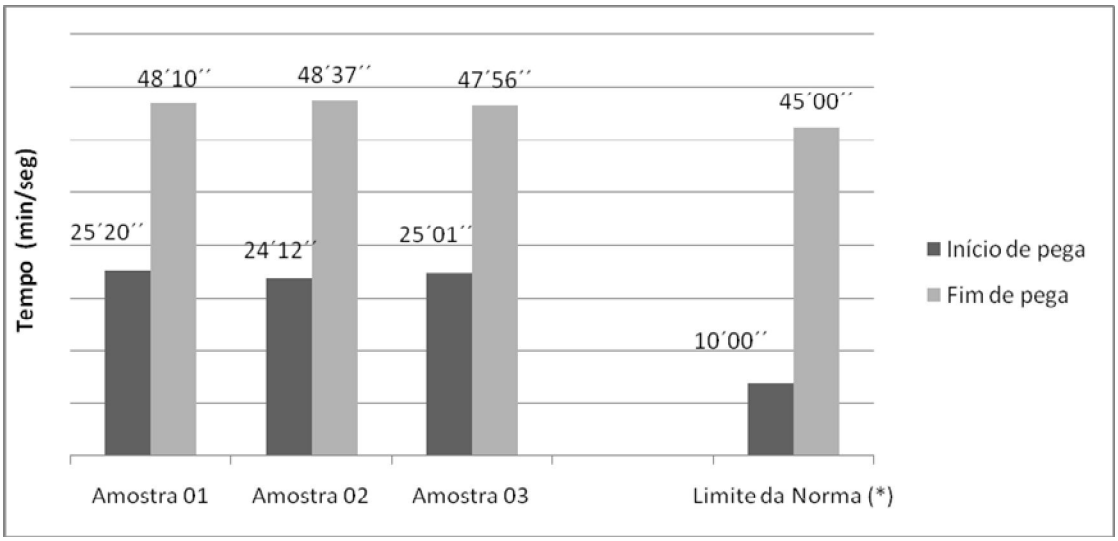

Figura 35 - Tempo de pega do gesso.

(*) NBR 13207 (ABNT, 1994)

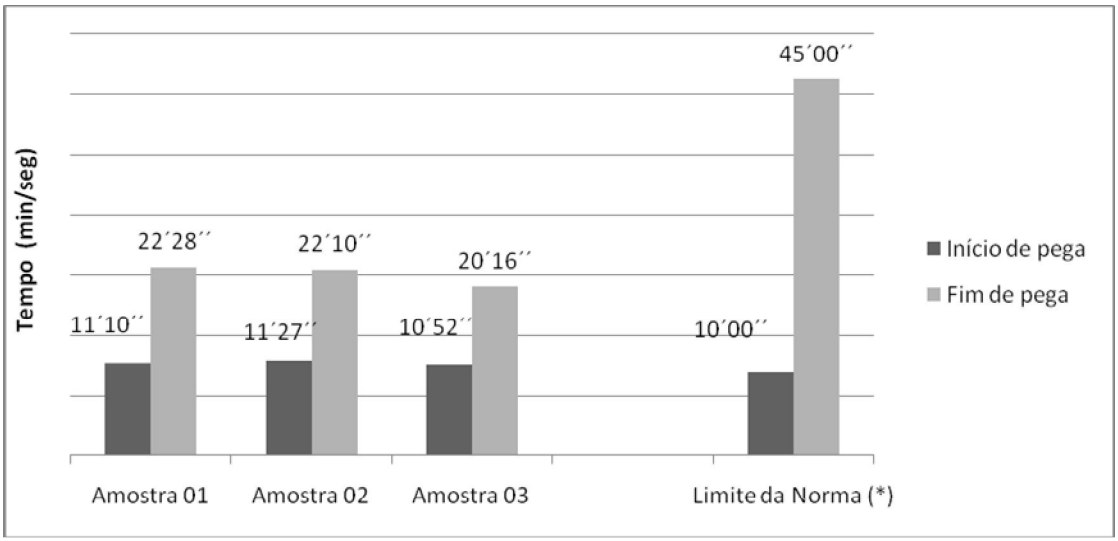

Figura 36 - Tempo de pega do gesso com adição de 5% de resíduo.

(*) NBR 13207 (ABNT, 1994)

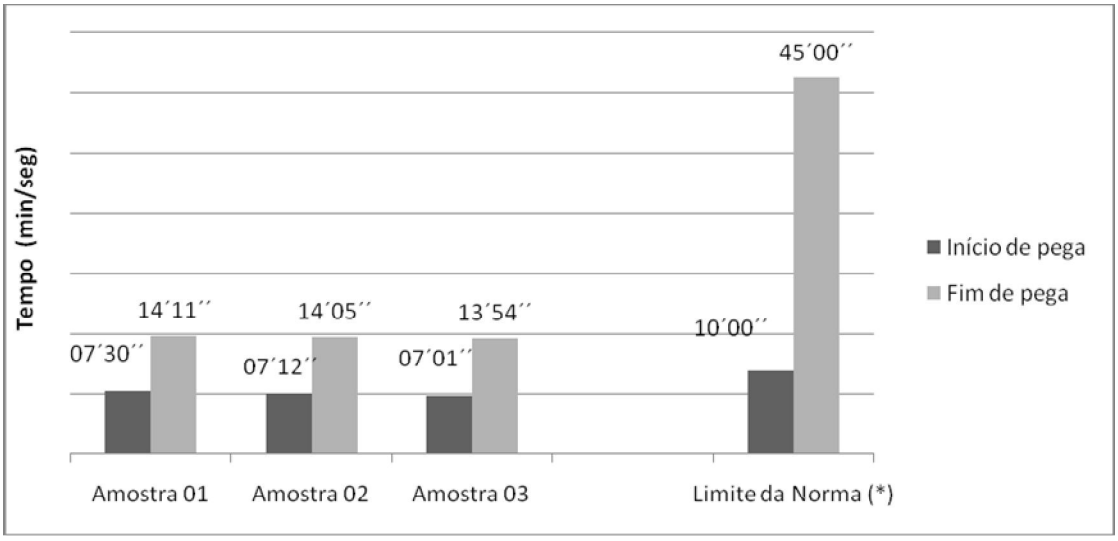

Figura 37 - Tempo de pega do gesso com adição de 10% de resíduo

(*) NBR 13207 (ABNT, 1994)

Sendo a temperatura da água de amassamento e a energia cinética utilizada na mistura, ambas iguais para todos os teores de adição de resíduo (0 , 5 e 10%), a causa da diminuição do tempo de pega está ligada a adição de resíduo, pela presença dos pontos de nucleação gerados não apenas pelo dihidrato, mas por eventuais impurezas.

Outro fator contribuinte para a diminuição do tempo de pega, é a elevação dos fatores água / elementos sólidos, na medida que se incrementa a adição de resíduo, uma vez que o fator água/gesso foi mantido.

É importante observar que a redução do tempo se deu tanto para o início como para o fim de pega como pode-se observar na Tabela 7, que apresenta a média de cada percentual de resíduo adicionado.

Tabela 7 - Valores médios de início e fim de pega.

	GN	G5	G10
Inicial (min:seg)	24:51	11:10	07:14
Final (min:seg)	48:15	21:38	14:03
Intervalo Tf – Ti (min:seg)	23:24	10:28	06:49

O intervalo entre o início e fim de pega, que pode ser considerado próximo ao tempo útil (para utilização) da argamassa de gesso, é consideravelmente reduzido. O G5 apresentou uma

redução de 55%, e G10 de 71%. É preciso atenção na utilização do procedimento, pois um ganho na diminuição do tempo improdutivo inicial pode ser comprometido pelo rápido endurecimento da argamassa com resíduo.

Como se observa nas figuras 36 e 37, o fim de pega fica aquém da indicação da norma de 45 minutos, para as amostras G5 e G10, e o início de pega para G10 também fica abaixo da indicação normativa, de 10 minutos.

4.2.1.1 Comparação com pesquisas anteriores

Sobrinho (2009) publicou resultados referente ao tempo de início de pega tanto com gesso natural, quanto com adição de 5 e 10% de resíduo. Porém é importante ressaltar a utilização de um fator água / gesso de 0,80, ou seja, acima do utilizado nesta pesquisa. Este pesquisador apresenta resultado gráfico com valores aproximados de início de pega do GN, de 20 minutos, G5, 17 minutos,e por fim G10, 14 minutos. Esses valores são próximos dos apresentados na presente pesquisa em GN, porém com relevante diferenciação em G5 e G10, onde Sobrinho (2009) apresentou um tempo de início de pega bem superior, certamente consequência do fator água / gesso utilizado.

Alencar et al (2008) apresentou resultados do tempo de pega final com adição de resíduo em 24 minutos(0%) e 20 minutos (10%), porém utilizando um fator a/g de 0,8, e utilizando o método da norma DIN do “tempo de corte”, para determinar os tempos de pega. A relevante diferença de metodologia e consistência da pasta não permite comparação entre os resultados.

Schimitz (2008) apresenta resultados utilizando metodologia e determinação do fator a/g similares, possibilitando comparações que estão expressas nas Figuras 38 e 39, para pega inicial e final, respectivamente.

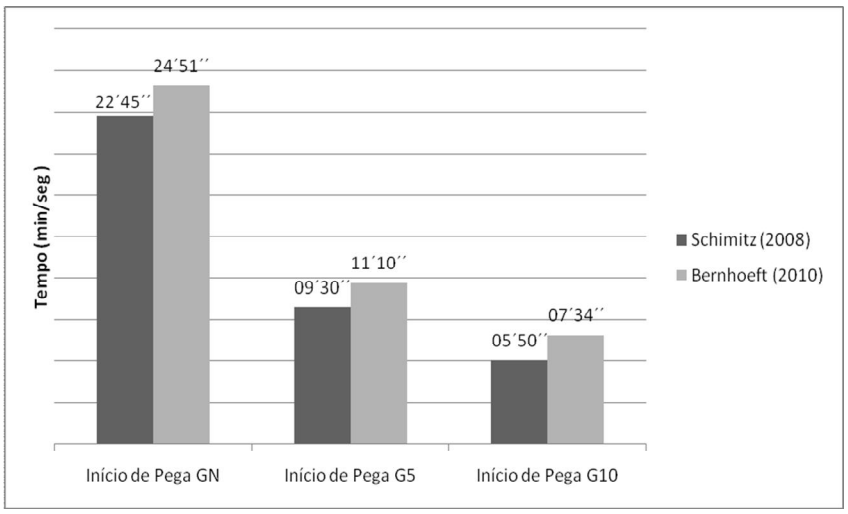

Figura 38 - Comparações entre resultados para início de pega obtidos por Schimitz (2008) e a atual pesquisa.

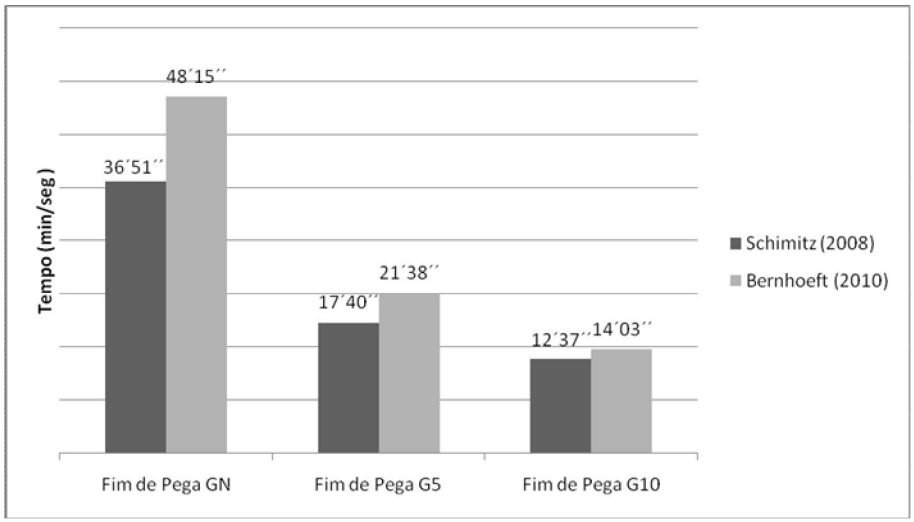

Figura 39 - Comparações entre resultados para fim de pega obtidos por Schimitz (2008) e a atual pesquisa.

A comparação dos resultados obtidos apresenta coerência, cabendo as alterações de valores a variáveis peculiares, como por exemplo; tipo / marca do gesso natural e resíduo utilizado.

4.2.2 Calor de hidratação

É possível considerar que a execução do ensaio de calor de hidratação através do calorímetro pseudo-adiabático proposto por Murat; Jeandot (1973), apresenta os tempos de início e fim de pega através da medição do gradiente térmico da argamassa / pasta de gesso, podendo ser

considerado o início de pega quando o crescimento da temperatura em relação ao tempo ultrapassar 0,1°C/min, e o fim de pega, no registro da temperatura máxima.

Trata-se, portanto, de uma metodologia interessante onde eventuais falhas de manuseio ou interpretações da utilização da agulha de Vicat não são possíveis, uma vez que se trata de medições objetivas de temperatura.

Conforme descrito na metodologia do trabalho, foram executados ensaios de calor de hidratação em 03 amostras para cada mistura realizada, ou seja, GN, G5 e G10. A planilha com todos os resultados e medições constam no anexo 2 desta dissertação.

Como os valores não apresentaram dispersões que justificassem tratamento estatístico, foi selecionada uma amostra de cada tipo de pasta / argamassa para obtenção do resultado apresentando na Figura 40, onde a variação da temperatura em função do tempo resulta em uma curva típica do calor de hidratação, sendo possível identificar suas 03 etapas.

Considerando o tempo T1 o momento onde o gradiente térmico ultrapassa 0,1 ° C /mim, e o tempo T2, onde a temperatura interrompe sua elevação, gerou-se o comparativo entre a pasta GN e as argamassas G5 e G10 (Figura 41).

Conforme foi comentado neste trabalho é possível considerar o tempo útil para aplicação das argamassas de gesso, a diferença entre T2 e T1. No caso dos ensaios apresentados é possivel registrar que, não obstante a relevante diminuição de T1, 09 minutos para G5 , e 10 minutos para G10, conforme a figura 41, observa-se a pequena perda de tempo útil especialmente para G5 , 4%, e G10, 30% (Figura 42).

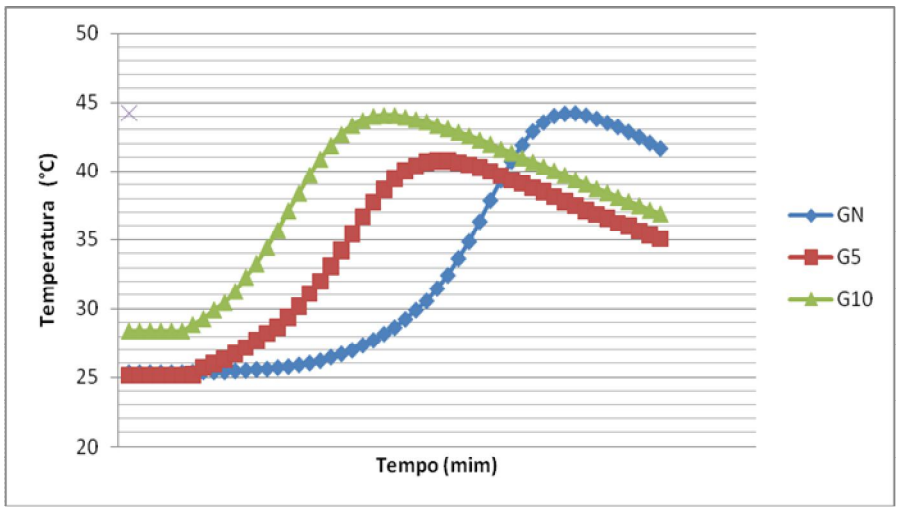

Figura 40 - Calor de hidratação da pasta e das argamassas de gesso.

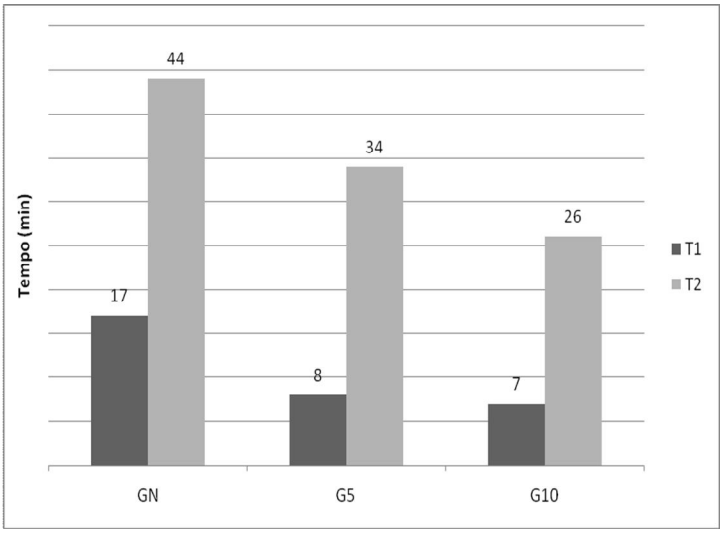

Figura 41 - T1 (Tempo de início de pega), e T2 (Tempo de fim de pega), segundo adição de resíduos.

Esses números mostram uma potencial possibilidade da adição do resíduo, especialmente em teores de 5%, de ser utilizado para minimizar o tempo improdutivo da aplicação do gesso, diminuindo T1, e consequentemente, o tempo de espera das reações de hidratação, sem contudo, comprometer o tempo útil, ou seja T2 – T1.

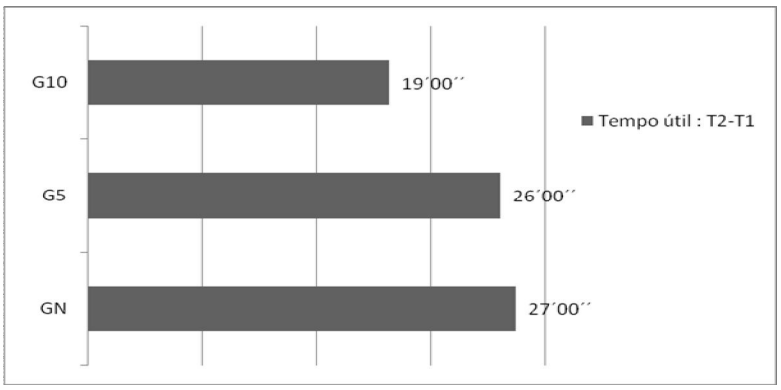

Figura 42 - Tempo útil das argamassas.

É importante registrar que Antunes (1999), em sua pesquisa de campo em diversas obras, registrou diferentes números e condições, onde o valor médio do tempo útil encontrado foi de 30,8 minutos, sendo observado tempo mínimo de 23,8, e máximo de 37,7 minutos, valores próximos aos resultados de tempo útil da Figura 42, em especial para G5.

Schimitz (2008) estudou resíduos coletados de quatro obras diferentes e obteve resultados quase similares entre G5 e G10, em dois dos quatro tipos de resíduos estudados, obtendo diminuição do tempo de início e fim de pega, assim como redução aproximada de 20% do tempo útil, ou seja , considerado T2 – T1.

4.2.3 Resistência à Compressão

Nenhum resultado diferiu mais do que 15% da média calculada, de modo que as séries foram consideradas válidas, segundo MB 3470 (ABNT 1991).

A Figura 43 apresenta o resultado dos 03 corpos de prova ensaiados para GN, G5 e G10, demonstrando queda relevante da resistência à compressão média (de 13,5 MPa do GN, para 6,0 MPa no G10), isto observando o fator a/g adquirido no ensaio de consistência de 0,66,em geral, valor inferior a práticas adotadas nas obras.

Segundo NBR 13207 (ABNT 1994), que relata as condições exigíveis para recebimento do gesso de revestimento, a resistência à compressão deve ser superior a 8,4 MPa. A simples análise dos números remeteria a afirmação de que, na caracterização realizada, o resultado de GN, e G5 estariam satisfazendo as condições da normalização, estando insatisfatória, nesse

caso, a média adquirida com G10, cujo o valor foi 6,0 MPa. É importante considerar o fato de que G10 não é tecnicamente uma pasta, mas uma argamassa onde o agregado seria o dihidrato triturado.

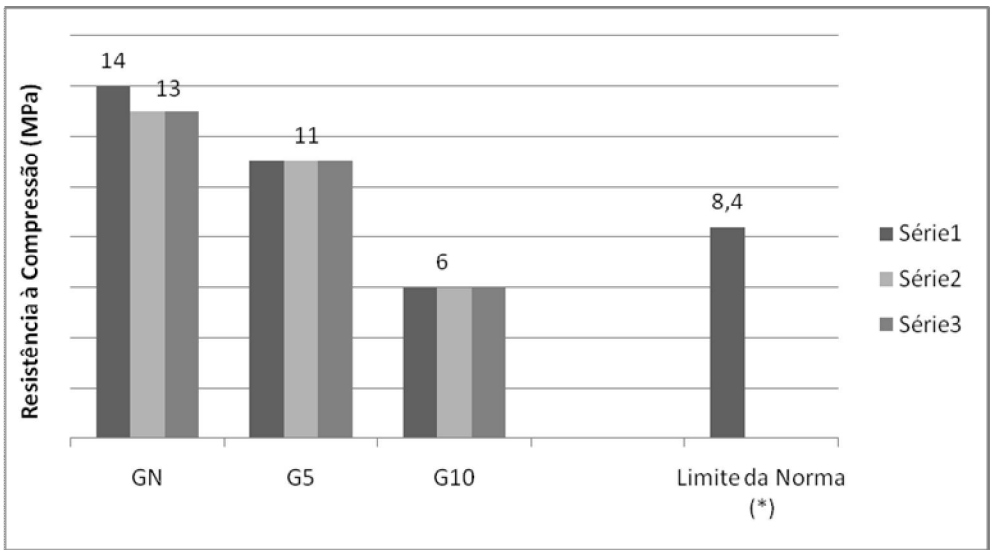

Figura 43 - Resistência à compressão da pasta e argamassas de gesso.

(*) NBR 13207 (ABNT, 1994)

É sabido que a norma citada objetiva o critério de recebimento de material. Todavia, como apresenta Antunes e John (2000), na prática de obra, na execução de pasta de gesso em revestimentos internos, a relação a/g utilizada é consideravelmente superior ao que seria estabelecido no ensaio de consistência. Na Região Metropolitana do Recife esta relação fica em torno de 0,80.

Conforme comentado, no Brasil, alguns pesquisadores como Nita et al (2004), Alencar et al (2008), Schimitz (2008) e Sobrinho (2009), iniciaram o estudo da influência da adição de resíduo de gesso na pasta para aplicação de revestimentos internos, e estes incluíram em suas pesquisas análise da resistência à compressão comparadas ao gesso natural.

Alencar et al (2008) e Sobrinho (2009) executaram ensaios de resistência à compressão com relações água / gesso próximo a realidade de execução de obra, adotando 0,80.

Sobrinho (2009) ensaiou uma série com gesso natural, e outras com 5%, 10%, 15%, 20%, e 25% de adição de resíduo. Seus resultados médios foram consideravelmente baixos quando comparados a Figura 43, inclusive no gesso natural sem nenhuma adição de resíduo ,onde seu resultado médio foi de 2,7 MPa, enquanto o desta pesquisa foi de 13,3 MPa.

Os principais fatores que podem explicar a relevante distorção dos resultados são, prioritariamente, o fator água / gesso utilizado por Sobrinho (2009), cujo peso de água foi 20% superior, além da metodologia do ensaio que foram seguidas diretrizes da NBR 7215 (ABNT, 1997) – "*Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão*".

Como conclusão, o pesquisador indicou um decréscimo pouco acentuado da resistência à compressão com adição de resíduo ratificando conclusões anteriores de Nita et al (2004), que em relações a/g elevadas indica existir pouca influência da adição do resíduo na resistência à compressão , podendo esta resistência, inclusive, crescer.

Alencar et al (2008) utilizou as mesmas proporções de adição de resíduo que posteriormente seriam ensaiadas por Sobrinho (2009) (figura 44). Os resultados apresentados nessa pesquisa indicam aumento da tensão de ruptura até adições de aproximadamente 10% (resistência máxima atingida próxima a 3,5 MPa), observando que em adições superiores registra-se um decréscimo da tensão de ruptura.

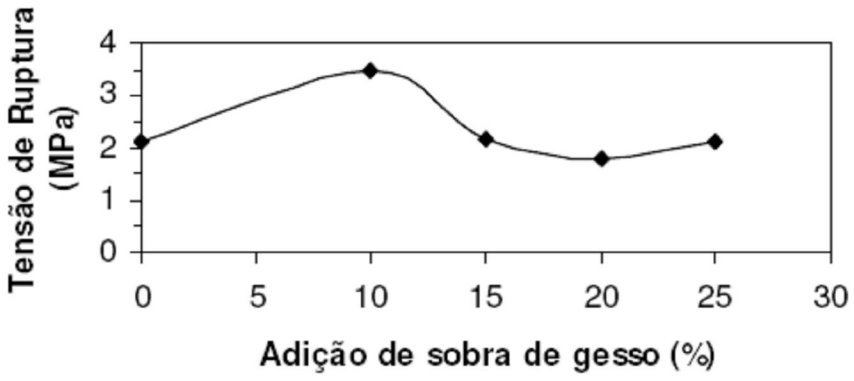

Figura 44 - Resistência à compressão em pesquisa de Alencar et al (2008)

O resultado observado por Alencar et al (2008), associado aos de Sobrinho (2009) indicam que em maiores relações água/gesso, acima da obtida pelo ensaio de consistência normal, porém próximas a da prática utilizada nas obras, a alteração da resistência à compressão é

irrelevante podendo até mesmo aumentar. Porém, os valores absolutos são consideravelmente mais baixos que os indicados na (*) NBR 13207 (ABNT, 1994), cujos valores devem ser maiores que 8,4 MPa, tendo obtidos nessas pesquisas citadas valores próximos a 3,0 MPa.

Não obstante ter pesquisado menores percentuais de substituição do resíduo (1%, 2%, 3% e 4%), é relevante registrar as conclusões de Nita et al (2004), uma vez que sua pesquisa apresenta a correlação entre duas relações água / gesso, 0,60 (próximo as obtenções segundo ensaio de consistência), e 0,72 (próximo a prática usual das obras). Segundo o pesquisador, amostras com maior consumo de água apresentou aumento significativo na resistência à compressão (Figura 44), indicando importante diferença de tendência quando adicionados pequenos percentuais de gesso hidratado.

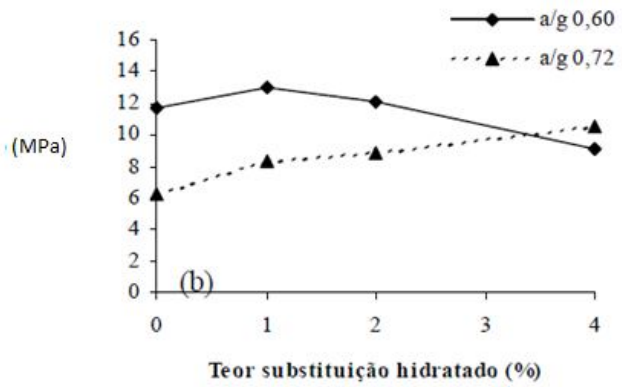

Figura 45 - Gráfico de Nita et al (2004), relacionando tensão de compressão a pequenas adições de resíduos e diferentes relações água / gesso.

Por outro lado, Schimitz (2008), em seus ensaios, adotou a relação água/gesso determinada segundo ensaio para a consistência normal descrita na MB 3469 (ABNT, 1991), obtendo o resultado de 0,60 , ou seja, menos do que 70% da relação água/gesso adotada nas pesquisas de Alencar (2008) e Sobrinho (2009).

Nos resultados obtidos por Schimitz (2008), em todas as obras com ambas as substituições adotadas (5% e 10%) foi observado decréscimo da resistência à compressão. Comparando o resultado médio de uma das obras com a média observada nesta pesquisa, gera-se a figura 46, que demonstra proximidade nos resultados não sofrendo alteração superior a 6% para GN e G5, mas havendo uma dispersão de 30% para G10.

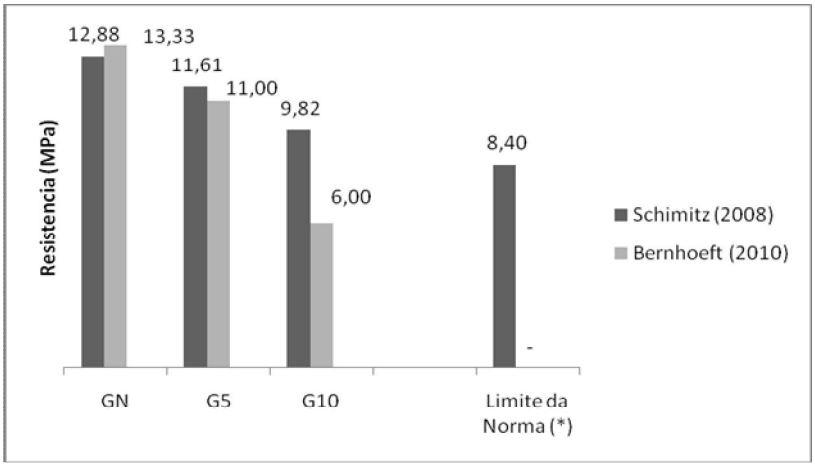

Figura 46 - Comparação dos resultados de tensão de compressão entre Schimitz (2008) e a atual pesquisa.

(*) NBR 13207 (ABNT, 1994)

Nesta pesquisa , apesar da resistência à compressão do G10 ser inferior a 8,4 MPa (limite da norma), todos os valores obtidos quando dae adição de resíduos são compatíveis com os praticados em obras de revestimento sem resíduos, próximos a 3,0 MPa, valor que pode ser observado nos pesquisadores citados que utilizaram fator a/g próximo a 0,75.

4.2.4 Resistência de aderência

Como estabelecido na metodologia,foram estabelecidos os critérios de ruptura abaixo:

i) Ruptura tipo 1 – No bloco cerâmico.

ii) Ruptura tipo 2 – Na interface bloco cerâmico / pasta de gesso.

iii) Ruptura tipo 3 – Na pasta / argamassa de gesso.

Segundo este critério, os resultados estão expostos nas Tabelas 8, 9 e 10, para GN, G5 e G10 respectivamente.

Apesar de se observar certa coerência nos números, visando minimizar efeitos da dispersão, foi aplicado tratamento estatístico excluindo-se valores 20% acima ou abaixo de cada média, gerando os limites superiores e inferiores da Tabela 11.

Após obtenção dos dados, foi aplicado novo tratamento estatístico e estes não apresentaram nenhuma eliminação. Sendo assim, pode-se considerar a média da Tabelas 12, 13 e 14 o números finais de resistência de aderência.

Tabela 8 - Resistência de aderência para GN.

RESISTENCIA DE ADERÊNCIA PARA GN			
AMOSTRA	**FORÇA (kg)**	**TENSÃO (MPa)**	**DESCRIÇÃO DO ROMPIMENTO**
1	51,20	0,20	100% Tipo 02
2	136,20	0,54	80% Tipo 03 ; 20% Tipo 02
3	62,70	0,25	100% Tipo 02
4	77,10	0,31	100% Tipo 03
5	62,70	0,25	100% Tipo 01
6	77,70	0,31	100% Tipo 03
7	116,70	0,47	100% Tipo 01
8	105,90	0,42	100% Tipo 02
9	67,00	0,27	100% Tipo 01
10	76,40	0,31	100% Tipo 03
11	99,50	0,40	100% Tipo 01
12	102,30	0,41	100% Tipo02
MÉDIA	**86,28**	0,35	

Tabela 9 - Resistência de aderência para G5.

RESISTENCIA DE ADERÊNCIA PARA G5			
AMOSTRA	**FORÇA (kg)**	**TENSÃO (MPa)**	**DESCRIÇÃO DO ROMPIMENTO**
1	122,80	0,49	50% Tipo 02 ; 50% Tipo 01
2	58,70	0,23	100% Tipo 02
3	89,20	0,36	100% Tipo 03
4	84,50	0,34	100% Tipo02
5	89,00	0,36	75% Tipo03 ; 25% Tipo 02
6	126,00	0,50	100% Tipo 01
7	155,50	0,62	100% Tipo 03
8	65,60	0,26	100% Tipo 02
9	69,00	0,28	100% Tipo 02
10	99,00	0,40	100% Tipo 01
11	101,8	0,41	100% Tipo 02
12	96,40	0,39	100% Tipo 02
MÉDIA	**96,46**	**0,39**	

Tabela 10 - Resistência de aderência para G10.

RESISTENCIA DE ADERÊNCIA PARA G10			
AMOSTRA	**FORÇA (kg)**	**TENSÃO (MPa)**	**DESCRIÇÃO DO ROMPIMENTO**
1	84,80	0,34	100% Tipo 02
2	60,70	0,24	100% Tipo 01
3	78,50	0,31	100% Tipo 02
4	77,30	0,31	20% Tipo 02 ; 80% Tipo 01
5	74,30	0,30	100% Tipo 02
6	83,80	0,34	100% Tipo 02
7	88,50	0,35	100% Tipo 02
8	77,90	0,31	100% Tipo 01
9	151,11	0,60	100% Tipo 03
10	73,40	0,29	100% Tipo 02
11	83,00	0,33	100% Tipo 03
12	87,00	0,35	100% Tipo 03
MÉDIA	**85,03**	**0,34**	

Tabela 11 - Limites superiores e inferiores do tratamento estatístico.

	GN	G5	G10
Média original	0,35	0,39	0,34
Limite Inferior	0,28	0,31	0,27
Limite Superior	0,42	0,47	0,41

Tabela 12 - Resistência de aderência para GN após tratamento estatístico.

FORÇA (kg)	**TENSÃO (MPa)**	**DESCRIÇÃO DO ROMPIMENTO**
GN		
77,10	0,31	100% Tipo 03
77,70	0,31	100% Tipo 03
105,90	0,42	100% Tipo 02
76,40	0,31	100% Tipo 03
99,50	0,40	100% Tipo 01
102,30	0,41	100% Tipo02
89,82	0,36	**MÉDIA**

Tabela 13 - Resistência de aderência para G5 após tratamento estatístico.

FORÇA (kg)	**TENSÃO (MPa)**	**DESCRIÇÃO DO ROMPIMENTO**
G5		
89,20	0,36	100% Tipo 03
84,50	0,34	100% Tipo02
89,00	0,36	75% Tipo03 ; 25% Tipo 02
99,00	0,40	100% Tipo 01
101,8	0,41	100% Tipo 02
96,40	0,39	100% Tipo 02
93,32	**0,37**	**MÉDIA**

Tabela 14 - Resistência de aderência para G10 após tratamento estatístico.

FORÇA (kg)	TENSÃO (MPa)	DESCRIÇÃO DO ROMPIMENTO
G10		
84,80	0,34	100% Tipo 02
78,50	0,31	100% Tipo 02
77,30	0,31	20% Tipo 02 ; 80% Tipo 01
74,30	0,30	100% Tipo 02
83,80	0,34	100% Tipo 02
88,50	0,35	100% Tipo 02
77,90	0,31	100% Tipo 01
73,40	0,29	100% Tipo 02
83,00	0,33	100% Tipo 03
87,00	0,35	100% Tipo 03
80,85	**0,32**	**MÉDIA**

Os resultados médios obtidos registrados na Figura 47, mostram que os resultados da adição até 10% de resíduo produz efeito praticamente irrelevante na resistência de aderência, afinal as variações não ultrapassaram 0,04 MPa.

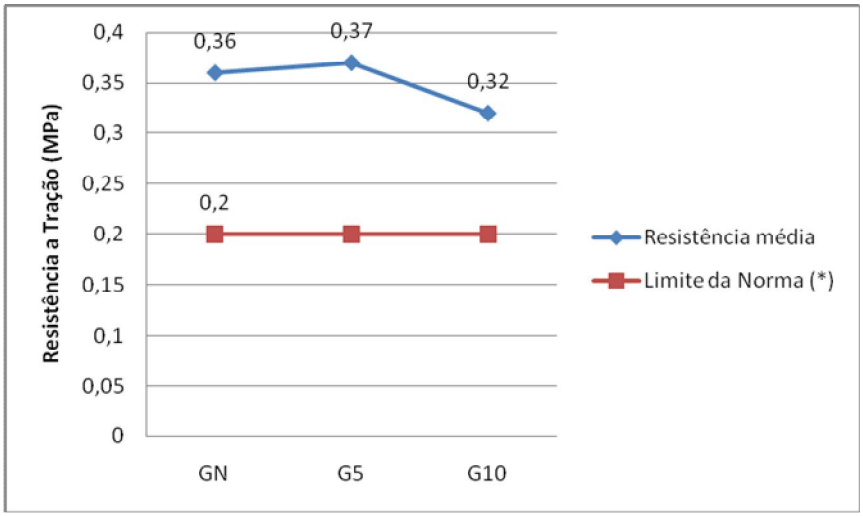

Figura 47 - Resistência de aderência média comparada com o limite normativo.

(*) NBR 13528 (ABNT, 1995)

Diante da ausência de normalização específica para determinação de limites na análise de desempenho da resistência de aderência das pastas de gesso, remeter os resultados ao referencial de outra norma é um critério satisfatório para avaliação dos resultados.

A NBR 13528 (ABNT, 1995) – denominada "*Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração*", apresenta como limite para revestimentos internos, resistência de aderência igual ou superior a 0,20 MPa, para pintura, como pode ser observado na Tabela 15.

Tabela 15 - Limites de resistência de aderência (Ra) para emboço e camada única (NBR 13528 (ABNT, 1995).

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥ 0,20
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥ 0,30
		Cerâmica	≥ 0,30
Teto			≥ 0,20

Admitindo esse parâmetro, que traduz a realidade dos locais para aplicação em revestimento de gesso, por se tratar de superfícies que apenas receberão pintura, os resultados apresentados são satisfatórios, pois o valor médio mínimo para o G10, foi registrado como 0,32 MPa.

O resultado acima é compatível com a realidade dos revestimentos aplicados nos canteiros de obra. Kazmierczak, Brezezinski e Collatto (2007), em seus estudos relacionados a influência do substrato na resistência de aderência à tração de argamassas inorgânicas, apresenta os resultados da Figura 48, onde a média dos valores obtidos são plenamente compatíveis com os resultados apresentados.

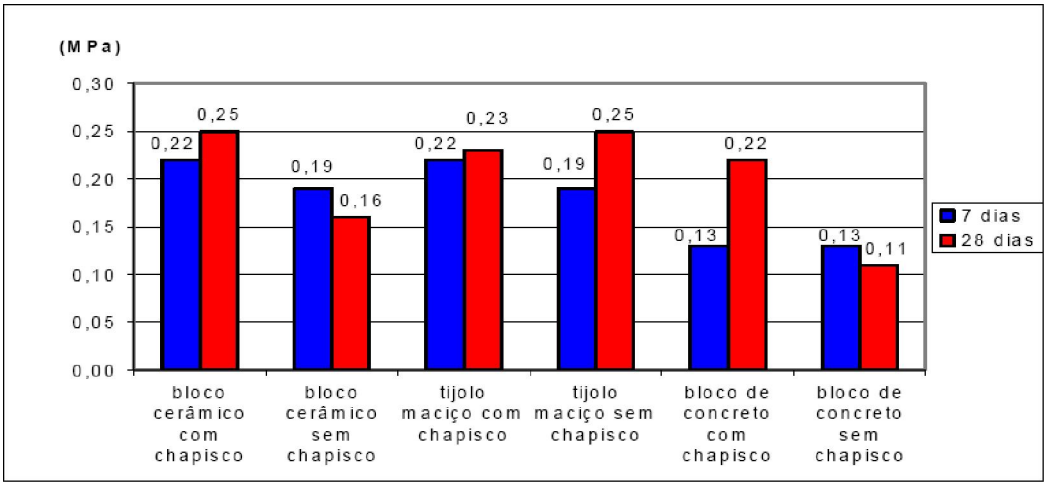

Figura 48 - Influência do substrato na resistência de aderência à tração de argamassas inorgânicas. (KAZMIERCZAK, BREZEZINSKI e COLLATTO, 2007).

Para pastas de gesso, resultados de outros autores que utilizaram relações água/gesso superiores ao adquirido através do ensaio de consistência normal, chegam a apresentar aumento da resistência de aderência, como Sobrinho (2009), que apresenta o G10 com aproximadamente 14% a mais de capacidade de aderência em relação a GN, sendo importante registrar que todos os resultados de sua pesquisa apresentam valores inferiores a 0,20MPa, (Figura 49).

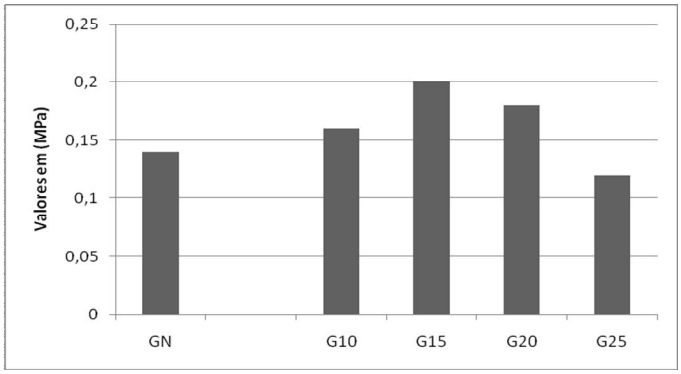

Figura 49 - Resistência de aderência de pastas e argamassas de gesso (SOBRINHO, 2009)

Alencar et al (2008) apresenta ganhos de resultados na resistência de aderência não apenas para G10, mas para G15, G20 e G25, como pode ser observado na figura 50.

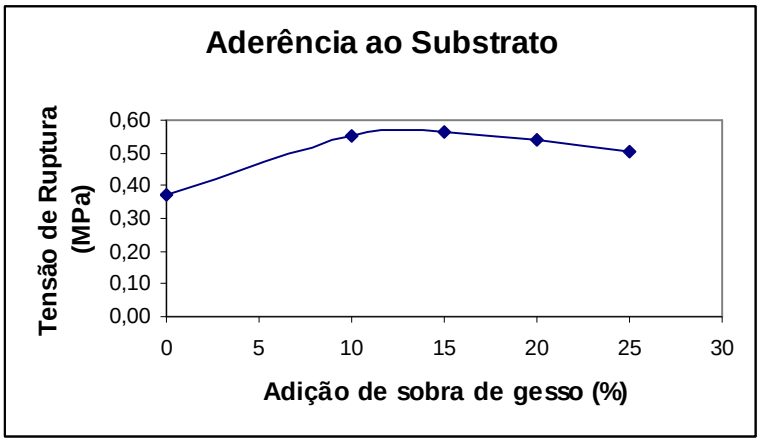

Figura 50 - Resistência de aderência de pastas e argamassas de gesso (ALENCAR et al, 2008)

Os resultados observados de resistência de aderência, independente da variação metodológica aplicada, indica que a adição de resíduos formando argamassa de gesso para aplicação em revestimentos internos, não resulta em nenhum influência negativa significativa, tornando essa prática possível.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do revestimento de gesso na construção civil não tem acompanhado o grande avanço tecnológico do setor nos últimos anos, sendo evidente o elevado desperdício gerado, seja pelas grandes espessuras do revestimento, fruto da deficiente condição das vedações, ou pela geração de resíduo, devido ao seu rápido endurecimento e falta de treinamento da mão de obra.

Os procedimentos de reaproveitamento de resíduo no próprio canteiro, adicionando sobras moídas à pasta de gesso, tem mostrado indicativo de viabilidade, porém é possível observar certa resistência à sua utilização na Região Metropolitana do Recife, especialmente pela perda de produtividade mostrada para implantação do processo.

A adição de resíduo à pasta de gesso diminui os tempos de início e fim de pega, fato que pode fornecer a possibilidade da diminuição do tempo improdutivo de espera. Atenção deve ser dada para que não ocorra diminuição do tempo da faixa de consistência útil, afinal, o rápido endurecimento das argamassas seria acelerado tornando um agravante à problemática da geração de resíduo do revestimento de gesso.

Ensaios de calor de hidratação comparativos entre pasta de gesso natural, e com adição de resíduo, vislumbram a possibilidade de manter o tempo de consistência útil, especialmente no desenvolvimento de fatores e métodos controlados correspondentes o processo de aplicação, como adição de resíduo e energia de mistura aplicada de forma parcial.

Observa-se a queda da resistência à compressão das pastas de gesso de forma proporcional a adição de resíduo, porém as resistências registradas até a adição de 10% de resíduo não compromete o desempenho da argamassa.

A resistência de aderência não apresenta alterações relevantes de valores diante da adição de até 10% de resíduo.

Pelos resultados obtidos, a adição de resíduo apresenta uma tendência vantajosa podendo contribuir com i) a produtividade, na diminuição do tempo improdutivo pela aceleração do

início de pega, e ii) a questão do meio ambiente, fornecendo destinação adequada ao resíduo de gesso com baixo custo, por sua aplicação estar no próprio canteiro de obra, sem contudo comprometer o desempenho técnico do procedimento de aplicação de revestimentos em gesso.

5.1 Proposta para estudos complementares.

É importante sistematizar a forma de aplicação da tecnologia de utilização de resíduo da pasta de gesso. Estudos podem esclarecer / eliminar o paradoxo de que, na prática, a adição de resíduo compromete a produtividade, quando tecnicamente reconhece seu poder de auxílio na diminuição do tempo improdutivo.

Estudos combinados da adição de resíduo e da utilização de aditivos para alteração de pega podem potencializar os benefícios do reaproveitamento das sobras.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, C.; BALTAR, L.; MIRANDA, L.F.R. **Avaliação da reciclagem de resíduos de gesso em canteiros-de-obras do Recife**. In. CITAES 2008 – Congresso Internacional de tecnologia Aplicada para Arquitetura e Engenharia Sustentáveis, Anais. Recife, 2008.

ANTUNES, R.P.N. ; JOHN,V.M.; ANDRADE,A.C. **Produtividade dos revestimentos de gesso : Influencia das propriedades do material**. In. Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho, I. Recife, Anais, ANTAC, Recife,1999.

ANTUNES, R.P.N. **Estudo da Influencia da Cal hidratada nas pastas de Gesso.** São Paulo 1999. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

ANTUNES, R.P.N. ; JOHN, V.M. **.O conceito de tempo útil das pastas de gesso,** São Paulo 2000. – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gesso para construção civil: Determinação das Caracteristicas físicas do pó.** MB 3468. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gesso para construção civil: Determinação das Caracteristicas físicas da pasta.** MB 3469. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gesso para construção civil: Determinação das propriedades mecânicas.** MB 3470. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão.** NBR 7215. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gesso para construção civil: Especificação .** NBR 13207. Rio de Janeiro, 1994.

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

BALTAR, C.A.M.; BASTOS, F.F.; LUZ, A.B**. Rochas e Minerais Industriais**, cap 21, Gipsita, CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL – Ministério da Ciência e Tecnologia , 2005.

BLAINE, S. Accelerating The Hydration of Calcium Sulfate Hemidydrate via high energy mixing. **Materials and Strucres**. ,1997

CIWMB (California Integrated Waste Management Board) Drywall Recycling. 01/09/03 http://www.ciwmb.ca.gov/ConDemo/factsheets/Drywall.htm#Economics

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 307, 5 de julho de 2002.

COUTINHO, L. **Agenda de política industrial para a cadeira produtiva da construção. In: 3º SEMINÁRIO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO – CONSTRUBUSINESS**. Anais. São Paulo: FIESP, 2003.

GASI, T. **Mesa redonda Paulista de produção mais limpa**, São Paulo.PE, 2002

GUSMÃO, A.D. **Manual de Gestão dos resíduos da Construção Civil**, Camaragibe, PE: CSS Gráfica Editora, 2008.

JOHN, V.M.; CINCOTTO, M.A. **Alternativas de Gestão do Resíduo de Gesso.** São Paulo. – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo,2003.

KAZMIERCZAK, C. S. ; BREZEZINSKI, D. E.; COLLATTO, D. **Influência do Substrato na Resistência de Aderência à Tração e na Distribuição de Poros de uma Argamassa.** Estudos tecnológicos, Rio Grande do Sul, v. 3, p. 47-58, jun. 2007.

MEHTA,P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto : estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, PINI, 1994.

MURAT, M.; JEANDOT, G. **Méthodes de mesures et interprétation des effets thermiques associés à l'hydratation des sulfates de calcium et des plâtres industrieils**. Revue de Matériaux de Construcion, n. 680, p. 14-23, 1973.

NITA, C.; PILEGGI, R.G.; CINOTTO,M.A.; JOHN, V.M. **Estudo da Reciclagem do Gesso de Construção**. In ENTAC 2004, I Conferencia Latino Americana de Construção Sustentável. Anais, São Paulo, 2004.

NOLHIER,M. **Contruire em Plâte**. Paris, L´Harmattan, 1986

PRIORI, L. **Implantação de um método para reutilização de resíduos em empresas aplicadoras de gesso**. Recife. 2006

SANTOS, V.A. **Fundamentos sobre processo de produção de gesso a partir da desidratação térmica da gipsita**. Recife, PEDITEC-ITEP-DQ/UNICAPDEQ/UFPE, 1998.

SCHMITZ, I.B.T.A. **Estudo da Reciclagem da Pasta de Gesso para Construção Civil.** Recife. 2008. Relatório (pesquisa) – Universidade de Pernambuco.

SELMO, S.D. **Aço carbono em pastas de gesso de construção – estimativa de taxa de corrosão por impedância e por método gravimétrico conjugado à análise de imagem**. Tese de doutorado apresentada à Escola Politécnica da USP, PCC. São Paulo, 1997

SINDUSGESSO. Disponível em: http://www.sindusgesso.org.br/ Acesso em 11 de jan de 2008.

SOBRINHO, C.W.P. **Influência da adição de resíduos de Gesso nas Propriedades Mecânicas das pastas para revestimento**. Feira de Santana. 2009. Artigo Publicado ENARC.

APÊNDICE 1 – Resultados Calor de hidratação

CALOR DE HIDRATAÇÃO EM GN

Temp	25,4° C	Temp	27,5° C	Temp	26,1° C
Umid	44%	Umid	54%	Umid	44%
A/G	0,66	A/G	0,66	A/G	0,66
AMOSTRA 01 - GN		**AMOSTRA 02 - GN**		**AMOSTRA 03 - GN**	
t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)
0	23,5	0	28,3	0	24,3
1	23,5	1	28,3	1	24,3
2	23,5	2	28,3	2	24,3
3	23,5	3	28,3	3	24,3
4	23,5	4	28,3	4	24,3
5	23,5	5	28,3	5	24,3
6	23,6	6	28,3	6	24,3
7	23,6	7	28,3	7	24,4
8	23,6	8	28,3	8	24,4
9	23,6	9	28,3	9	24,4
10	23,6	10	28,4	10	24,5
11	23,7	11	28,4	11	24,5
12	23,8	12	28,5	12	24,5
13	23,8	13	28,5	13	24,6
14	23,9	14	28,6	14	24,7
15	24	15	28,6	15	24,8
16	24,2	16	28,7	16	24,9
17	24,3	17	28,8	17	25,1
18	24,6	18	28,9	18	25,2
19	24,9	19	29,1	19	25,5
20	25,3	20	29,3	20	25,6
21	25,6	21	29,5	21	25,9
22	26,1	22	29,7	22	26,3
23	26,6	23	30	23	26,6
24	27,2	24	30,4	24	27
25	27,8	25	30,7	25	27,5
26	28,5	26	31,2	26	28,1
27	29,4	27	31,7	27	28,7
28	30,3	28	32,2	28	29,3
29	31,4	29	32,9	29	30,2
30	32,6	30	33,7	30	31,1
31	34,1	31	34,8	31	32,1
32	35,7	32	35,6	32	33,3
33	37,5	33	36,8	33	34,7
34	39,1	34	38,1	34	36,4
35	40,6	35	39,6	35	37,8
36	41,7	36	41,2	36	39,3
37	42,2	37	42,8	37	40,7
38	42,4	38	44,3	38	42
39	42,5	39	45,6	39	42,6
40	42,4	40	46,5	40	43,2
41	42,2	41	47	41	43,4
42	42	42	47,3	42	43,4
43	41,7	43	47,3	43	43,2
44	41,4	44	47,2	44	42,9
45	41,1	45	46,9	45	42,6
46	40,8	46	46,6	46	42,3
47	40,5	47	46,2	47	41,9
48	40,2	48	45,8	48	41,5
49	39,8	49	45,3	49	41,1
50	39,4	50	44,9	50	40,7

CALOR DE HIDRATAÇÃO EM G5

Temp	26,6 ° C	Temp	27,7 ° C	Temp	26,5 ° C
Umid	42%	Umid	50%	Umid	40%
A/G	0,66	A/G	0,66	A/G	0,66
AMOSTRA 01 - G5		**AMOSTRA 02 - G5**		**AMOSTRA 03 - G5**	
t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)
0	24,5	0	26,3	0	24,6
1	24,5	1	26,3	1	24,6
2	24,5	2	26,3	2	24,6
3	24,5	3	26,3	3	24,6
4	24,5	4	26,3	4	24,6
5	24,5	5	26,3	5	24,6
6	24,8	6	26,6	6	24,8
7	25,2	7	26,8	7	25,1
8	25,5	8	27,1	8	25,4
9	25,9	9	27,3	9	25,8
10	26,3	10	27,7	10	26,2
11	26,8	11	28	11	26,7
12	27,4	12	28,4	12	27,2
13	28	13	28,8	13	27,8
14	28,7	14	29	14	28,3
15	29,5	15	29,6	15	29,1
16	30,4	16	30,2	16	30
17	31,5	17	30,8	17	31
18	32,6	18	31,5	18	31,9
19	33,8	19	32,3	19	33,1
20	35,1	20	33,3	20	34,3
21	36,4	21	34,3	21	35,6
22	37,7	22	35,5	22	36,8
23	38,7	23	36,6	23	37,9
24	39,5	24	37,7	24	38,8
25	40,1	25	38,6	25	39,6
26	40,4	26	39,5	26	40,1
27	40,6	27	40	27	40,5
28	40,7	28	40,5	28	40,8
29	40,6	29	40,7	29	40,9
30	40,6	30	40,7	30	40,9
31	40,4	31	40,6	31	40,9
32	40,3	32	40,3	32	40,8
33	40,1	33	40,1	33	40,6
34	39,8	34	39,8	34	40,3
35	39,5	35	39,5	35	40
36	39,2	36	39,1	36	39,7
37	39	37	38,9	37	39,4
38	38,8	38	38,5	38	39
39	38,5	39	38,3	39	38,7
40	38,2	40	37,9	40	38,3
41	37,9	41	37,6	41	37,8
42	37,7	42	37,2	42	37,5
43	37,4	43	36,9	43	37,1
44	37,2	44	36,6	44	36,7
45	36,9	45	36,3	45	36,4
46	36,5	46	36	46	36,1
47	36,4	47	35,8	47	35,7
48	36,1	48	35,4	48	35,4
49	35,8	49	35,2	49	35
50	35,5	50	34,9	50	34,8

Temp	29,8 ° C	Temp	27,0° C	Temp	26,0 ° C
Umid	42%	Umid	50%	Umid	52%
A/G	0,66	A/G	0,66	A/G	0,66
AMOSTRA 01 - G10		**AMOSTRA 02 - G10**		**AMOSTRA 03 - G10**	
t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)
0	28,3	0	26,5	0	30,4
1	28,3	1	26,5	1	30,4
2	28,3	2	26,5	2	30,4
3	28,3	3	26,5	3	30,4
4	28,3	4	26,5	4	30,4
5	28,3	5	26,5	5	30,4
6	28,8	6	27	6	30,8
7	29,3	7	27,5	7	31,1
8	29,9	8	28,3	8	31,6
9	30,4	9	28,9	9	32,1
10	31,1	10	29,6	10	33,2
11	31,8	11	30,6	11	34,6
12	32,6	12	31,3	12	36
13	33,4	13	32,4	13	37,6
14	34,4	14	33,5	14	39,2
15	35,5	15	34,8	15	41,1
16	36,7	16	36,2	16	42,3
17	37,9	17	37,7	17	43,6
18	39,2	18	39,1	18	44,4
19	40,5	19	40,4	19	44,8
20	41,7	20	41,5	20	44,9
21	42,8	21	42,3	21	45
22	43,7	22	42,8	22	44,7
23	44,4	23	43,2	23	44,5
24	44,9	24	43,3	24	44,1
25	45,2	25	43,3	25	43,8
26	45,4	26	43,2	26	43,3
27	45,5	27	43,1	27	42,8
28	45,6	28	42,9	28	42,4
29	45,5	29	42,6	29	42
30	45,5	30	42,3	30	41,6
31	45,4	31	42	31	41,2
32	45,2	32	41,8	32	40,8
33	45	33	41,5	33	40,4
34	44,8	34	41,2	34	40
35	44,6	35	40,8	35	39,5
36	44,4	36	40,5	36	39,2
37	44,1	37	40,2	37	38,7
38	43,8	38	39,9	38	38,4
39	43,5	39	39,6	39	38
40	43,2	40	39,3	40	37,7
41	42,9	41	39	41	37,3
42	42,6	42	38,7	42	36,9
43	42,3	43	38,4	43	36,5
44	41,9	44	38,1	44	36,2
45	41,6	45	37,8	45	35,9
46	41,3	46	37,4	46	35,6
47	41	47	37,1	47	35,3
48	40,7	48	36,8	48	35
49	40,3	49	36,5	49	34,7
50	40	50	36,3	50	34,4

ANEXO 1 – CARACTERIZAÇÃO QUIMICA

ITEP

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 044.044

Recife, 02 de fevereiro de 2010.

Cliente: ESCOLA POLITECNICA DE PERNAMBUCO – UPE.	
Endereço: Rua Benfica, 455. Madalena, Recife-PE CEP. 50720-001	
Natureza do trabalho: Análise físico-química	
Material: 01 (uma) amostra de gesso agrícola	
Referência da amostra: G1	
Data da coleta: Não informada	**Hora da coleta:** Não informada
Data de recebimento: 08-01-10	**Responsável pela coleta:** CLIENTE

RESULTADOS

Parâmetros Físico-químicos	Resultados	Método
Umidade a 45º C	1,14%	ABNT-MB 3471
Anidrido Sulfúrico (em SO_3)	32,02%	
Cálcio (em Ca)	11,96%	
Cálcio (em CaO)	16,62%	
Resíduos Insolúveis + SiO_2	7,50%	

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Observações:
a) Os resultados deste ensaio/análise têm significação restrita e se aplicam tão somente a (s) amostra (s) coletada (s) pelo **CLIENTE**;
b) Os resultados apresentados neste documento não podem ser usados para fins promocionais;
c) A reprodução deste documento para outros fins, só poderá ser feita integralmente sem nenhuma alteração e com a aprovação do laboratório;
d) Métodos utilizados / ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

MSc. Genilda M. Oliveira
Química Industrial
C.R.Q. 01.201.130-PE

Dr. Antônio Hélder Parente
Químico Industrial
C.R.Q. 01.202.141-PE

LABTAM – FQ-0205
O.S. nº0060/2010
Laboratório de Tecnologia Ambiental

01/01

ITEP

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 044.045

Recife, 02 de fevereiro de 2010.

Cliente: ESCOLA POLITECNICA DE PERNAMBUCO – UPE.	
Endereço: Rua Benfica, 455. Madalena, Recife-PE CEP. 50720-001	
Natureza do trabalho: Análise físico-química	
Material: 01 (uma) amostra de gesso agrícola	
Referência da amostra: G2	
Data da coleta: Não informada	**Hora da coleta:** Não informada
Data de recebimento: 08-01-10	**Responsável pela coleta:** CLIENTE

RESULTADOS

Parâmetros Físico-químicos	Resultados	Método
Umidade a 45º C	1,12%	ABNT-MB 3471
Anidrido Sulfúrico (em SO_3)	29,60%	
Cálcio (em Ca)	13,60%	
Cálcio (em CaO)	19,04%	
Resíduos Insolúveis + SiO_2	19,03%	

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Observações:
a) Os resultados deste ensaio/análise têm significação restrita e se aplicam tão somente a (s) amostra (s) coletada (s) pelo **CLIENTE**;
b) Os resultados apresentados neste documento não podem ser usados para fins promocionais;
c) A reprodução deste documento para outros fins, só poderá ser feita integralmente sem nenhuma alteração e com a aprovação do laboratório;
d) Métodos utilizados / ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

MSc. Gerilda M. Oliveira
Química Industrial
C.R.Q. 01.201.130-PE

Dr. Antônio Hélder Parente
Químico Industrial
C.R.Q. 01.202.141-PE

LABTAM – FQ-0206
O.S. nº0060/2010
Laboratório de Tecnologia Ambiental

01/01

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP
Av. Professor Luiz Freire, 700 – Cidade Universitária – Recife – PE – CEP: 50.740-540
PABX: 81 3272.4399 Fax: 81 3272.4272 www.itep.br e-mail: itep@itep.br
CNPJ:05.774.391/0001-15

ITEP

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 044.046

Recife, 02 de fevereiro de 2010.

Cliente: ESCOLA POLITECNICA DE PERNAMBUCO – UPE.	
Endereço: Rua Benfica, 455. Madalena, Recife-PE CEP. 50720-001	
Natureza do trabalho: Análise físico-química	
Material: 01 (uma) amostra de gesso agrícola	
Referência da amostra: R1	
Data da coleta: Não informada	**Hora da coleta:** Não informada
Data de recebimento: 08-01-10	**Responsável pela coleta:** CLIENTE

RESULTADOS

Parâmetros Físico-químicos	Resultados	Método
Umidade a 45º C	0,35%	ABNT-MB 3471
Anidrido Sulfúrico (em SO_3)	33,00%	
Cálcio (em Ca)	13,56%	
Cálcio (em CaO)	18,97%	
Resíduos Insolúveis + SiO_2	23,40%	

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Observações:
a) Os resultados deste ensaio/análise têm significação restrita e se aplicam tão somente a (s) amostra (s) coletada (s) pelo **CLIENTE**;
b) Os resultados apresentados neste documento não podem ser usados para fins promocionais;
c) A reprodução deste documento para outros fins, só poderá ser feita integralmente sem nenhuma alteração e com a aprovação do laboratório;
d) Métodos utilizados / ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

MSc. Gerilda M. Oliveira
Química Industrial
C.R.Q. 01.201.130-PE

Dr. Antônio Hélder Parente
Químico Industrial
C.R.Q. 01.202.141-PE

LABTAM – FQ-0207
O.S. nº0060/2010
Laboratório de Tecnologia Ambiental

01/01

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP
Av. Professor Luiz Freire, 700 – Cidade Universitária – Recife – PE – CEP: 50.740-540
PABX: 81 3272.4399 Fax: 81 3272.4272 www.itep.br e-mail: itep@itep.br
CNPJ:05.774.391/0001-15

ITEP

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 044.047

Recife, 02 de fevereiro de 2010.

Cliente: ESCOLA POLITECNICA DE PERNAMBUCO – UPE.	
Endereço: Rua Benfica, 455. Madalena, Recife-PE CEP. 50720-001	
Natureza do trabalho: Análise físico-química	
Material: 01 (uma) amostra de gesso agrícola	
Referência da amostra: R2	
Data da coleta: Não informada	**Hora da coleta:** Não informada
Data de recebimento: 08-01-10	**Responsável pela coleta:** CLIENTE

RESULTADOS

Parâmetros Físico-químicos	Resultados	Método
Umidade a 45º C	0,38%	ABNT-MB 3471
Anidrido Sulfúrico (em SO_3)	31,72%	
Cálcio (em Ca)	13,02%	
Cálcio (em CaO)	18,22%	
Resíduos Insolúveis + SiO_2	34,85%	

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Observações:
a) Os resultados deste ensaio/análise têm significação restrita e se aplicam tão somente a (s) amostra (s) coletada (s) pelo **CLIENTE**;
b) Os resultados apresentados neste documento não podem ser usados para fins promocionais;
c) A reprodução deste documento para outros fins, só poderá ser feita integralmente sem nenhuma alteração e com a aprovação do laboratório;
d) Métodos utilizados / ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Gerilda Oliveira

MSc. Gerilda M. Oliveira
Química Industrial
C.R.Q. 01.201.130-PE

Dr. Antônio Hélder Parente
Químico Industrial
C.R.Q. 01.202.141-PE

LABTAM – FQ-0208
O.S. nº0060/2010
Laboratório de Tecnologia Ambiental

01/01

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO - ITEP
Av. Professor Luiz Freire, 700 – Cidade Universitária – Recife – PE – CEP: 50.740-540
PABX: 81 3272.4399 Fax: 81 3272.4272 www.itep.br e-mail: itep@itep.br
CNPJ:05.774.391/0001-15