

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO

Daniela de Carvalho Alves

3250163 – 10º Semestre

**RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DO GESSO DESCARTADO
NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Itatiba

2007

Daniela de Carvalho Alves

3250163 – 10º Semestre

RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DO GESSO DESCARTADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Projeto de pesquisa apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Civil da Universidade São Francisco, sob a orientação da Profa. Dra. Elíria Maria de Jesus Agnolon Pallone, como exigência parcial para conclusão do curso de graduação.

Itatiba

2007

ALVES, Daniela de Carvalho. **Reciclagem e reutilização do gesso descartado na construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado na Universidade São Francisco em 12 de Dezembro de 2007 pela banca examinadora constituída pelas professoras:

Profa. Dra. Elíria Maria de Jesus Agnolon Pallone
USF – Orientadora

Profa. Msc. Cristina das Graças Fassina Guedes
USF – Examinadora

Profa. Dra. Glacir Teresinha Fricke
USF – Examinadora

Aos meus pais,

Por toda ajuda recebida durante minha graduação e por toda confiança que sempre depositaram em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre me confortar com seu amor, me guiar, iluminar meus passos e as escolhas dos caminhos.

Agradeço aos meus pais, Carlos e Nice, irmãos Camila e Thiago e também ao meu namorado José Luis, por toda ajuda, paciência e estímulo recebido, principalmente neste último semestre.

Agradeço a todos meus colegas de faculdade, em especial a Adriana, Ednéia, Edson, Fábio e João Paulo, por todo apoio que recebi nos momentos de dificuldade, por todos os finais de semana que passamos juntos estudando, por todos os trabalhos realizados em grupos. Sem dúvida foram momentos de grande aprendizado, dificuldades e superações que estarão guardados para sempre com muito carinho.

Aos professores do curso de Engenharia Civil, por todos os ensinamentos que contribuíram para minha formação profissional e pessoal, e principalmente por ensinarem quanto à responsabilidade e a importância do Engenheiro Civil perante a sociedade em que vivemos e prestamos serviços.

Agradeço este trabalho em especial à professora Elíria pela orientação dedicada, pela paciência e amizade que foram de extrema importância para a conclusão deste trabalho e também a oportunidade de trabalhar nos projetos de iniciação científica e congressos.

Felicidade é algo que você decide por princípio.

Autor desconhecido

ALVES, Daniela de Carvalho. Reciclagem e reutilização do gesso descartado na construção civil. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Título de Engenheiro Civil) – Curso de Engenharia Civil da Unidade Acadêmica de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade São Francisco.

RESUMO

A geração de resíduo de gesso resultante dos desperdícios na construção civil tornou-se um problema econômico e principalmente ambiental. Seu descarte deve ser tratado de forma separada dos demais materiais, conforme a Resolução do CONAMA nº 307. Visando minimizar o impacto ambiental, este trabalho tem como objetivo estudar e desenvolver técnicas para a reciclagem dos resíduos de gesso provenientes das obras de construção civil. O processo estudado consistiu em moer, calcinar em diferentes temperaturas e caracterizar tanto fisicamente quanto quimicamente, visando à comparação dos resultados com as características do gesso comercial e também com o custo do produto. Os resultados obtidos mostraram que é possível reutilizar o resíduo de gesso, tornando-o adequado para que o mesmo seja novamente utilizado. Para isso há necessidade da realização de uma moagem e de uma calcinação a 150°C. Os custos dos processos envolvidos foram de R\$1,20 para um quilo de resíduo de gesso, enquanto que o gesso comercial custa em torno de R\$ 1,00. O processo de reciclagem do gesso, não apresenta ser uma solução muito viável economicamente, visto o preço da matéria-prima natural. No entanto, do ponto de vista ecológico, poderá se tornar uma solução viável e podendo ser também vantajosa quando se refere aos custos de descartes em locais apropriados para esses resíduos.

Palavras chaves: GESSO, RECICLAGEM, RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO.

ABSTRATC

The generation of gypsum waste arising from the construction waste has become an economic problem and mainly environmental. Its disposal must be dealt with separately from other materials as the resolution of CONAMA No. 307. To minimize the environmental impact, this paper aims to investigate and develop techniques for the recycling of gypsum waste from of civil construction. The process studied consisted in calcinate at different temperatures and featuring both physically and chemically, on the purpose of comparing the results with the characteristics of the commercial gypsum and also to the cost of the product. The results showed that it is possible to reuse its waste. To do this we need to mill and calcinate at 150 °C. The cost of the processes inv olved was R\$1,20 per kilo of waste, while the commercial gypsum costs around R\$1,00. The process of recycling gypsum does not present itself as a very economically viable solution, considering the price of natural raw material. However, in the ecological point of view, it is a viable solution and can also be advantageous as it relates to the costs of depositing in appropriate locations for such type of waste.

Keywords: GYPSUM, RECYCLING, WASTE OF CONSTRUCTION.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 13 |
| 2. OBJETIVO DO PROJETO..... | 15 |
| 3. JUSTIFICATIVA..... | 16 |
| 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 4.1. Histórico | 17 |
| 4.2. Processo de Fabricação do Gesso | 18 |
| 4.3. Aplicações do Gesso | 20 |
| 4.4. Resíduos da Construção | 21 |
| 4.5. Reciclagem do Gesso | 22 |
| 5. MATERIAIS E MÉTODOS..... | 24 |
| 5.1. Preparação das Amostras para Caracterização..... | 24 |
| 5.2. Caracterização do Gesso Comercial e do Resíduo de Gesso | 25 |
| 5.2.1 Difração de Raios X (DRX)..... | 25 |
| 5.2.2 Análise Termogravimétrica (ATG) | 25 |
| 5.2.3 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) | 25 |
| 5.2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) | 26 |
| 5.3. Calcinação do Resíduo de Gesso | 26 |
| 5.4. Caracterização do Resíduo de Gesso Calcinado..... | 27 |
| 5.4.1 Difração de Raios X (DRX)..... | 27 |
| 5.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)..... | 27 |
| 5.5. Custo da Reciclagem do gesso | 28 |
| 6. RESULTADO E DISCUSSÃO | 29 |
| 7. CONCLUSÃO | 35 |
| 8. BIBLIOGRAFIA..... | 36 |

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Moinho de bolas

Figura 2 – (a) Cadinho de alumina
(b) Mufla marca EDG

Figura 3 – Difratoograma de raios x da amostra de gesso comercial e do resíduo de gesso

Figura 4 – Análise termogravimétrica do gesso comercial e do resíduo de gesso

Figura 5 – Micrografia da amostra de gesso comercial

Figura 6 – Micrografia da amostra do resíduo de gesso

Figura 7 – Gráfico de DSC do gesso comercial e do resíduo de gesso

Figura 8 – Difratoograma de raios x da amostra de gesso calcinado

Figura 9 – Micrografia da amostra do resíduo de gesso calcinado a 150°C

LISTA DE SIGLAS

| | |
|----------|---|
| ATG - | Análise Termogravimétrica |
| CBE - | Companhia Brasileira de Equipamentos |
| CONAMA - | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CPFL - | Companhia Piratininga de Força e Luz |
| DEMa - | Departamento de Engenharia de Materiais |
| DNPM - | Departamento Nacional de Produção Mineral |
| DRX - | Difração de Raios X |
| DSC - | Calorimetria Diferencial de Varredura |
| JCPDS - | Joint Committee on Powder Diffraction Standards |
| MEV - | Microscopia Eletrônica de Varredura |
| RCD - | Resíduos de Construção e Demolição |
| UFSCar - | Universidade Federal de São Carlos |
| USF - | Universidade São Francisco |

LISTA DE SÍMBOLOS

- $K\alpha$ - Comprimento da radiação
- Cu - Cobre
- n - Ordem de difração
- λ - Comprimento de onda dos raios-x
- θ - Ângulo de incidência dos raios-x

1. INTRODUÇÃO

O gesso é um material oriundo do mineral gipsita abundante na natureza. Existem jazidas de gipsita espalhadas em todo o Brasil e em muitos países do mundo. A gipsita é um sulfato de cálcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), composto em média por 32,5% de CaO, 46,6% de SO_3 e 20,9% de H_2O . Suas principais propriedades físicas são: alta solubilidade, dureza 2 na escala de Mohs, densidade $2,35\text{g/cm}^3$, índice de refração 1,53 e cor variada entre as cores branca, cinza, amarronzada e até incolor, de acordo com as impurezas contidas nos cristais. (LYRA, 2007).

O gesso comercialmente conhecido é um material hemi-hidratado, produzido através do processo de calcinação da gipsita, a uma temperatura de aproximadamente 160°C . O termo gipsita é empregado para se referir ao mineral em estado natural, enquanto gesso é o termo utilizado para designar o produto calcinado. A gipsita é adicionada ao clínquer para a fabricação do cimento portland, na proporção de 3 a 5% em peso, a gipsita tem a função de retardar o tempo de pega do cimento (LYRA, 2007).

A maior aplicação do gesso é no mercado da construção civil, onde é muito utilizado como revestimento de parede, entre outras aplicações. Por ser um material de pega rápida é comum ocorrer desperdícios nos canteiros de obra, o que contribui para a geração dos resíduos de gesso nas obras.

Segundo Pucci, os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são um problema econômico e principalmente ambiental, visto que sua disposição em locais inadequados contribui para a degradação ambiental. O volume de RCD gerados nas obras pode chegar a representar aproximadamente 67% dos resíduos sólidos urbanos (PUCCI, 2006). A gestão do RCD, sempre foi de responsabilidade pública, sendo que a maior parte desses resíduos sempre foi utilizada em aterros sanitários. No entanto, desde 5 de julho de 2002 a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), transfere a responsabilidade pela destinação dos resíduos para os geradores, sendo que estes devem separar e encaminhar os resíduos para reciclagem ou destinação final, conforme as diretrizes e classes de materiais determinadas.

A Resolução 307 do CONAMA trata não somente da responsabilidade dos geradores quanto à destinação final dos resíduos, como também da necessidade da redução da geração de resíduos e principalmente da reutilização e/ou reciclagem dos mesmos. A reciclagem ou reaproveitamento desses resíduos podem ser também uma alternativa econômica para introduzir no mercado materiais transformados novamente em matéria-prima.

Os problemas causados ao meio ambiente pelos resíduos de gesso, estão relacionados com a geração de gás sulfídrico (H_2S), substância que apresenta odor

desagradável, semelhante ao de ovo podre. Além do odor, o gás é inflamável e em concentrações acima de 8ppm provoca irritação nos olhos, podendo ser letal em concentrações da ordem de 500ppm. A intoxicação por gás sulfídrico, pode causar danos respiratórios, paralisando o sistema nervoso que controla a respiração e provocando asfixia (Engessul, 2007).

2. OBJETIVO DO PROJETO

O objetivo deste projeto é estudar e desenvolver técnicas para a reciclagem dos resíduos de gesso provenientes das obras de construção civil. O processo estudado consiste em moer, calcinar e caracterizar tanto fisicamente quanto quimicamente os resíduos e comparar os resultados com as características do gesso comercial.

No processo de calcinação serão adotadas 3 temperaturas diferentes, cujo objetivo é analisar a menor temperatura necessária para o gesso voltar a sua forma original, visando obter o menor consumo de energia. Também será calculado o custo envolvido no processo de reciclagem e comparado com o custo do produto comercial.

3. JUSTIFICATIVA

A resolução 307 do CONAMA classifica os resíduos de gesso como: “*são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem recuperação*” (CONAMA, 2002). A disposição inadequada dos resíduos de gesso provoca danos ambientais significativos, razão pela qual a resolução 307 do CONAMA impede seu lançamento em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota-fora”, em encostas e lotes vagos, “*devendo tais materiais ser armazenados, transportados e destinados de acordo com normas técnicas específicas*” (CONAMA, 2002).

O gesso em contato com a água, pode resultar na formação de soluções com íons sulfatos, capazes de contaminar os solos e os lençóis freáticos. Quando utilizado em aterros, o gesso pode entrar em contato com matéria orgânica e formar um gás sulfídrico, que possui odor desagradável.

Um outro ponto importante a se considerar é o fato de que as maiores reservas da matéria-prima encontram-se longe dos centros consumidores, como São Paulo, por exemplo.

Visando minimizar os problemas dos resíduos de gesso, esse trabalho pretende buscar métodos de reutilizar o gesso usado em construção civil.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Histórico

A gipsita é um mineral bastante abundante na natureza. Existem muitas jazidas de gipsita espalhadas pelo Brasil e por muitos outros países do mundo. No entanto, do ponto de vista econômico, as principais jazidas de gipsita estão localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, região de fronteira dos Estados do Piauí, Ceará e Pernambuco (LYRA, 2007).

No município de Uruçara, no estado do Amazonas, a única jazida de gipsita é explorada, para consumo próprio, por uma empresa produtora de cimento, a Itautinga Agro-Industrial S/A, integrante do Grupo Nassau. A Bahia possui jazidas de gipsita com uma localização privilegiada, pois o município de Camamu encontra-se próximo do mercado consumidor da região sudeste do país. No entanto, sua geologia e deficiências de infraestrutura não são favoráveis para a produção em larga escala (LYRA, 2007).

No Maranhão, no município de Codó, existem oito jazidas de gipsita, sendo que sete delas são controladas pela Companhia Brasileira de Equipamentos (CBE), uma empresa integrante do grupo Nassau. O objetivo da CBE em controlar essas jazidas é garantir o fornecimento de matérias-primas para as indústrias de cimento do grupo (LYRA, 2007).

A empresa Chaves S/A Mineração e Indústria, pertencente ao grupo Chaves, é uma empresa de grande tradição e projeção no mercado nacional de gesso, suas jazidas de gipsita estão localizadas no Ceará, no município de Santana do Cariri. A partir de 2001 a empresa ampliou sua produção de gipsita passando a ser fornecedora dessa matéria-prima para indústrias cimenteiras, além de produzir o gesso agrícola. No município de Nova Olinda, uma empresa do grupo Chaves, a Stargesso Industrial Ltda., produz gesso de fundição, gesso de revestimento, aditivados e especiais.

No município de Simões, está localizada a única jazida de gipsita do Piauí, que está com suas atividades de lavra paralisadas, desde que a empresa concessionária Calmisa - Cia Integrada de Mineração e Calcinação do Piauí S/A, do Grupo Valmir Semeão, optou por concentrar suas atividades em outra localização. Todas as atividades da empresa, incluindo também a unidade de calcinação foram transferidas para Araripina, que fica no estado do Pernambuco (LYRA, 2007).

O Rio Grande do Norte foi o pioneiro no Brasil na produção de gipsita e gesso, por aproximadamente 20 anos, no entanto, o elevado capeamento inviabilizou a continuidade da atividade mineradora, especialmente após a descoberta das jazidas de Pernambuco. Desde a década de 1960, Pernambuco assumiu e vem mantendo a posição de maior produtor nacional de gipsita. Fato este, que pode ser explicado por três razões:

- suas jazidas apresentam melhores condições de lavra (maior pureza do minério)
- adequada infra-estrutura (fácil acesso de vias de escoamento asfaltadas e disponibilidade de energia elétrica);
- maior proximidade do mercado consumidor do que as da maioria dos outros Estados produtores.

Segundo Lyra, as jazidas e instalações de calcinação localizadas em Pernambuco colocaram o estado na condição de maior produtor de gipsita e gesso no Brasil, sendo que sua participação no período de 1987 a 2000, foi aproximadamente de 94% a 96% de toda a produção nacional, conforme estatísticas do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Em 2002 o DNPM aponta que a produção anual de gesso no país é estimada em 595.160 toneladas, sendo o Pólo Gesseiro do Araripe, responsável por 84% da produção de gesso no país (LYRA, 2007).

De acordo com Lyra, a cadeia produtiva desta região, formada por 28 jazidas em atividade e 80 calcinadoras, gerou um conjunto de atividades empresariais que exerce forte reflexo na economia local e estadual, sendo o maior pólo produtor desses materiais no país. As atividades seqüenciais dessa cadeia produtiva indicam que em todas as atividades geram cerca de 12.000 empregos diretos, sendo 950 na mineração, 3.900 na calcinação, 7.150 na fabricação de pré-moldados e 60.000 empregos indiretos (LYRA, 2007).

O espírito empreendedor de alguns empresários da região favoreceu o início da produção de gesso no Pólo Gesseiro do Araripe, quando identificaram no sudeste do país, especialmente no estado de São Paulo, uma demanda reprimida pelo material, e anteviram a possibilidade de calcinar a gipsita utilizando os fornos das casas de farinha de mandioca, atividade agro-industrial de grande tradição na região. A partir daí o crescimento das calcinadoras foi rápido, onde os empresários perceberam as vantagens econômicas de não ficarem restritos apenas a comercialização do gesso, mas sim buscarem novos mercados, como por exemplo, a produção de pré-moldados e outros derivados do gesso (LYRA, 2007).

4.2 Processo de fabricação do gesso

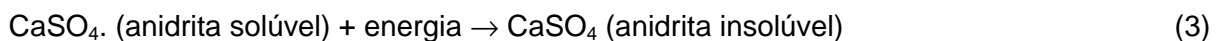
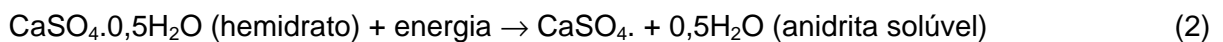
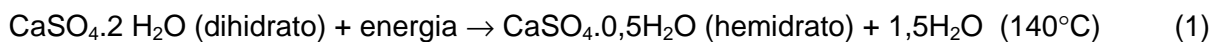
O gesso é obtido através do processo de extração, moagem e calcinação do mineral gipsita. O custo do gesso é influenciado pela distância entre a fonte produtora e consumidora e o tipo de combustível utilizado nos fornos de calcinação.

A calcinação do gesso é realizada com temperaturas relativamente baixas. Neste processo são utilizados fornos que podem variar basicamente em quatro tipos: panela, marmitta, rotativo tubular e tipo marmitta rotativo. Sendo que o forno tipo panela está em extinção, isto porque é um dos tipos mais antigos. Ele utiliza a lenha como combustível e

pás agitadoras que tem a função de homogeneizar o material durante a calcinação. O controle de temperatura e o tempo de permanência do material no forno são realizados de forma empírica, pois depende totalmente da experiência do “fornheiro” (LYRA, 2007).

No forno tipo marmita, pode-se utilizar tanto a lenha como combustível como o óleo. A temperatura é controlada por pirômetros e a homogeneidade do material é garantida pelo sistema de palhetas internas do forno. Os fornos tipo rotativos tubulares são feitos de aço e material refratário. O sistema deste forno, ao contrário do tipo panela, não depende totalmente de um “fornheiro”. O material desloca-se por gravidade em função da pequena inclinação e da grande extensão do forno, sendo que o tempo de permanência do material é controlado pela velocidade de rotação do tubo e o material entra em contato direto com a chama de um maçarico que fica localizado ao lado da alimentação do forno. Os tipos marmita rotativos também são de aço e material refratário, sendo que neste caso o material não entra em contato direto com a chama e alguns controles, como: temperatura, tempo de permanência, perda de massa e pressão interna, podem ser automatizados com o auxílio de computadores. (LYRA, 2007).

As reações químicas para a obtenção do gesso são descritas nas equações 1, 2, e 3 (NITA et alli, 2004).



A mistura das frações hemidrato ou anidrita solúvel com a água a temperatura ambiente provoca o seu endurecimento através de um processo que envolve a dissolução do gesso em água, seguida de precipitação na forma de dihidrato, liberando calor, conforme mostrado na equação 4 (NITA et alli, 2004).



Conforme Lyra, dependendo do processo de calcinação, pode-se obter dois tipos diferentes de gesso, o *gesso beta* e o *gesso alfa*. Para obtenção do *gesso beta*, a calcinação é realizada em um dos quatro tipos de fornos apresentados acima (panela, marmita, rotativo tubular e marmita rotativo). O *gesso alfa*, é um produto destinado a aplicações mais nobres, o processo de calcinação se dá em equipamentos fechados, sob pressão maior que a atmosférica, tipo autoclave, com injeção de vapor ou por desidratação da gipsita em meio aquoso (LYRA, 2007). Por este processo possuir tecnologias mais

sofisticadas e pelo rigoroso controle de qualidade da matéria-prima e do produto final, o gesso alfa pode ter um custo mais elevado do que o gesso beta.

É possível obter características diferentes para o gesso beta variando a temperatura de calcinação, sendo que este fato depende da sua utilização, como por exemplo, conhecido como *gesso rápido ou de fundição* e *gesso lento ou de revestimento*. Para o gesso lento ou de revestimento, a aplicação é de forma manual e por isso o gesso não recebe nenhum aditivo. Já para os casos de aplicação por máquinas de projetar é preparada uma argamassa à base de gesso, neste utiliza-se calcário e cal. Existem ainda outros tipos de gesso, como por exemplo, o gesso cerâmico, que é uma variedade mais nobre do gesso de fundição. O *gesso filer*, é um gesso de granulometria fina, proveniente da recuperação dos vapores que são lançados na atmosfera durante o processo de calcinação (LYRA, 2007).

4.3 Aplicações do gesso

O gesso é um material utilizado em diversas áreas, como por exemplo, na agricultura, que é conhecido como gesso agrícola ou fosfogesso e é empregado como corretivo de solos. Também é muito empregado nas indústrias cerâmicas, onde é utilizado no processo de modelagem para cerâmicas de decoração e sanitária. Na medicina o gesso é utilizado na área de ortopedia, mas é na construção civil onde o gesso tem diversas aplicações.

Independente de qual seja o processo de fabricação, o gesso tem algumas propriedades que favorecem a sua aplicação como material de construção, como exemplo, a pega e endurecimento rápido, plasticidade da pasta, bom acabamento na superfície (conferindo uma superfície lisa) estabilidade volumétrica, boa isolamento térmica, acústica e resistência ao fogo.

Dentre as várias aplicações do gesso na construção civil, é possível citar algumas delas como: decoração de interiores, massa para revestimento interno, placas pré-moldadas para forros e acabamento, painéis para paredes divisórias e fabricação de painéis de gesso acartonado.

No entanto, é durante o processo de aplicação que se gera grande parte dos resíduos de gesso de construção. Segundo Nita os desperdícios em obra são de aproximadamente 45% (NITA et alli, 2004). Um dos principais motivos do grande desperdício de gesso durante sua aplicação, é a mão-de-obra não qualificada. O gesso é um material de pega rápida e, portanto requer uma aplicação rápida, do contrário o material endurece e é descartado. A área da construção civil já avançou muito em termos de técnicas construtivas, porém, ainda é necessário investir na qualificação da mão-de-obra.

4.4 Resíduos da construção

Os RCD (Resíduos de Construção e Demolição) são usualmente depositados em lugares inadequados, como por exemplo: terrenos baldios, aterros sanitários, taludes, margens de rios, avenidas, etc., acarretando impactos ambientais, econômicos e visuais, causando entupimento e assoreamento das margens dos cursos de água, bueiros, galerias (quando das enchentes) e a diminuição da qualidade de vida nas áreas urbanas.

Os entulhos provenientes das construções nas cidades acarretam sérios desperdícios de materiais, custos de remoção e tratamento. Diversas ações do poder público e de entidades empresariais já buscam regulamentar e induzir o processamento do entulho e a reutilização destes materiais.

Os resíduos da construção civil tornaram-se um grande problema devido ao enorme volume gerado, sendo também um problema administrativo deste material, pela falta de locais adequados ou soluções que absorvam esta demanda de produção. Toda deposição de resíduos de construção deve ser feita em lugares que possuam licença para receber este material. De acordo com Pucci, existem poucas áreas regularizadas, fato este que agrega dificuldade ao processo de destinação dos resíduos. (PUCCI, 2006).

Conforme Pucci, uma maneira de minimizar o impacto dos resíduos de construção, é a criação de um plano de gestão de resíduos, cujo objetivo é diminuir a quantidade de resíduos gerados nas obras. Para tanto é importante levantar os pontos, os motivos que estão envolvidos nas perdas de materiais na construção civil. (PUCCI, 2006).

As perdas na construção civil estão relacionadas a muitas causas, como por exemplo, ineficiência no uso de equipamentos, materiais, mão-de-obra, etc. De acordo com Pucci, algumas perdas podem ser consideradas “evitáveis”, como por exemplo, as perdas devido a um processo de baixa qualidade, onde os recursos são empregados de forma inadequada. São vários os tipos de perdas existentes em uma obra. No caso específico do resíduo de gesso, alguns tipos de perdas merecem destaque, como por exemplo, as “perdas por superprodução”, que ocorre na maioria das obras quando a quantidade produzida de gesso é maior que a quantidade consumida em um dia de trabalho, onde toda a quantidade produzida e não consumida é descartada, não há condições de reutilizar este material. Outro tipo de perda que merece destaque são as “perdas de estoque”, que ocorre normalmente quando há uma estocagem inadequada, sendo que algumas vezes a armazenagem inadequada pode ser proveniente de uma falha na programação da compra de material. A quantidade de material a ser estocada é superior ao espaço físico existente no local, isso pode gerar armazenamento incorreto, danificar o material e muitas vezes não há meios de recuperar o mesmo, sendo seu destino final o descarte. (PUCCI, 2006).

De acordo com John e Agopyan, empresas do setor da construção civil encontram-se mobilizadas em torno do tema de redução das perdas, pois estas significam uma oportunidade de redução de custos. (JOHN, M. V.; AGOPYAN, 2007).

Normalmente as soluções empregadas para o descarte do gesso são aterros e lixões, só que cada vez mais a falta de espaço para se destinar esse material tem sido um problema, principalmente nos grandes centros. Com a simples disposição deste entulho, acaba desperdiçando um material que poderia ser destinado para a reciclagem. Sendo que a reciclagem diminuiria o volume de material nos aterros, preservaria os recursos naturais, diminuiria as áreas de contaminação, tornando-se uma alternativa ecologicamente viável.

A Tabela 1 mostra uma estimativa da quantidade de entulho produzido no país e no exterior.

Tabela 1 - Estimativa da quantidade de entulho produzida no país e exterior

| LOCAL GERADOR | | GERAÇÃO ESTIMADA (t/mês) |
|--|----------------|--------------------------|
| Brasil ¹ | São Paulo | 372.000 |
| | Rio de Janeiro | 27.000 |
| | Brasília | 85.000 |
| | Belo Horizonte | 102.000 |
| | Porto Alegre | 58.000 |
| | Salvador | 44.000 |
| | Recife | 18.000 |
| | Curitiba | 74.000 |
| | Fortaleza | 50.000 |
| | Florianópolis | 33.000 |
| Europa ² | | 16.000 a 25.000 |
| Reino Unido ³ | | 6.000 |
| Japão ³ | | 7.000 |
| ¹ PINTO (1987) ² PERA (1996) ³ CIB (1998) | | |

Fonte: Zordan - http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho_ind_ccivil.htm

4.5 Reciclagem do resíduo de gesso

De acordo com John e Cincotto, o processo de reciclagem do gesso é mais complexo que o processo de produção a partir da matéria-prima, a gipsita. O processo de reciclagem exige além da energia, mais mão-de-obra, pois é necessário fazer a remoção de contaminantes, além de ser necessário um melhor sistema de segregação dos resíduos de gesso. O investimento necessário em mão-de-obra e equipamentos para fazer a devida

segregação dos resíduos de gesso no momento da geração, o transporte adequado, são fatores que “encarecem o processo de reciclagem”. (JOHN, M. V.; CINCOTTO, M. A., 2007).

A Resolução 307 do CONAMA proíbe o descarte do gesso nos aterros sanitários, um dos prováveis motivos é o fato do gesso quando em contato com umidade, condições anaeróbicas, com baixo pH e sob ação de bactérias redutoras de sulfatos, pode formar gás sulfídrico (H_2S), que possui odor característico de ovo podre, tóxico e inflamável. (JOHN, M. V.; CINCOTTO, M. A., 2007). Esse ambiente é muito encontrado em aterros sanitários e lixões, sendo esta uma razão de motivação para a reciclagem do gesso.

Segundo experiência internacional descrita no trabalho de John e Cincotto, é possível fazer a reciclagem do gesso acartonado desde que sejam removidos os contaminantes provenientes do processo de geração de resíduos, para tanto existem várias tecnologias. Existem empresas no Canadá, Estados Unidos e Alemanha que trabalham com a reciclagem de gesso acartonado, para tanto dispõem de equipamentos específicos e móveis que permitem fazer a coleta do resíduo de gesso em diversos locais. Uma empresa dinamarquesa desenvolveu containers especiais onde os resíduos de gesso armazenados ficam protegidos de chuvas. O produto gerado no processo de reciclagem é fornecido como matéria-prima para empresas fabricantes do gesso acartonado. (JOHN, M. V.; CINCOTTO, M. A., 2007).

No caso do Brasil o processo de reciclagem ainda não é economicamente viável, uma vez que o país possui muitas reservas de gipsita e o custo do produto (gesso) é muito baixo, no entanto, do ponto de vista ambiental a reciclagem do gesso seria uma excelente alternativa e uma solução ecologicamente correta.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foram caracterizadas amostras do gesso comercial e do resíduo de gesso de construção. As amostras de gesso (comercial e resíduo) foram submetidas aos mesmos ensaios de caracterização, ou seja, Difração de Raios X (DRX), Análise Termogravimétrica (ATG), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC). Em seguida, o resíduo de gesso foi calcinado em diferentes temperaturas: 150°C, 250°C e 350°C, caracterizados e comparados com o gesso comercial.

5.1 Preparação e caracterização das amostras

Para a amostra de gesso comercial não foi necessário nenhum tipo de preparação, pois para todos os ensaios é necessário apenas que o “pó” do material a ser analisado, esteja desaglomerado. Já para a amostra do resíduo de gesso de construção, foi necessário fazer uma moagem em moinho de bolas. Depois de moída a amostra do resíduo de gesso foi passada em peneira ABNT malha 80. Os processos de moagem e peneiramento foram realizados na USF (Universidade São Francisco), no Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais Cerâmicos. A Figura 1 mostra o moinho onde foi realizada a desaglomeração do resíduo.



Figura 1. Moinho de bolas utilizado na desaglomeração do resíduo de gesso.

5.2 Caracterização do gesso comercial

5.2.1 Difração de Raios X

Este ensaio tem a finalidade de identificar as fases presentes no material e determinar sua estrutura cristalina.

Para realização desse ensaio foi utilizado um difratômetro Siemens modelo 5100 com radiação $K\alpha$ (Cu), operando com tensão de 40KV, corrente de 40mA e velocidade do goniômetro de 2 graus/minuto, variando 2θ de 5° a 65°.

A difração de raios x é baseada na relação de Bragg, mostrada na Equação 5.

$$n\lambda = 2d \operatorname{sen} \theta \quad (5)$$

onde:

n é a ordem de difração, λ é o comprimento de onda dos raios x, θ é o ângulo de incidência dos raios x. (CANEVAROLO, 2004, p. 41).

Através da comparação com o arquivo do JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards), onde estão catalogadas mais de 30.000 substâncias inorgânicas é possível verificar a formação dos produtos analisados.

5.2.2 Análise Termogravimétrica

A análise termogravimétrica (ATG) mede a variação de massa de uma amostra em função da variação da temperatura ou em função do tempo para uma temperatura fixa. Esta variação de massa relaciona-se com as transformações que ocorrem na amostra e permite determinar quantitativamente os componentes principais do material bem como a sua estabilidade térmica. (CANEVAROLO, 2004, p. 212).

O ensaio foi realizado em um equipamento de marca Netzsch, modelo DTA 404. A análise termogravimétrica foi utilizada para que pudesse avaliar de forma quantitativa, a liberação de água e/ou solventes, temperatura de reação, entre outros.

5.2.3 Calorimetria Diferencial de Varredura

A calorimetria diferencial de varredura (DSC) é uma técnica derivada da análise térmica diferencial, cujo princípio também é a medida da diferença de temperatura entre a amostra e o material de referência. Neste processo, a amostra e o material de referência

são colocados em cápsulas idênticas, porém, posicionadas sobre um disco termoelétrico e aquecidas por uma fonte de calor. O calor é transferido para as cápsulas da amostra e referencia por meio de um disco, com o fluxo de calor diferencial entre ambas as cápsulas sendo controlado meio de termopares conectados ao disco, uma vez que a variação de temperatura, em um dado momento é proporcional a variação de entalpia, a capacidade calorífica e a resistência térmica total ao fluxo calórico. (CANEVAROLO, 2004, p. 229).

O ensaio de DSC foi realizado em um equipamento de marca Netzsch, modelo DTA 404EP/TASC 414, A análise foi realizada para que pudesse avaliar as reações endotérmicas e exotérmicas que ocorrem no material em função da temperatura.

5.2.4 Microscópio Eletrônico de Varredura

Para a observação da morfologia dos pós, as amostras foram desaglomeradas em meio alcoólico em um almofariz e depositadas com auxílio de um conta-gotas em um porta amostras do microscópio eletrônico de varredura (MEV). Uma fina camada de ouro foi depositada usando um “sperter coater”, SCD modelo 50.

A microscopia eletrônica de varredura é utilizada para caracterizar a microestrutura do material, é fundamental para o estudo da topografia de sólidos e pós, devido à sua capacidade em proporcionar uma profundidade de foco bem superior aos dos microscópios ópticos, além de poder atingir resolução em torno de 300nm. Por ter alta resolução e grande profundidade de foco, que permite obter imagens tridimensionais da amostra, esta técnica é muito útil para analisar superfícies de fratura.

O princípio da microscopia eletrônica de varredura baseia-se na focalização de um feixe de elétrons, que pode ser estático ou pode fazer uma varredura pela superfície da amostra. Os tipos de sinais produzidos quando o feixe de elétrons atinge a superfície de uma amostra incluem, para o espalhamento elástico: elétrons retro espalhados (backscattered); e para espalhamento inelástico: elétrons secundários, elétrons Auger, etc. Os elétrons secundários revelam a topografia da superfície da amostra e são os principais responsáveis pela formação da imagem analisada. (CANEVAROLO,2004).

5.3 Calcinação do resíduo de gesso

Para o processo de calcinação do resíduo de gesso foram adotadas três temperaturas diferentes, cujo objetivo é analisar a menor temperatura necessária para o resíduo voltar para a forma original. As temperaturas adotadas foram: 150°C, 250°C e 350°C.

As amostras foram acondicionadas em cadinhos de alumina, conforme mostra Figura 3(a) e calcinadas em muflas da marca EDG, Figura 3(b), com taxa de aquecimento de

5°C/min e patamar de 1h nas temperaturas adotadas. A etapa de calcinação foi realizada no laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais Cerâmicos da Universidade São Francisco.

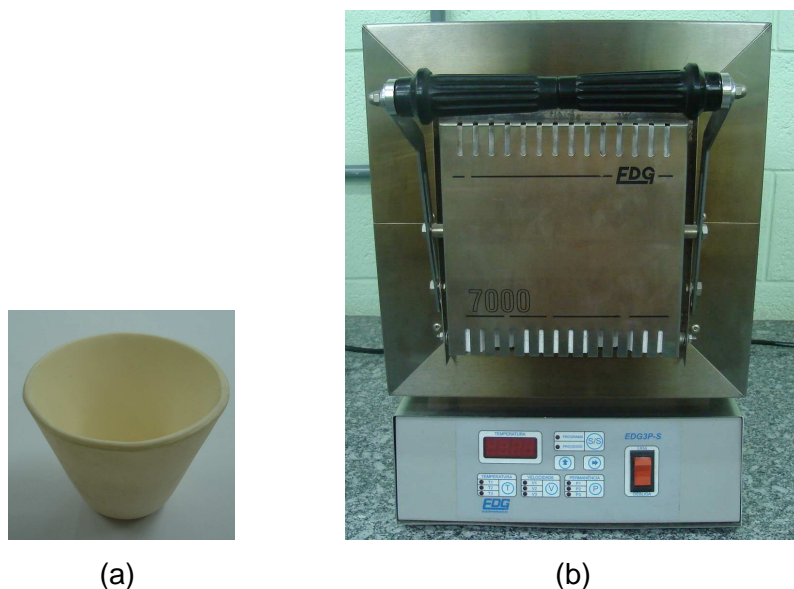


Figura 2 - (a) cadinho de alumina e (b) mufla, usados no processo de calcinação.

5.4 Caracterização do resíduo de gesso calcinado

5.4.1 Difração de Raios X

Para realizar este ensaio foi utilizado o mesmo equipamento descrito no item 5.2.1., um difratômetro Siemens modelo 5100 com radiação $K\alpha$ (Cu), operando com tensão de 40KV, corrente de 40mA e velocidade do goniômetro de 2 graus/minuto, variando 2θ de 10° a 80° para todas as amostras. Cujas finalidades também é identificar as fases presentes no material, determinar sua estrutura cristalina para compará-la com a amostra de gesso comercial. Este ensaio foi realizado no DEMa (Departamento de Engenharia e Ciência dos Materiais) da UFSCar (Universidade Federal de São Carlos).

5.4.2 Microscopia eletrônica de varredura

Foi realizada a análise da morfologia dos pós calcinados usando o mesmo procedimento e equipamento do item 5.2.4.

5.5 Custo da reciclagem do gesso

Para calcular o custo estimado do processo de reciclagem do resíduo de gesso, utilizou-se como base os equipamentos disponíveis e utilizados no Laboratório de Processamento e Caracterização de Materiais Cerâmicos da USF.

O valor da tarifa de energia elétrica considerado é o mesmo para uma empresa situada na cidade de Louveira, cuja concessionária é a CPFL (Companhia Piratininga de Força e Luz).

Para a obtenção do custo de reciclagem do gesso, é calculado separadamente o custo do processo de moagem e do processo de calcinação, depois se soma os dois valores para a obtenção do custo final.

A seguir são apresentados os dados dos equipamentos envolvidos no processo de reciclagem e as fórmulas utilizadas para os cálculos de custo:

- *Dados:*

- Valor da tarifa cobrada em uma empresa em horário fora de ponta (21h do dia): R\$ 0,183927Kw/h.
- Potência do moinho de bolas: $120W / 1.000 = 0.12 Kw$
- Potência da mulfla: $1400 W // 1.000 = 1.4 Kw$

- *Fórmulas utilizadas para realização do cálculo de custo do processo de reciclagem do gesso:*

Custo moagem (R\$) = Potência do moinho (Kw) x valor da tarifa (Kw/h) x número de horas do equipamento ligado.

Custo calcinação (R\$) = Potência da mulfla (Kw) x valor da tarifa (Kw/h) x número de horas do equipamento ligado.

6. RESULTADO E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra os difratogramas de raios x (DRX) das amostras do gesso comercial e do resíduo de gesso. É possível observar no difratograma do gesso comercial somente as fases $\text{Ca}(\text{SO}_4)(\text{H}_2\text{O})_{0.5}$ e $\text{Ca}(\text{SO}_4)$ e no resíduo de gesso as fases $\text{Ca}(\text{SO}_4)(\text{H}_2\text{O})_{0.5}$ e $\text{Ca}(\text{SO}_4)(\text{H}_2\text{O})_2$.

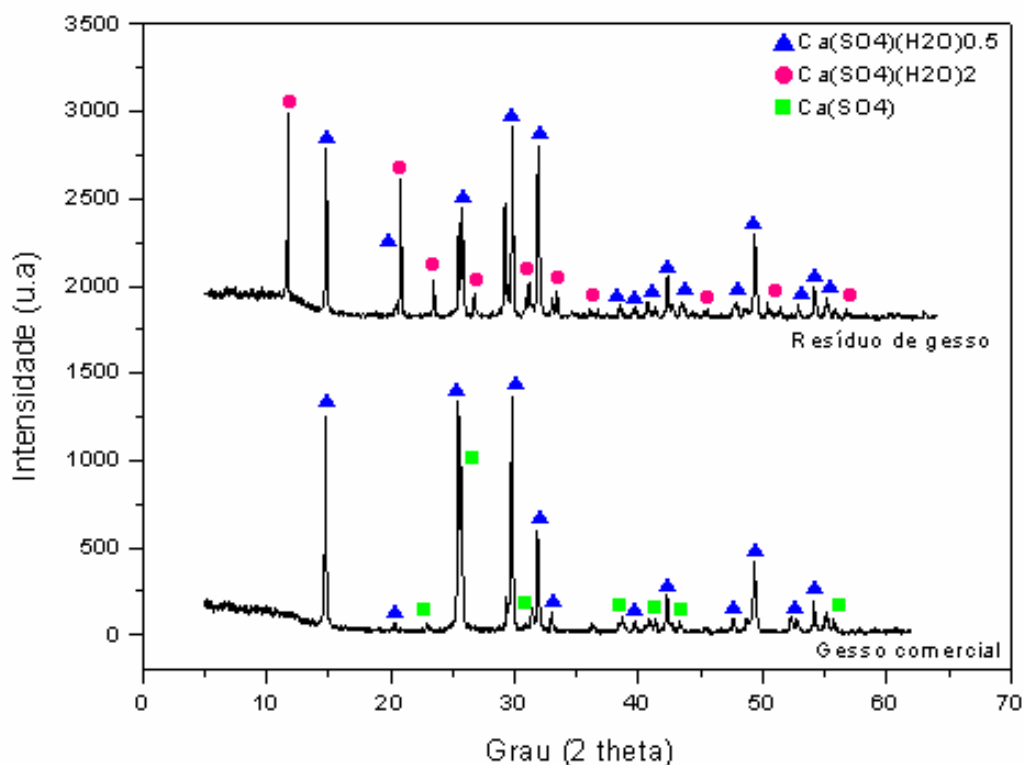


Figura 3 – Difratograma de raios x da amostra de gesso comercial e do resíduo de gesso.

A Figura 4 mostra os resultados da análise termogravimétrica realizada para as amostras do gesso comercial e do resíduo de gesso. É possível observar que para o gesso comercial, houve 5% de perda de material, sendo que essa perda ocorreu entre 30°C e 130°C é referente a perda de água. Para o resíduo de gesso, essa perda foi de 15%, com início a 80 e 150°C e também é referente a perda de água.

A Figura 5 mostra a análise de DSC realizada para o gesso comercial e para o resíduo de gesso. Pode-se observar que para o gesso comercial ocorreram dois picos endotérmicos, sendo o primeiro na temperatura de 50°C, referente à água adsorvida e o segundo na temperatura em torno de 160°C referente perda de água combinada. Comparando com a análise apresentada na Figura 4, a perda de água combinada foi em torno de 5%, que foi menor do que a perda de água teórica do hemidrato, estimada em 6,21% através dos cálculos estequiométricos. O gesso analisado apresenta um teor de anidrita de 7%, teor

situado no limite de detecção da difração de raios X. Para o resíduo de gesso ocorreram 3 picos um a 50°C, também referente a água adsorvida e mais dois a 130°C e 170°C, ambos referente a perda de água combinada. Para o resíduo de gesso, o valor previsto de perda de água seria de 20%, valor que corresponde a total hidratação do gesso de construção. (NITA et alli, 2004).

Comparando os resultados com os apresentados nas equações 1, 2 e 3 observa-se que as reações ocorridas no resíduo de gesso estão de acordo. Somente não esta de acordo com a equação 3 onde diz que é necessária energia superior a 350°C para a transformação em anidrita insolúvel.

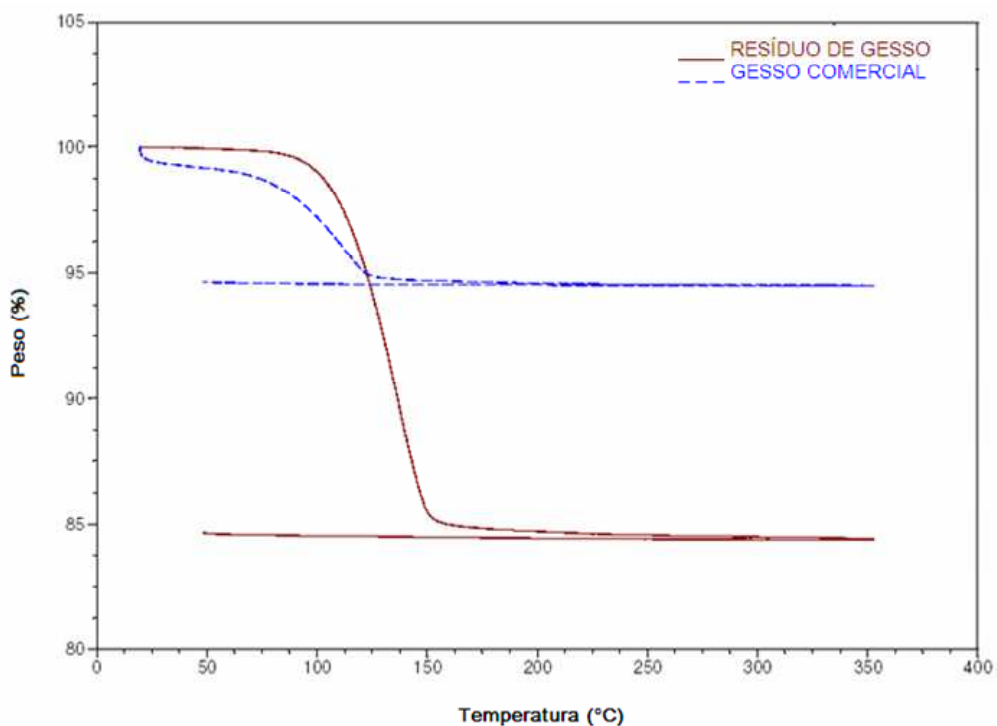


Figura 4 – Análise termogravimétrica do gesso comercial e do resíduo de gesso

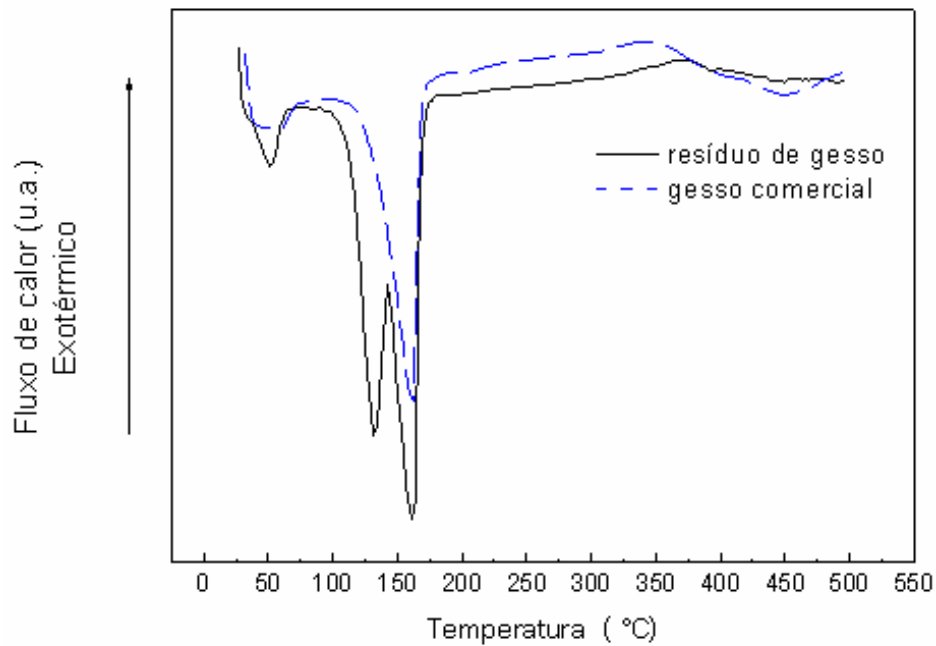


Figura 5 - Análise de DSC realizada para o gesso comercial e para o resíduo de gesso.

A Figura 6 (a) e (b) mostra as micrografias obtidas por MEV da amostra de gesso comercial, onde é possível observar a morfologia do pó. Na Figura 6 (b) observa-se detalhes dessa morfologia, onde mostra as agulhas bem definidas.

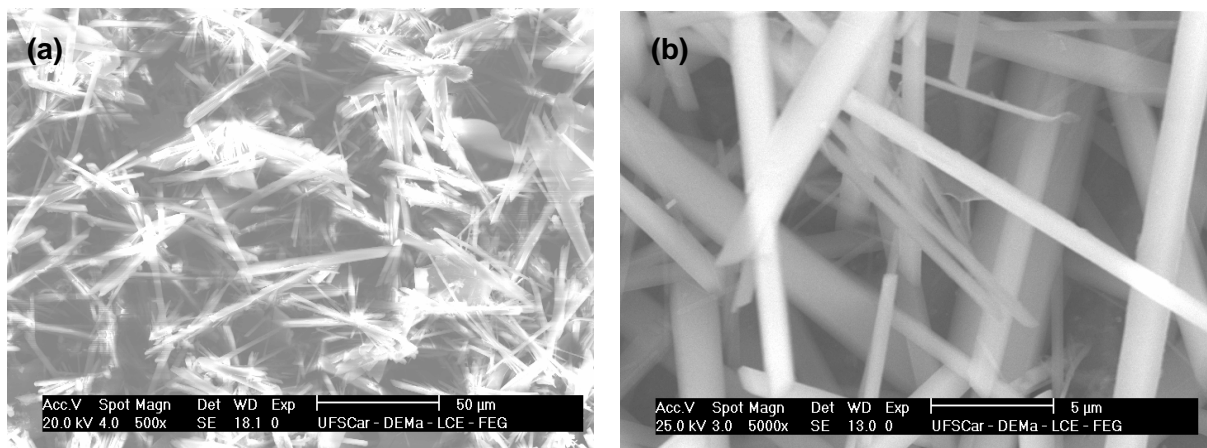


Figura 6 – Micrografia obtida por MEV da amostra de gesso comercial: (a) visão geral e (b) detalhe da morfologia.

A Figura 7 mostra a micrografia obtida por MEV da amostra do resíduo de gesso. A Figura 7(a) mostra a micrografia geral e a Figura 7(b) mostra detalhes da morfologia. Comparando com a morfologia do gesso comercial apresentado na Figura 6, ocorreu uma grande modificação.

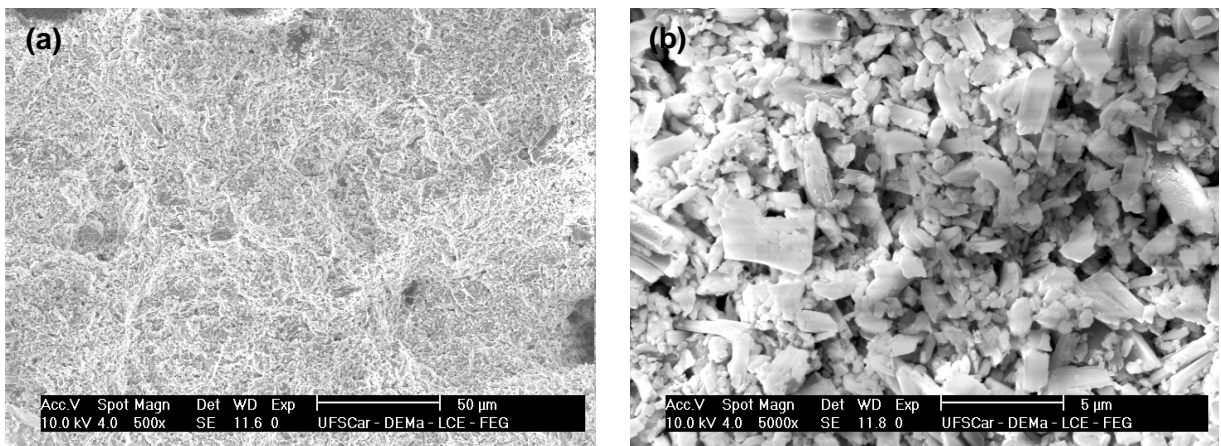


Figura 7 – Micrografia obtida por MEV da amostra de gesso comercial: (a) visão geral e (b) detalhe da morfologia.

A Figura 8 mostra os difratogramas de raios-X do resíduo de gesso calcinado a 150°C, 250°C e 350°C. Observa-se que as fases presentes na amostra calcinada a 150°C são as mesmas apresentadas nas amostras calcinadas a 250°C e 350°C. Ocorreram apenas mudanças na intensidade dos picos. Com base nos difratogramas apresentados, escolheu-se a amostra calcinada a 150°C para a realização do cálculo de consumo de energia, não havendo necessidade de temperaturas superiores a 150°C para a obtenção das fases presentes no gesso comercial.

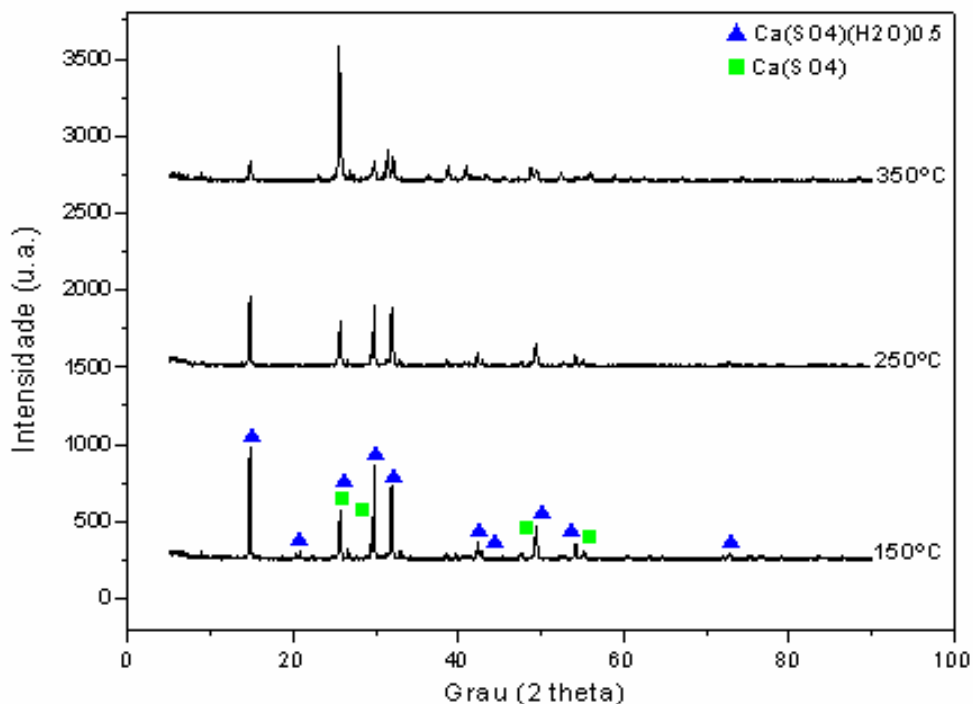


Figura 8 - Difratograma de raios x do resíduo de gesso calcinado a 150°C, 250°C e 350°C.

A Figura 9 mostra a micrografia obtida por MEV da amostra do resíduo de gesso calcinado a 150°C. A Figura 9(a) mostra a micrografia geral e a Figura 9(b) mostra detalhes da morfologia. Comparando a morfologia com as apresentadas na Figura 6 (amostra do gesso comercial), é possível verificar que apresenta um início de formação de agulhas, mas não bem definidas com as apresentadas no gesso comercial.

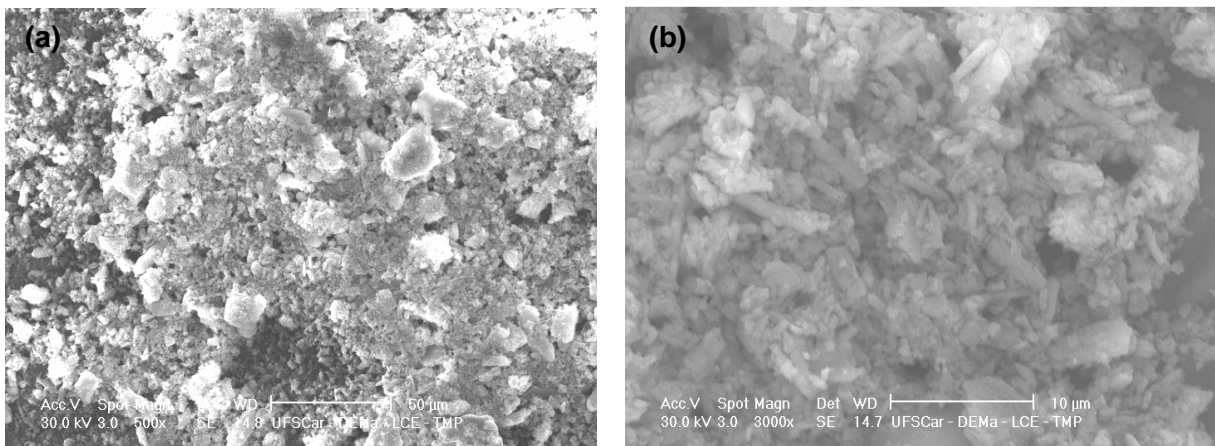


Figura 9 – Micrografia obtida por MEV da amostra do resíduo de gesso calcinado a 150°C: (a) visão geral e (b) detalhe da morfologia.

6.1 Custo da reciclagem do gesso

A seguir será apresentado o custo do processo de reciclagem do resíduo de gesso. Inicialmente calculou-se o custo do processo de moagem e em seguida o custo do processo de calcinação.

Custo moagem (R\$) = Potência do moinho (Kw) x valor da tarifa (Kw/h) x número de horas do equipamento ligado

Custo calcinação (R\$) = Potência da mulfla x valor da tarifa (Kw/h) x número de horas do equipamento ligado

Substituindo os valores apresentados anteriormente, tem-se:

- Custo moagem (R\$) = 0,12 kw x 0,183569 Kw/h x 4 horas
Custo moagem = R\$ 0,088 para moer aproximadamente 0,5 Kg de gesso
- Custo calcinação (R\$) = 1,4 kw x 0,183569 Kw/h x 2 horas
Custo = R\$ 0,51 para calcinar aproximadamente 0,5 Kg de gesso.

O custo obtido do processo de reciclagem do resíduo de gesso realizado no laboratório, foi de R\$ 1,20 o quilo.

Tendo em vista que o gesso comercialmente é vendido em média por R\$ 1,00 o quilo, o processo de reciclagem em pequena escala (laboratório) não se mostrou viável economicamente, no entanto é uma solução ecologicamente correta e possível de ser realizada.

7. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho demonstraram que o resíduo de gesso depois de submetido ao processo de moagem e calcinação a 150°C, tem grande potencial para uso.

O custo estimado para o processo de reciclagem do gesso, não apresenta ser uma solução muito viável economicamente, visto o preço da matéria-prima natural. No entanto, do ponto de vista ecológico, é uma solução correta e viável, podendo ser também vantajosa quando se refere aos custos para descartes em lugares apropriados que possuem licença. A reciclagem do resíduo de gesso é possível, no entanto, a viabilidade em escala comercial depende de vários fatores, como: disponibilidade e baixo custo da matéria-prima, quantidade e qualidade do resíduo de gesso gerado, custo da segregação e do transporte desse resíduo nos canteiros de construção e demolição, entre outros.

8. BIBLIOGRAFIA

CANEVAROLO JUNIOR, S. V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. São Paulo: Editora Artliber Ltda, 2004.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução 307, de 5 de julho de 2002**. (Disponível na internet em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>, acesso em 12 de agosto de 2007).

ENGESSUL. (Disponível em <http://www.engessul.com.br>, acesso 12 agosto de 2007).

JOHN, V. M.; AGOPYAN, Y. **Reciclagem de resíduos da construção**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, s/d. (Disponível em <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/CETESB.pdf>, acesso em 12 de agosto de 2007).

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **Alternativas de Gestão dos Resíduos de Gesso**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, s/d. (Disponível na internet em <http://www.recilagem.ppc.usp.br/ftp/Alternativas%20para%20gest%C3%A3o%20de%20residuos%20gesso%20v2.pdf>, acesso em 12 de agosto de 2007).

LYRA, A. C. **O mercado de gipsita e o gesso no Brasil**. (Disponível em <http://www.prossiga.br/gesso>, acesso em 20 de agosto de 2007).

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

PUCCI, R. B. **Logística de Resíduos da Construção Civil Atendendo à Resolução CONAMA 307**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ZORDAN, S. E. **Entulho da Indústria da Construção Civil**. (Disponível em http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho_ind_ccivil.htm, acesso em 20 de agosto de 2007).