

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E MEIO
AMBIENTE

MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

Viabilidade da reutilização dos resíduos de
gesso advindos da construção civil para
aplicação na indústria cimenteira

Jordânia de Souza Barros

Belo Horizonte

2010

Jordânia de Souza Barros

Viabilidade da reutilização dos resíduos de gesso advindos da construção civil para aplicação na indústria cimenteira

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Tecnologia Ambiental

Área de concentração: Meio Ambiente

Orientador: Liséte Celina Lange

Belo Horizonte

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

2010

RESUMO

A gestão dos resíduos sólidos urbanos tem levantado muitas questões sobre qual a melhor forma de promover a correta destinação e disposição final dos resíduos. No caso dos resíduos de construção civil regidos pela Resolução CONAMA nº 307/2002, faz-se necessário que o setor estabeleça uma política de gestão adequada para os resíduos do gesso gerados na fabricação, construção e demolição. A resolução CONAMA nº 307/2002 define os resíduos da construção civil como resíduos provenientes de “...construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.” Esta resolução também classifica os resíduos da construção civil em quatro classes. Dentre elas, se destaca a CLASSE C, onde se encontram os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem e recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso. Este estudo busca alternativas para a destinação dos resíduos de gesso da construção civil em contrapartida à definição da resolução CONAMA de que o gesso se enquadra na classe de resíduos para os quais não há viabilidade técnica e econômica para a produção de reciclados. As questões tratadas nesta pesquisa são reflexos de uma preocupação com o planejamento, prevenção e conscientização da importância da destinação correta dos resíduos de construção civil em especial do gesso. Os resultados demonstram que deve ser revista a qualificação do gesso quanto à sua viabilidade para reciclagem, pois, existem métodos disponíveis e conhecidos para a sua reciclagem.

Palavras-chave: reutilização, resíduos de gesso, construção civil

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos Resíduos da Construção Civil	9
Tabela 2 - Formas de Utilização da Gipsita	19
Tabela 3 - Resposta de várias culturas ao gesso agrícola como fonte de S.....	24
Tabela 4 - Comparação entre os resultados das análises de diferentes tipos de gesso	37
Tabela 5 - Custo de destinação dos resíduos de gesso	39
Tabela 6 - Preço médio do gesso e fretes - Média 2009.....	40
Tabela 7 - Preço médio pago por tonelada do gesso para cada 1% de SO ₃	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de Reciclagem de Gesso na Construção Civil.....	10
Figura 2 - Mapa de Localização das URPVs.....	12
Figura 3 - Redução do Consumo de Materiais na Fonte	17
Figura 4 - Fluxograma Simplificado das Etapas de Produção de Cimento.....	27
Figura 5 - Porcentagens das Matérias-Primas Utilizadas na Produção de Cimento.....	28
Figura 6 - Descarga de Resíduos de Gesso na URPV	35
Figura 7 - Aspecto dos Resíduos Despejados na URPV	36
Figura 8 - Estoque de resíduos de gesso em indústria cimenteira.....	41

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ATT – Área de Transbordo e Triagem

CNUMAD – Conferência das Nações Unidas pelo Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

EPA – Environmental Protection Agency

ETCIC - Environmental Technologies Centres Industrial Collaboration

hab. habitantes

Mat. material

MA – módulo de sílica

MS – módulo de alumínio

RCC – Resíduos da Construção Civil

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

PBH – Prefeitura de Belo Horizonte

PGRCC – Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil

PMGRCC – Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil

ppm – parte por milhão

SINDUSCON – MG Sindicato das Indústrias de Construção Civil do Estado de Minas Gerais

SINDUSCON –SP Sindicato das Indústrias de Construção Civil do Estado de São Paulo

SLU-BH - Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte

ton. tonelada

URPV - Unidade de Recebimento de Pequenos Volumes

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1 Construção civil e a gestão sustentável dos resíduos	15
2.2. Características do Gesso e suas utilizações.....	19
3.2.1. Geração e Destinação de Resíduos de Gesso	22
3.3. Gesso no cimento.....	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1. Caracterização física e química dos resíduos de gesso	32
4.1.1. Coleta e preparo das amostras	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
5.1. Caracterização física e química dos resíduos de gesso	35
5.2. Análise dos custos relacionados.....	37
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42

1. INTRODUÇÃO

A gestão dos resíduos sólidos urbanos tem levantado muitas questões sobre qual a melhor forma de promover a correta destinação e disposição final destes resíduos. Os resíduos gerados pela construção civil representam 60% de todo o lixo urbano da sociedade e, desse total, 5% correspondem aos restos de gesso (DRYWALL, 2009). No caso dos resíduos de construção civil (RCC) regidos pela Resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002), é necessário que o setor de gesso estabeleça uma política de gestão adequada para seus resíduos gerados na fabricação, construção, manutenções, reformas e demolição.

A resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002) define os resíduos da construção civil como resíduos provenientes de:

“...construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica, etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha”.

Esta resolução classifica os resíduos da construção civil em quatro classes (Tabela 1). Dentre elas, se destaca a CLASSE C, onde se encontram os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem e recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso (MUNHOZ & RENOFIO, 2007).

Este estudo busca mostrar alternativas para gestão dos resíduos de gesso de construção, como forma de aplicação na agricultura, na indústria cimenteira e na própria construção civil. Por meio desta pesquisa pretende-se verificar a aplicação dos resíduos de gesso da construção civil como fonte de matéria prima para a indústria cimenteira. O estudo pretende verificar ações que o setor pode tomar visando estabelecer uma política de desenvolvimento de mercado de reciclagem de gesso.

Para tal, será realizado um levantamento dos diferentes tipos de gesso e suas aplicações demonstrando o problema do controle e destinação dos resíduos gerados. Pretende-se buscar soluções alternativas ao descarte do gesso ao invés do descarte clandestino e da utilização dos aterros sanitários ou industriais, tendo em vista a oportunidade de utilização dos resíduos de gesso como subproduto da construção civil.

**Tabela 1 - Classificação dos Resíduos da Construção Civil
segundo Resolução CONAMA 307/2002**

Classificação	Descrição	Exemplos	Ações, tratamento e destinação
Classe A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados	Terra de remoção	Se possível, utilização na própria obra. Aproveitável na restauração de solos contaminados, aterros e terraplanagem de jazidas
		Tijolos, produtos cerâmicos, produtos de cimento	Envio para estações de reciclagem de entulho ou aterros de inertes licenciados
		Argamassas	
Classe B	Resíduos recicláveis para outras destinações	Madeira	Envio para empresas que utilizam madeira como energia ou matéria-prima
		Metais, embalagens papel, papelão e plásticos	Envio para empresas de reciclagem de papelão, materiais metálicos e plásticos; cooperativas e associações de catadores; depósitos e ferros-velhos licenciados
Classe C	Resíduos cuja reciclagem ou recuperação não são tecnológica ou economicamente viáveis	Gesso e derivados	Se disponíveis na cidade, envio para unidade de recebimento de resíduos de gesso; aterros de inertes licenciados
Classe D	Resíduos Perigosos oriundos de processo de construção	Óleos, tintas, vernizes, produtos químicos e amianto	Envio para empresas de reciclagem de tintas e vernizes; empresas de coprocessamento. Para outros resíduos perigosos ou contaminados, verificar soluções com fabricantes

Fonte: Revista Techne (2009)

As questões que serão tratadas nesta pesquisa são reflexos da preocupação com o planejamento, prevenção e conscientização da importância da destinação correta dos resíduos de construção civil, em especial do gesso. Para Drywall (2009), vêm sendo pesquisados métodos de reciclagem do gesso e se avançou de forma significativa em pelo menos três formas de reaproveitamento no setor

agrícola, indústria de transformação do gesso e indústria cimenteira, para a qual o gesso é um ingrediente útil e necessário, que atua como retardante de pega do cimento.

Entretanto, segundo John & Cincotto (2003), a reutilização do gesso ou gipsita na produção de cimento não é viável, pois esta atividade exige elevada pureza do produto e dificilmente será importante na reciclagem do gesso, particularmente porque existem em muitas regiões outras fontes de sulfato de cálcio, como o fosfogesso e o resíduo de gesso industrial, de elevada pureza.

No entanto, os custos relacionados à mineração e transporte do Pólo Gesseiro do Nordeste do Brasil para o Sudeste podem também ser indícios de que a reutilização deste material na indústria cimenteira possa ser economicamente viável apesar do trabalho de separação e segregação de contaminantes. A referência a estas duas regiões se faz pelo fato de que o nordeste é o principal produtor de gesso e em contrapartida o sudeste o maior consumidor deste produto. O fluxo de reciclagem de gesso como apresentado na Figura 1 demonstra uma das possibilidades da logística de reciclagem deste subproduto da construção civil.

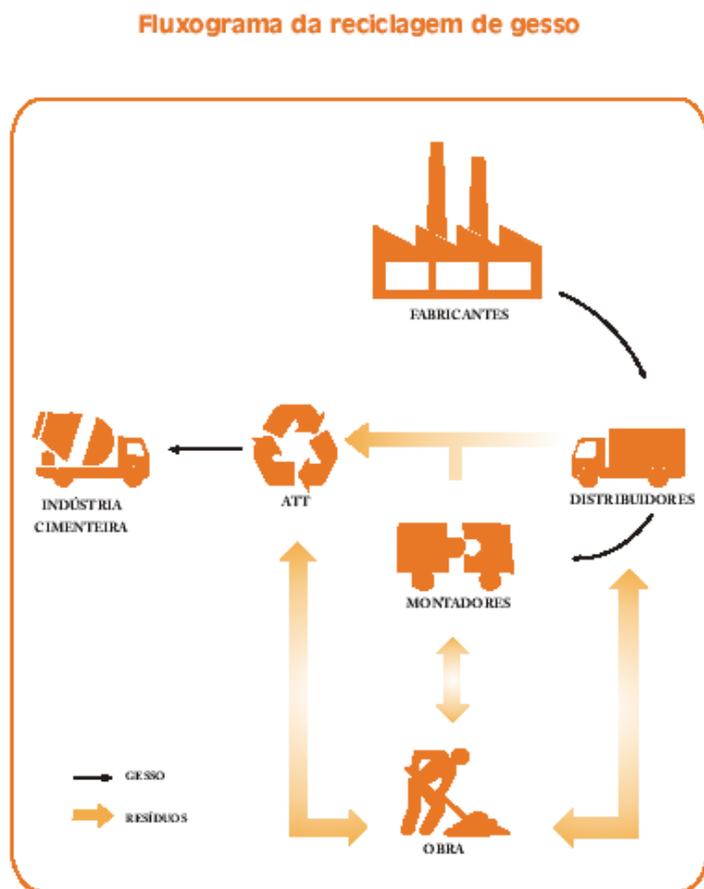


Figura 1 - Fluxograma de Reciclagem de Gesso na Construção Civil
Fonte: Drywall (2009). * ATT: Área de Transbordo e Triagem

Segundo Couto Neto (2007), em 2005 a SLU- BH já estimava a geração de RCC em torno de 450kg/habitante/ano. Este valor varia de cidade para cidade conforme os tipos de construção e as fases de desenvolvimento. Em cidades como Belo Horizonte os RCC podem representar mais da metade dos resíduos sólidos urbanos. Os entulhos provenientes das construções 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.

Alguns municípios, conforme Couto Neto (2007) implantaram usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) com o objetivo de solucionar a dificuldade de destinação do grande volume de resíduos. Em Belo Horizonte iniciou-se em 1995 um programa de reciclagem de entulhos, com a instalação de três usinas de reciclagem (Figura 2). A terceira usina foi inaugurada em julho de 2006.

“Nestas usinas, blocos, argamassa, cerâmica, areia, pedra, concreto, enfim, a fração mineral do entulho, exceto o gesso, é reaproveitada, podendo se transformar em argamassas, sub-base de pavimentação, blocos de alvenaria, material para contenção de encostas, entre outros.” (Couto Neto, 2007, pg.3)

A grande dificuldade em relação aos resíduos de gesso é que as Usinas de Reciclagem de RCD não recebem estes resíduos e grande quantidade do material é descartada inadequadamente.

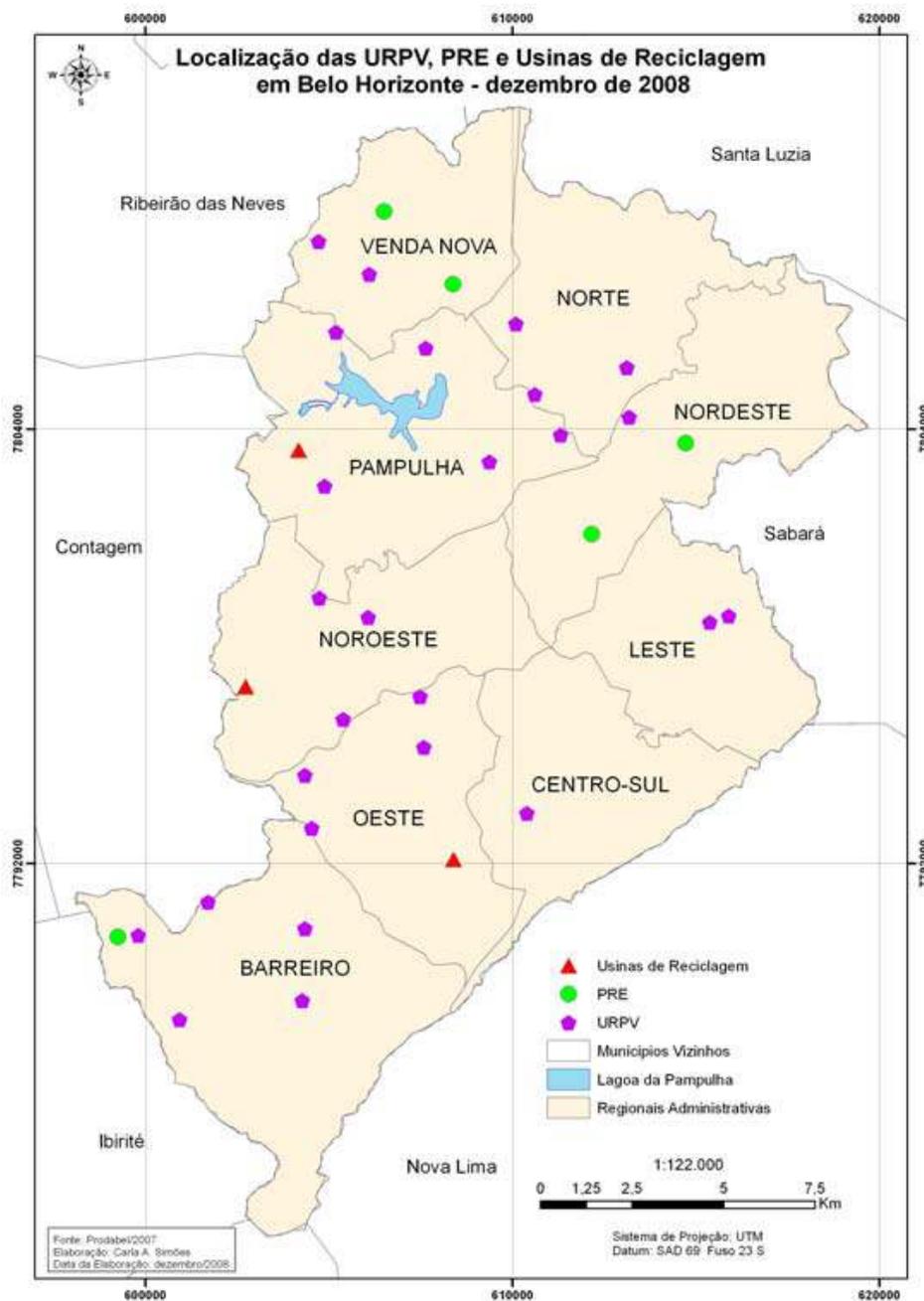


Figura 2 - Mapa de Localização das URPVs

Fonte: Simões (2009)

Os questionamentos que orientam esta pesquisa foram elaborados com base nas seguintes perguntas:

- Qual a destinação está sendo dada aos resíduos de gesso já que não podem ser enviados aos aterros sanitários?
- Para onde os resíduos de gesso estão indo já que as URPVs não recebem os resíduos de gesso?
- Para onde os caçambeiros enviam os resíduos de gesso?

- Será que realmente não existem tecnologias viáveis para o tratamento dos resíduos de gesso como colocado pela Resolução CONAMA 307/2002?
- Falta vontade política?
- Quais as possibilidades de reutilização dos resíduos de gesso da construção civil?
- Quais as características necessárias para que os resíduos de gesso da construção civil possam ser aceitos como fonte de matéria-prima para a indústria cimenteira?

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar alternativas de utilização dos resíduos de gesso classificado como Classe C pela Resolução CONAMA 307/2002 e sua aplicação na indústria cimenteira;

2.2 Objetivos Específicos

- Verificar impedimentos e possibilidades de utilização dos resíduos de gesso da RCD;
- Verificar as formas atuais de descarte dos resíduos de gesso;
- Comparar custos de transportes e gastos relacionados à transferência do gesso da região Nordeste para as indústrias cimenteiras do Sudeste;
- Comparar custos de destinação dos resíduos de gesso;
- Indicar tecnologias ou aplicações economicamente viáveis para a reutilização dos resíduos de gesso.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Construção civil e a gestão sustentável dos resíduos

Nos últimos duzentos anos, a industrialização seguida da construção das grandes cidades acelerou o processo de degradação do meio-ambiente, comprometendo a qualidade de vida das populações quanto à qualidade da água, do ar, desmatamentos, queimadas e mortes de animais, principalmente nos centros urbano-industriais (CARNEIRO, *et. al.*, 2001).

Nos anos 1960 e 1970 o acelerado crescimento da sociedade concentrou a maior parte da população nas cidades com o incremento da urbanização. As modificações na sociedade reforçaram as lutas ecológicas chamando a atenção para os limites do planeta e para o possível esgotamento dos recursos naturais. Em 1972, ocorreu a 1ª Conferência Mundial de Desenvolvimento e Meio Ambiente, em Estocolmo, constituindo um importante evento sociopolítico que a partir de então reorientou as ações relacionadas ao meio ambiente no planeta (MENDONÇA, 2007).

Em 1992, foi realizada uma 2ª Conferência, no Rio de Janeiro que se tornou necessária devido à grande destruição em andamento. Da ECO-92, como ficou conhecida a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD, 1997), em 1992, resultaram diversos documentos como a Declaração de Princípios sobre o Uso das Florestas, o Convênio sobre a Diversidade Biológica, a Convenção sobre Mudanças Climáticas e a Agenda 21. Esta agenda é um programa de ação, baseado em um documento de 40 capítulos com as diretrizes para a construção de um mundo mais sustentável, entre estas estão definições para os resíduos sólidos (ECOLNEWS, 2010).

A definição dos resíduos sólidos, segundo a Agenda 21:

“... compreendem todos os restos domésticos e resíduos não perigosos, tais como os resíduos comerciais e institucionais, o lixo da rua e os entulhos de construção”
(CNUMAD, 1997).

Segundo as definições desta agenda o gerenciamento e controle dos resíduos devem ir além do *“... depósito ou aproveitamento por métodos seguros dos resíduos gerados e buscar resolver a causa*

fundamental do problema, procurando mudar os padrões não sustentáveis de produção e consumo.”

Surge daí o conceito de ciclo de vida dos materiais e ecologia industrial na tentativa de conciliar o desenvolvimento com a proteção do meio ambiente por meio da eco eficiência. O conceito de eco eficiência surge em 1992 como aquela a ser:

“...alcançada por meio de produtos e serviços economicamente competitivos, que satisfazem as necessidades humanas e trazem qualidade de vida, progressivamente reduzindo impactos ecológicos por todo o ciclo de vida a níveis no mínimo adequados com a capacidade de suprimento da terra.” (CNUMAD, 1997).

Tendo em vista o conceito de Eco eficiência (CNUMAD, 1997) a gestão dos resíduos deve ser baseada na:

- (a) Redução ao mínimo dos resíduos;
- (b) Aumento ao máximo da reutilização e reciclagem ambientalmente saudáveis dos resíduos;
- (c) Promoção do depósito e tratamento ambientalmente saudáveis dos resíduos;
- (d) Ampliação do alcance dos serviços que se ocupam dos resíduos.

No caso dos resíduos de construção civil a construção sustentável (CARNEIRO *et. al*, 2001), tem como base a prevenção e redução do consumo e dos desperdícios pelo uso de materiais recicláveis ou reutilizáveis da própria construção ou de demolição. São descartadas verdadeiras jazidas de matérias-primas que não são reaproveitadas quando são jogados fora os materiais descartados pelas obras de construção civil, sendo o desperdício uma característica marcante da construção civil. A Figura 3, representa o diagrama de redução de consumo de materiais na fonte.

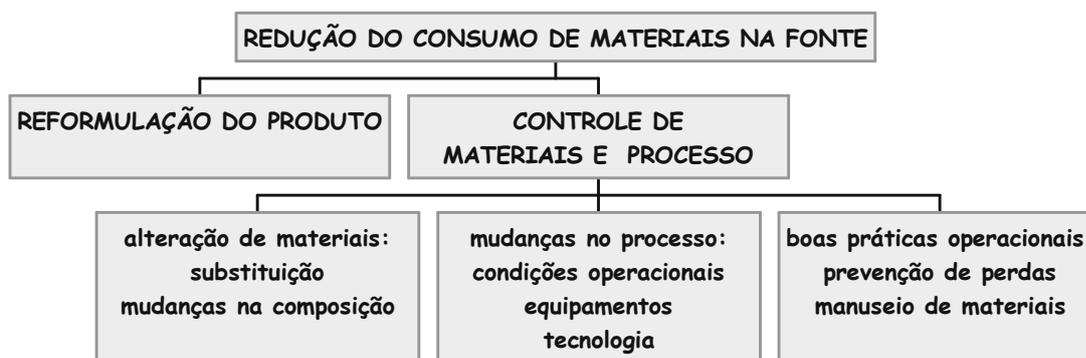


Figura 3 - Redução do Consumo de Materiais na Fonte

Fonte: Notas de aula – (LANGE, 2009)

Segundo Macedo (1995), todo e qualquer empreendimento constitui-se uma atividade transformadora. Sendo assim, pode-se prever modificações no ambiente como:

- Transformação dos recursos ambientais pela ocupação territorial;
- Instalação de novas relações ambientais;
- Utilização de recursos naturais como insumos construtivos e produtivos;
- Introdução de outros fatores ambientais sejam eles positivos ou negativos;
- Modificação das relações preexistentes.

A intervenção ambiental, ocasionada pela instalação de qualquer atividade transformadora em uma dada região, de acordo com Macedo (1995), gera ou induz o remanejamento de fatores existentes no ambiente. Entende-se por fatores no ambiente, os processos capazes de causar adversidades ou benefícios ambientais gerando impactos negativos ou positivos. Esse significativo impacto ambiental da construção civil tem levado diferentes países a adotarem políticas ambientais específicas para o setor.

Países como Holanda, Alemanha, Dinamarca, Bélgica, Reino Unido, França, Espanha já possuem usinas de reciclagem de resíduos há tempo, alguns há mais de 20 anos. Os agregados reciclados seguem diversas normas diferenciadas conforme cada país. Em geral estes agregados são utilizados em pavimentação, em construções com baixa exigência estrutural ou em baixas porcentagens. (COUTO NETO, 2007; CARNEIRO *et. al.*, 2001).

No Brasil, segundo Silva (2007), vários municípios como São José do Rio Preto, São José dos Campos, Ribeirão Preto, Salvador e Belo Horizonte adotaram novas políticas para a reutilização dos

resíduos reciclados e instalaram usinas de reciclagem de entulhos e programas de gerenciamento. A primeira inaugurada em 1991, em Santo Amaro, zona sul de São Paulo.

De acordo com o SINDUSCON-MG (2007), existem diversas vantagens para a reciclagem dos resíduos da construção civil entre elas:

- redução de volume de extração de matérias-primas;
- conservação de matérias-primas não-renováveis;
- diminuição dos problemas relacionados à disposição inadequada dos resíduos nas áreas urbanas e terrenos baldios;
- reaproveitamento de materiais no mercado da construção, criação de novos postos de trabalho.

De acordo com Silva *et. al* (2001), existe dois tipos de reciclagem, a reciclagem primária e a secundária. A reciclagem primária seria aquela na qual a reciclagem acontece no próprio processo produtivo responsável pela sua geração. A reciclagem secundária é a reciclagem de um resíduo em outro processo produtivo diferente do da sua geração. A reciclagem secundária geralmente é mais vantajosa do que a primária devido a alguns fatores como: técnica e viabilidade econômica, limitação de processos e custos altos, e amplitude de processos nos quais podem se aproveitados os resíduos.

Os resíduos gerados na construção civil representam cerca de metade dos resíduos urbanos. O Resíduo Sólido Urbano (RSU) é definido pela ABNT NBR 10004:2004 como o resíduo no estado sólido e semi-sólido que resulta das diversas atividades, tendo origens como: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços, de varrição, entre outros (ABNT NBR 10004:2004).

Em Belo Horizonte, há um Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos de Construção – PMGRCC no qual as alternativas para a destinação dos resíduos de construção civil estão diretamente relacionadas às URPVs – Unidade de Recebimento de Pequenos Volumes. O recebimento do entulho nestas unidades é gratuito quando atendidas algumas exigências. Uma das exigências das URPVs, segundo a SINDUSCON-MG (2007), para o recebimento do entulho, é a “... *ausência de terra, matéria-orgânica, gesso e amianto.*” Esta exigência dificulta a destinação dos resíduos como o gesso e nos leva a questionamentos sobre outras possibilidades para a sua destinação.

2.2. Características do Gesso e suas utilizações

O gesso natural, denominado gipsita é um mineral aglomerante composto por sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Segundo Baltar *et. al*, (2008), a principal característica que torna a gipsita um mineral de interesse econômico consiste na facilidade de desidratação e rehidratação. A gipsita é utilizada na sua forma natural e calcinada. Durante o processo de calcinação a gipsita perde cerca de $\frac{3}{4}$ da água de cristalização convertendo-se em um sulfato hemidratado de cálcio ($\text{CaSO}_4 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$).

O gesso natural é extraído em forma de pedras que são britadas, ou seja, o material é fragmentado mecânicamente formando pequenos pedaços de pedra. Quando o gesso é calcinado estes mesmos fragmentos são colocados em um forno rotativo a cerca de 160°C . Neste processo a material perde água, formando o sulfato de cálcio semi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$). Uma vez calcinado, o material é moído formando o característico pó branco que é comercializado nas lojas de material de construção (WIKIPÉDIA, 2010).

A utilização do gesso é antiga e remota. O gesso já era utilizado em construções, obras de arte e decoração nas antigas civilizações. O gesso ou gipsita é um dos materiais mais antigos utilizados pelo homem, tendo aplicações (Tabela 2) em diversos ramos da indústria, agricultura, construção, decoração. Foi encontrado em ruínas, descobertas arqueológicas na Turquia, em Jericó, na pirâmide de Keops, Chipre, Fenícia e Síria (BALTAR *et. al*, 2008). Entretanto, seu uso na construção civil somente se popularizou na Europa quanto também passou a ser utilizado como corretivo de solos a partir do século XVIII.

Tabela 2 - Formas de Utilização da Gipsita

Natural	Calcinada
Agricultura	Construção Civil
Indústria de Cimento	Material Ortopédico
	Material dental
	Arte e Decoração

A utilização do gesso está associada a suas propriedades de aderência e a maleabilidade. Estas características tornam a argamassa deste ligante um material importante para a execução de peças decorativas em paredes, tetos, paredes “falsas” e revestimentos para paredes. O gesso possui baixa condutividade térmica e elevado coeficiente de absorção acústica sendo um ótimo isolante térmico e

acústico, além de ser utilizado como corta-fogo impedindo que o fogo se alastre. Quando exposto ao calor (calcinado a 160°C) o gesso libera água possuindo baixa resistência quando em contato com a mesma. (WIKIPÉDIA, 2010)

No Brasil, as principais jazidas de Gipsita estão no Pólo Gesseiro de Pernambuco, no Nordeste Brasileiro. Estas jazidas pertencem ao domínio de formação Santana, do Cretáceo Inferior, formada por siltitos, margas, calcários, folhelhos e intercalações de gipsita. As reservas existentes na região do Sertão de Araripe, nos municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade são consideradas as de minério de melhor qualidade no mundo e apresentam excelentes condições de mineração (BALTAR *et. al*, 2004).

Os principais materiais produzidos à base de gesso são: (SINDUSCON - MG, 2007; WIKIPÉDIA, 2010).

- gesso para revestimento;

- placas e ornamentos de gesso fundido;

- chapas para placas tipo drywall;

- massas para aplicações em juntas dos sistemas de paredes e revestimentos, sanca, moldura, barrado, rodapé, rebaixamento de teto e como contorno em volta de batentes de portas e janelas.

- auxílio do tratamento de fraturas ortopédicas;

- direto na parede de bloco de tijolo sem as etapas do chapisco, reboco, massa fina e massa corrida, conhecido popularmente como "gesso liso";

- piso protetor de porcelanatos granitos e outros pisos sensíveis, com a utilização de estopa lona plástica e gesso por cima para tráfego pesado e médio.

Com o aumento da preocupação pela construção sustentável o interesse na recuperação do gesso, principalmente acartonado se expandiu, em países da Europa e nos Estados Unidos. Nestes países, existem documentos e associações que indicam e fazem análises químicas para fornecer aos requisitantes as melhores práticas de gestão para a produção, processamento e aplicação de gesso

acartonado de construção principalmente nos próprios canteiros de obras e correção de solos agrícolas (WISCONSIN, 2010).

Alguns gessos acartonados possuem aditivos como fibra de vidro e parafina e restringem o uso em aplicações como em caso de correções do solo agrícola (WISCONSIN, 2010). Para ter certeza do que o gesso acartonado contém, deve-se obter os dados dos materiais nas fichas de segurança do fabricante. Este documento define os tipos de gesso que se pode reciclar devido a sua composição e indica a forma de utilização e as possibilidades de reciclagem dos resíduos.

3.2.1. Geração e Destinação de Resíduos de Gesso

Como símbolo do desenvolvimento a indústria da construção civil é uma das mais importantes atividades econômicas geradora de empregos e crescimento econômico, mas também é geradora de impactos ambientais devido à modificação da paisagem, utilização dos recursos naturais e geração de resíduos (COUTO NETO, 2007).

No caso dos resíduos gerados pela construção civil, tema desta pesquisa, os mesmos são gerados principalmente em pequenas obras, reformas e demolições realizadas pelos próprios proprietários dos imóveis. De acordo com Bidone *et.al. apud* Silva, (2007) os resíduos de construção civil representam duas vezes a quantidade de resíduos sólidos urbanos que são coletados.

A Resolução CONAMA nº307 estabeleceu as diretrizes para a adequada gestão dos resíduos de construção civil. Segundo esta resolução municípios e grandes geradores passam a ser responsáveis pela segregação e disposição dos resíduos gerados de acordo com a classificação estabelecida (BRASIL, 2002). Os geradores devem ter como objetivo prioritário a não geração dos resíduos, buscando, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.

A resolução CONAMA nº 307/2002 estabeleceu as diretrizes para a adequada gestão dos resíduos de construção civil. A resolução proibiu a disposição dos resíduos da construção civil em lixões, aterros sanitários e áreas de bota-fora forçando assim a formação de iniciativas para a disposição dos RCC como as usinas de reciclagem. Segundo esta resolução municípios e grandes geradores passam a ser responsáveis pela segregação e disposição dos resíduos gerados de acordo com a classificação estabelecida os resíduos devem ser destinados para locais apropriados conforme a classe e legislações específicas.

As prefeituras devem definir o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil - PMGRCC e os grandes geradores devem elaborar o Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil – PGRCC para cada empreendimento. Segundo a ENGESSUL (2009) os geradores atualmente consideram que destinar o gesso em conformidade com as normas técnicas, significa apenas depositar o material nos aterros industriais operados por empresas privadas.

Os problemas causados pelos resíduos de gesso ao meio ambiente estão relacionados com a geração de gás sulfídrico (H_2S), substância que, em baixas concentrações apresenta odor característico semelhante ao de ovo podre (ENGESSUL, 2009). Os efeitos da intoxicação por gás sulfídrico são graves, similares aos de monóxido de carbono, porém mais intensos. O gás paralisa o sistema nervoso, que controla a respiração, provocando a asfixia. Além de inflamável, em concentrações acima de 8ppm, o gás sulfídrico, provoca irritação nos olhos, sendo letal em concentrações da ordem de 500ppm.

Ao invés do envio dos resíduos de gesso da construção civil para bota-fora, lixões, aterros sanitários ou industriais uma das alternativas de destinação do gesso é a agricultura. Outro uso do gesso na produção de materiais de construção é na indústria cimenteira, como retardante de pega. Podem ser utilizados os materiais minerados, subprodutos da construção civil e industriais. O gesso minerado ocorre nas formas dihidratada, hemidrato e anidrita. Os subprodutos industriais são derivados da fabricação de ácido fosfórico (fosfogesso), Fg, da captura de SO_2 das chaminés de geradores alimentados com combustíveis fósseis, gesso de dessulfurização de gases efluentes ou da neutralização de ácido sulfúrico em muitas indústrias de processamento químico (SUMNER,1992).

Segundo SINDUSCON-MG (2007), os resíduos de gesso da construção civil têm três origens:

- chapas de gesso Drywall;
- da aplicação de gesso em revestimento interno, gesso lento;
- sobras de placas pré-moldadas, sancas e molduras.

As principais perdas de materiais de construção ocorrem devido a erros de dimensionamento e erros nas aplicações. Essas perdas geram os resíduos de construção civil em vários momentos: (SINDUSCON-MG, 2007)

- fase da construção;
- fase manutenção e reforma;
- demolição de edifícios.

A definição de um tipo de gesso para determinada utilização depende de sua composição e da taxa de dissolução. Em termos de teores totais de Ca e S os produtos originados de mineração, da indústria e da construção civil, são similares, mas eles variam no conteúdo de outros elementos (CARNEIRO *et. al.*, 2001). A taxa de dissolução do gesso é função do tamanho das partículas e da superfície específica. A velocidade com a qual o gesso se dissolve é de elevada importância para a sua utilização sendo necessários os dados de análise granulométrica e cinética de dissolução.

O gesso é utilizado na agricultura como fertilizante. Cálcio e enxofre (S) são nutrientes essenciais. A resposta à aplicação do gesso na agricultura pode ser percebida pelo aumento de produtividade das culturas como observado na Tabela 3:

Tabela 3 - Resposta de várias culturas ao gesso agrícola como fonte de S

Cultura	Aumento %
Feijoeiro	9
Repolho	9
Citrus	10
Cafeeiro	22-40
Algodoeiro	42
Milho	15
Colonião	25
Colza	50
Arroz	15
Soja	20-30
Cana	8 a 20
Sorgo sacarino	9
Trigo	20

Fonte: Malavolta (sem data)

As taxas de aplicação agrônômica normal de cálcio seriam do intervalo de 100 a 200 gramas de cálcio por acre. Enxofre pode ser aplicado de 20 a 50 quilos por hectare. A necessidade desses nutrientes depende da cultura, do tipo de solo, da oferta de solo existente, e da contribuição de outras fontes. O gesso não é um material de calagem e não tem como função aumentar o pH do solo.

De fato, grandes aplicações de gesso podem aumentar um pouco o pH do solo, porque os íons de cálcio deslocam íons de hidrogênio em superfícies do solo, aumentando a concentração de íons de hidrogênio na solução do solo. Antes de se aplicar gesso ao terreno, deve ser feita uma avaliação

das características do solo. Esta análise irá indicar o pH do solo e as quantidades de fósforo, cálcio, magnésio e zinco disponíveis para as plantas. A taxa de aplicação do gesso acartonado é baseado na quantidade de silte e argila (WISCONSIN, 2010).

Segundo Malavolta (1992), o gesso agrícola, fosfogesso ou gesso é um subproduto da indústria do ácido fosfórico e parte integrante do superfosfato simples (SPS) que é uma mistura do gesso com fosfato monocálcico. O uso do gesso como fonte de S (enxofre) é recomendado sempre que o solo apresentar valores baixos de S e não forem empregadas outras fontes do elemento.

A utilização do gesso na prática agrícola ocorre como (MALAVOLTA, 1992):

- 1) Fonte de Ca e de S;
- 2) Melhoramento do ambiente radicular (diminuição na toxidez de alumínio);
- 3) Correção de solos ácidos;
- 4) Diminuição na salinidade do solo ou do adubo;
- 5) Redução nas perdas de nitrogênio na fermentação do esterco.

A principal preocupação em relação ao fosfogesso relaciona-se a sua radioatividade, consequência da radioatividade contida na rocha fosfática, que poderia ter impacto sobre as águas subterrâneas e efeitos diretos sobre a saúde animal e do homem, além de acumular nos alimentos ou na ração. Com a utilização do fosfogesso há o risco potencial de emissões de radônio do material, variando com seu tempo de meia vida e decaimento relacionado ao urânio.

Devido a sua solubilidade na gessagem (adição de gesso), não há necessidade de procedimentos para incorporação do produto ao solo como na calagem (adição de calcário). O gesso pode ser adicionado ao solo a lanço no terreno preparado para o plantio ou em cultivos perenes. Existem no mercado misturas para aplicação no solo de calcário calcinado e gesso (MALAVOLTA, 1992).

Em solos superficiais ácidos a incorporação de quantidades adequadas de calcário (calagem) podem ser prontamente melhorados, mas em solos ácidos mais profundos, o calcário apresenta pouco benefício, por ter pouca mobilidade. Geralmente, a utilização do gesso (minerado ou subprodutos) é uma das possíveis estratégias utilizada para corrigir estes solos.

Em estudos agrícolas apresentados por Bartl e Albuquerque (1992) houve melhoria das condições químicas e hidráulicas dos solos ácidos, com bons resultados. Considera-se o gesso como melhorador do ambiente radicular em profundidades. O gesso deve ser utilizado em solos ácidos, após a realização de análises do solo para avaliar a necessidade de aplicação. Segundo Bartl e Albuquerque (1992), onde não ocorrem jazidas de gesso, o fosfogesso ganhou espaço como substituto do gesso natural. Algumas dificuldades como presença de impurezas, necessidade de secagem e transporte pode inviabilizar a utilização de resíduos de gesso como o fosfogesso limitando a sua utilização em determinadas aplicações específicas.

3.3. Gesso no cimento

Conforme apresentado na introdução, a indústria cimenteira é vista como uma das possibilidades de destinação dos resíduos de gesso da construção civil. Para Drywall (2009), vêm sendo pesquisados métodos de reciclagem do gesso como na indústria cimenteira, para a qual o gesso é um ingrediente útil e necessário, que atua como retardante de pega do cimento. A Portland Cement Association (PCA) pesquisa a reformulação e especificações para novos cimentos com maiores adições de gesso para poupar energia e diminuir as emissões de gases do efeito de estufa (BNET, 2004).

De acordo com suas características, cada tipo de cimento apresenta aplicações específicas. A produção de cimento ocorre em etapas: moagem cru, produção de clínquer em forno rotativo, moagem de cimento, estocagem em silos, ensacadeira e expedição (Figura 4).

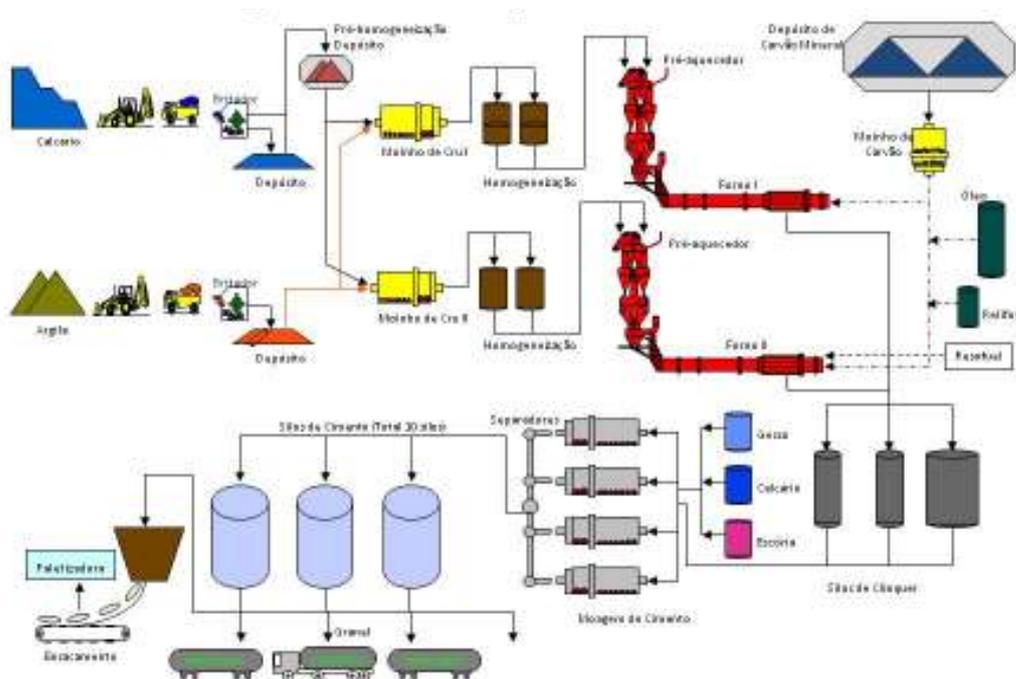


Figura 4 - Fluxograma Simplificado das Etapas de Produção de Cimento

Fonte: Indústria cimenteira

O estágio final de manufatura de uma fábrica de cimento é a moagem do clínquer, misturado com cerca de 4 – 5 % de gesso, gerando o cimento (Figura 5). Na produção do cimento antes da mistura são coletadas amostras de gesso em sacolas plásticas identificadas por data. A coleta deve ser feita

de modo que represente todo o monte. O importante nesta coleta é evitar que a unidade despenda do material antes de ser enviado ao laboratório.

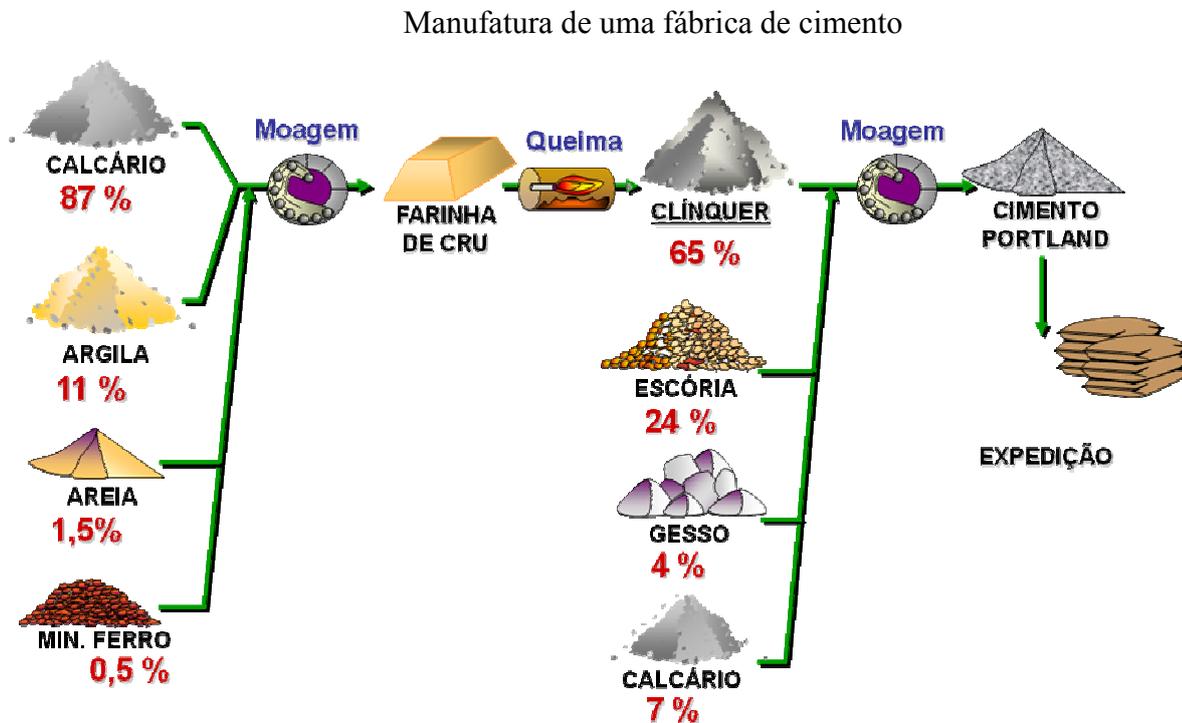


Figura 5 - Porcentagens das Matérias-Primas Utilizadas na Produção de Cimento

Fonte: Indústria cimenteira

A indústria do cimento no Reino Unido usa cerca de 0,6 milhões de toneladas por ano de gesso e este número deverá aumentar para 0,68 milhões de toneladas até o final de 2010. A indústria cimenteira na Europa é regulamentada pela Agência Europeia do Ambiente e deve seguir a Diretiva Integrada de Prevenção e Controle da Poluição (IPPC). As fábricas de cimento pesquisam o beneficiamento do uso de gesso reciclado no processo de fabricação de cimento, uma vez que iria ajudá-los a alcançar os seus objetivos dos indicadores de desempenho e os que a legislação impõe como a redução do consumo de recursos naturais por tonelada de cimento fabricado, otimização da utilização sustentável dos resíduos de outras indústrias ou fontes, promoção da gestão de produtos e benefícios no âmbito da cadeia de abastecimento.

Segundo ETCIC (2010), existem diversas vantagens do uso de gesso reciclado na fabricação de cimento, entre elas:

- a fonte de gesso reciclado geralmente está mais perto das fábricas de cimentos reduzindo assim a quantidade de transporte necessária. Isto ajudaria a reduzir os custos associados e também reduzir as emissões para a atmosfera provenientes de operações de transporte;
- o custo de gesso reciclado deve ser altamente competitivo com a de gesso natural, especialmente se a demanda para o gesso virgem começa a superar oferta e o material precisar ser importado;
- O uso de gesso reciclado ajudará aos fabricantes de cimento a cumprirem com os indicadores de desempenho, assim como reduzir o consumo de recursos naturais e otimizar o uso de resíduos de outras indústrias ou fontes.

Em 2007, foi realizado um projeto entre os parceiros - Cimento Lafarge, Skanska e Coventry University UK Ltd. para verificar as misturas de cimento utilizando gesso reciclado. A conclusão do projeto era que o gesso reciclado pode ser efetivamente utilizado na fabricação de cimento para a produção de misturas de concreto de média resistência para uso em fundações de estradas. As fabricantes de cimento Castle Cement e Reino Unido Mid já estão utilizando gesso reciclado (marca Cemset) nas suas instalações. Fabricantes de cimento nos Estados Unidos, também estão utilizando gesso reciclado em suas operações de fabricação de cimento como uma alternativa ao material virgem (ETCIC, 2010).

O Gesso (CaSO_4) é utilizado para promover trabalhabilidade ao cimento. O gesso age num primeiro momento como inibidor de hidratação. Se o gesso não estivesse presente, o cimento endureceria muito rápido. O gesso forma uma camada protetora em volta dos cristais de C_3S , protegendo por algum tempo a hidratação deste composto. O controle da dosagem é feito através do teor de SO_3 . O tempo de pega é definido (BALTAR *et. al*, 2008) como o tempo necessário para que o gesso, ao ser misturado com a água, complete seu ciclo de endurecimento.

Segundo a Votorantim Cimentos (2000), uma alta temperatura no interior do moinho pode causar completa desidratação do gesso, com o risco de provocar pega falsa no cimento. Além disso, pode ocorrer a formação de “coating”, ou camadas de revestimento endurecidas, o que reduz a eficiência de moagem. Para evitar estes problemas, faz-se necessário um resfriamento no interior do moinho. Se este resfriamento dependesse apenas do ar de resfriamento do moinho, seria necessária uma grande quantidade de ar. Utiliza-se, portanto, água para auxiliar neste resfriamento. Desta forma, a quantidade de ar necessária e o consumo específico de energia da instalação serão menores.

Quando a temperatura de entrada do clínquer está em torno de 50°C, não é necessária à injeção de água de resfriamento na primeira câmara. A partir de 100°C, este resfriamento com água é necessário. Se a água for introduzida desnecessariamente, pode ocorrer a hidratação prévia do cimento, comprometendo a sua resistência final.

No silo de cimento pronto para a expedição após a moagem, o calor é removido por ventilação através das paredes (troca de calor). Entretanto, este é um processo lento. Isto significa que após 3 – 4 semanas de estocagem, a temperatura do cimento será apenas de 5 – 10°C menor que sua temperatura de entrada no silo.

A estocagem em silos é caracterizada por :

- alta temperatura: pode ocorrer desidratação do gesso ;
- sistema fechado: a água produzida pela desidratação do gesso fica no silo e pode ocorrer pré-hidratação do cimento.

A água gerada pela desidratação do gesso se move para áreas com baixa pressão de vapor d'água, onde reage com o cimento. O Ca(OH)_2 será formado, se houver CaO livre presente naquele instante. Isto pode causar formação de colagens no silo e gerar dificuldade no fluxo de saída do material. O desenvolvimento de resistência, também pode ser retardado e causar o fenômeno de pega falsa no cimento, porque parte do C_3A é pouco reativo após a desidratação.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A contradição existente entre o desperdício de matérias-primas, como o gesso, e os custos relacionados ao transporte e extração desta matéria-prima nos leva a questionamentos sobre as possibilidades e a viabilidade de reutilização de seus resíduos como forma de minimizar os impactos gerados ao meio ambiente, contribuir para os sistemas de produção mais limpa e para a eco-eficiência dos sistemas produtivos.

John(2000) *apud* Silva *et. al* (2001) apresentam uma proposta de metodologia para pesquisa e desenvolvimento de reciclagem de resíduos com material de construção civil, como descrita a seguir:

1. caracterização física e química e da microestrutura do resíduo;
2. busca de possíveis aplicações dentro da construção civil, considerando as características do resíduo;
3. desenvolvimento de diferentes aplicações;
4. análise de desempenho frente às necessidades dos usuários para cada aplicação específica;
5. análise do risco ambiental do novo produto, incluindo contaminação das águas subterrâneas, do ar e dos trabalhadores;
6. análise do impacto ambiental do novo produto, numa abordagem envolvendo a avaliação de riscos à saúde dos trabalhadores e dos usuários;
7. análise da viabilidade econômica;
8. transferência de tecnologia.

Para o desenvolvimento desta pesquisa deverão ser observados os itens 1, 3, 4 e 7 que se referem à caracterização dos resíduos, as possibilidade de aplicações em outros processos produtivos e a análise dos custos relacionados tendo em vista a viabilidade econômica.

Com base nos objetivos propostos, esta pesquisa pretende verificar as formas atuais de utilização e descarte dos resíduos do gesso da construção civil. Pretende-se a partir desta metodologia verificar as alternativas e oportunidades de reciclagem e reutilização destes resíduos para a indústria cimenteira.

Para tal, serão seguidos os seguintes passos:

Revisão bibliográfica – levantamento das questões relacionadas aos resíduos de construção civil, geração e destinação. Caracterização da matéria-prima em estudo, verificar fatores relacionados ao ciclo de vida do gesso da fonte primária à geração e destinação dos resíduos. Nesta revisão pretende-se verificar as formas existentes de destinação dos resíduos de construção civil, levantar os principais destinos dos resíduos de gesso na cidade de Belo Horizonte e dos principais usos do gesso.

Análise química de amostras de RDC para uso na indústria cimenteira, caracterização física e química das amostras do resíduo;

Levantamento e análise de custos e benefícios associados como os custos de mineração e transporte do Nordeste para Sudeste. Tendo em vista as questões relativas aos resíduos de gesso da construção civil pretendem-se avaliar aspectos como custos, utilização, geração de resíduos e descarte do gesso, que indiquem a existência ou não de viabilidade técnica e econômica da reciclagem e reutilização do gesso.

4.1. Caracterização física e química dos resíduos de gesso

Para determinação da qualidade do gesso foram avaliados parâmetros físicos e químicos, como: presença de impurezas por meio de controle visual, pureza do gesso, determinação da umidade e determinação do SO_3 .

4.1.1. Coleta e preparo das amostras

Para a caracterização físico química dos resíduos de gesso foram coletadas 2 amostras de resíduos de gesso da construção civil na URPV – Unidade de Recebimento de Pequenos Volumes – unidade São Geraldo, na Av. Andradas, no município de Belo Horizonte, MG. E duas amostras de gesso natural proveniente do Pólo Gesseiro de Pernambuco.

Os resíduos, dos quais foram coletas as duas primeiras amostras, foram levados à URPV por meio de caminhão baú e descarregados em uma caçamba que segundo informação dos funcionários e carroceiro presentes no local seria encaminhada ao aterro sanitário de Sabará, MG. As amostras

coletadas, segundo informações do gerador que estava descarregando no momento, são provenientes de gesso de revestimento de teto e placas drywall.

As amostras coletadas foram encaminhadas a um laboratório particular para a realização das seguintes análises: umidade, pureza do gesso, água combinada, porcentagem de óxidos, dióxidos, anidrito sulfúrico SO_3 , porcentagem de gipsita e anidrita, MS (módulo de sílica) e MA (módulo de alumínio). As análises foram realizadas com base na metodologia empregada internamente pelas indústrias para a utilização do gesso nos processos de produção do cimento, conforme descrito nos itens a seguir:

Determinação da Umidade

Para determinação da umidade homogeneizou-se as amostras e tomou-se uma parte, colocando a amostra a ser secada em uma bandeja previamente tarada e seca.

Anotou-se os valores de tara e Peso Inicial - P1 (peso da bandeja+amostra). Levou-se a estufa, observando os critérios de temperatura da estufa entre 65°C a 70°C para secagem do gesso. Após a retirada da estufa, deixou-se esfriar por 15 minutos em temperatura ambiente. Após o resfriamento, colocou-se em uma bandeja com a amostra sobre a balança zerada. Anotou-se o peso obtido que igual ao Peso Final – P2 (bandeja + amostra seca) e de posse dos valores, efetuou-se o cálculo.

Cálculo: Peso inicial – P1 menos Peso Final – P2, o resultado foi a diferença entre as massas inicial e final.

Análise de Água Combinada (H_2O Combinada). Depois de determinar a umidade na amostra anterior, elevou-se a temperatura de 225°C , até peso constante. A porcentagem é calculada sobre o peso inicial.

Determinação de SO_3 no gesso

Pesou-se 0,5 g de gesso. O gesso foi transferido para um béquer de 250 ml e atacado com 25 ml de HCL 1x1. Ferveu-se até dissolver o material. Adicionou-se 100 ml de H_2O e ferveu-se por mais 5 minutos. Filtrou-se em um béquer de 400 ml, em papel médio. Lavou-se o béquer e o papel com o resíduo totalmente com água quente. Diluiu-se o filtrado a 250ml, com H_2O e levou-se à ebulição.

Acrescentou-se lentamente 10 ml de BaCl₂ (Cloreto de Bário) a 10% quente até que se tenha o precipitado bem formado.

Deixou-se digerir a solução por período de 12 a 24 horas à temperatura próxima a ebulição, tendo cuidado de manter o volume entre 225 a 260 ml com adição, quando necessário, de água quente. Filtrou-se em papel de filtração lenta e lavou-se com água aquecida à temperatura próxima da ebulição até a eliminação de cloretos. Transferiu-se o papel filtro com o precipitado para um cadinho de platina ou porcelana, previamente tarado, secou-se e queimou-se lentamente sem inflamar, até desaparecer todo o carvão do papel e finalmente calcinar (850° + 50° C) por 30 minutos.

Esfriou-se em dessecador e determinou-se a massa por meio da Equação: (2)

$$SO_3 = ((m_2 - m_1) / m) \times 34,3$$

Onde: m = massa da amostra em gramas

m₁ = massa do cadinho tarado em gramas

m₂ = massa do cadinho mais a massa do precipitado de BaSO₄, em gramas

34,3 relação molecular entre SO₃ 3BaSO₄, multiplicado por 100.

Cálculos:

Gipsita – CaSO₄ – 2H₂O = 172 gramas

Anidrita – CaSO₄ = 136 gramas

Anidrido sulfúrico - 80 gramas

Água de cristalização (combinada da Gipsita - 2H₂O) - 36 gramas

% Gipsita = 172/36 x água combinada = 4,77 x água combinada

%SO₃ da Gipsita = 80/172 x Gipsita = 0,465 x % Gipsita

%SO₃ da Anidrita = SO₃ total – SO₃ Gipsita

%Anidrita = % SO₃ Anidrita x 136/80 = %SO₃ anidrita x 1,7

Pureza = Gipsita + anidrita

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Caracterização física e química dos resíduos de gesso

Para a caracterização física e química dos resíduos de gesso foram comparados os resultados de apenas duas amostras de resíduos de gesso da construção civil e duas amostras de gesso natural proveniente do Pólo Gesseiro de Pernambuco. A coleta destas 4 (quatro) amostras teve como objetivo a caracterização inicial, servindo de base apenas para a discussão, análise e caracterização de maiores quantidades do material e em maior escala até o recolhimento, limpeza e segregação em escala industrial.

As amostras dos resíduos de gesso da construção civil foram coletadas na URPV. O material é proveniente de empresas que prestam serviços de aplicação de gesso nas construções (Figura 6).



Figura 6 - Descarga de Resíduos de Gesso na URPV

Em resposta a um dos questionamentos levantados na introdução podemos concluir por meio das visitas às URPVs e informações das empresas contactadas que a principal destinação dos resíduos de gesso ainda são os bota-foras e os aterros sanitários.

No município de Belo Horizonte, os resíduos de gesso estão sendo levados às URPVs e destinados para o aterro sanitário do município de Sabará a aproximadamente 25km de Belo Horizonte em desacordo ao especificado pela Resolução CONAMA 307/2002.

Por meio dos resultados das análises apresentados na Tabela 4, pode-se fazer algumas considerações. Os resultados de dióxido de silício e do módulo de sílica ou a maior presença de sílica nas amostras do gesso natural estão relacionados à mina em Pernambuco da qual o gesso foi extraído. Este aumento de sílica influencia diretamente na pureza do gesso. Quanto mais sílica tiver no material menos puro será o gesso. A pureza do gesso é resultado da soma das porcentagens da gipsita e da anidrita. Constatou-se que o gesso proveniente dos restos de construção civil (Figura 7) é de alta pureza, levando-se em consideração a retirada de materiais como o papel que envolve a placa de Drywall e outros contaminantes como areia, ferragens e entulhos diversos.



Figura 7 - Aspecto dos Resíduos Despejados na URPV

Os resultados das análises dos óxidos e dióxidos demonstram que não há grandes modificações, nem contaminações aparentes nos resíduos provenientes da construção civil que possam afetar a resistência ou pega do cimento. O gesso das amostras de RCD apresentaram umidade relativamente alta em relação ao gesso natural (Tabela 4), mas bem mais baixa do que normalmente apresentam os gessos sintéticos e em cacos.

Tabela 4 - Comparação entre os resultados das análises de diferentes tipos de gesso

Parâmetros Analisados		GESO PLACA	GESO PEDRA	GESO NATURAL	GESO NATURAL
		(drywall) Restos de construção civil	(gesso teto)	jan/2009 Proveniente Pólo Gesseiro Nordeste	abril/2010
Dioxido de sílicio - SiO ₂ . tot.	.%	0,82	0,50	2,62	6,66
Óxido de Alumínio - Al ₂ O ₃ .	.%	0,30	0,22	0,73	1,75
Óxido de Ferro - Fe ₂ O ₃	.%	0,25	0,23	0,39	0,69
Óxido de Cálcio - CaO	.%	32,48	32,29	31,46	30,56
Óxido de Magnésio - MgO.	.%	0,31	0,35	0,46	0,72
Anidrido Sulfúrico - SO ₃	.%	46,01	45,9	44,044	41,25
Óxido de Sódio - Na ₂ O	.%	0,02	0,02	0,028	0,04
Óxido de Potássio - K ₂ O	.%	0,05	0,04	0,143	0,35
MS		1,47	1,11	2,35	2,73
MA		1,19	0,97	1,87	2,54
Gipsita	.%	67,88	76,70	85,81	75,22
Anidrita	.%	25,56	18,12	7,33	11,11
Pureza do Gesso	.%	93,44	94,82	93,14	86,33
H ₂ Ocomb.	.%	14,23	16,08	17,99	15,77
Umidade	.%	5,1	11,3	3,7	3,4

Fonte: análises realizadas em laboratório particular

Para a produção de cimento o parâmetro mais importante para o aumento do interesse pelos resíduos de construção civil é a porcentagem de anidrito sulfúrico (SO₃) ou enxofre. As porcentagens de SO₃ presentes no gesso proveniente de resíduos de construção civil são comparáveis aos níveis mais elevados encontrados em amostras do gesso natural. Nas amostras de gesso natural apresentaram níveis mais baixos que os resíduos de gesso da construção civil demonstrando a sua capacidade de substituição do gesso natural para a produção de cimento.

5.2. Análise dos custos relacionados

O aumento do custo de destinação dos resíduos de gesso para os geradores com a obrigatoriedade de disposição em aterros industriais acarretou no aumento considerável do interesse pela reutilização e reciclagem do produto (ENGESSUL, 2009)

Existem atualmente no Brasil, centrais de recebimento de gesso de construção civil para a reciclagem. Estas centrais ou usinas fazem a recepção, beneficiamento e comercialização do material. No beneficiamento são retiradas as impurezas como restos de outros resíduos da construção civil que possam estar presentes como plásticos e papelão das placas de drywall.

As principais unidades de recebimento de gesso no Brasil segundo Drywall (2009) são:

ATT Pari, São Paulo – SP;

Aterro Sete Praias Sete Praias, São Paulo – SP;

Engessul, Imbituba, SC;

Gramadus, Distrito Industrial Riacho das Pedras, Contagem – MG;

Morelix, Vila Andrade, São Paulo – SP.

A ENGESSUL (2009) industrializa e comercializa cerca de 60.000 toneladas/ano de gesso reciclado permitindo como consequência:

- preservação das jazidas do nordeste do país;
- redução dos custos de transporte rodoviários para os consumidores no sul e sudeste do país;
- diminuição dos desgastes das estradas;
- redução dos custos dos geradores para encaminhar o gesso para aterros industriais;
- redução dos volumes nos aterros urbanos industriais;

Todos os resíduos de construção civil que estão sendo gerados na obra foram anteriormente adquiridos com preço de matéria-prima e têm um custo para processamento e destinação. O custo de destinação de um resíduo pode ser calculado com base na forma de destinação que será dada. Segundo a ENGESSUL (2009) o custo do resíduo é dado por:

$$I=E+H-F$$

I = Custo de destinação

E = Custo do transporte do resíduo

H= Custo relacionado com matéria-prima;

F = Preço de venda do resíduo;

Hoje existem diversas alternativas para a destinação dos resíduos de gesso sendo estes destinos intermediários (carroceiros, caçambeiros), dos quais não se tem garantia de onde o resíduo irá parar ou destinos finais (aterros, indústria cimenteira, áreas agrícolas, etc.).

A opção que o destinador escolhe para envio de seus resíduos está muito relacionada às quantidades geradas, presença de contaminantes, custos de transportes e de destinação final. De acordo com os

valores apresentados na tabela 5 é muito mais vantajoso para um grande gerador enviar seus resíduos de gesso a custo zero, ou até vender este resíduo, dependendo da qualidade que o mesmo apresentar, do que arcar com os custos de transporte e destinação para aterros industriais ou empresas receptoras intermediárias.

Atualmente grandes construtoras têm que pagar para empresas intermediadoras realizarem o serviço de beneficiamento e triagem do material para ser comercializado o que acarreta no aumento do custo para as construtoras e facilita a disposição clandestina dos materiais já que não há uma fiscalização efetiva relacionada a este tema. Segundo a ENGESSUL(2010), as construtoras pagam pelo envio e pela reciclagem dos resíduos de gesso de construção civil, mas os custos de envio para a reciclagem são aproximadamente 70% menores do que os de envio para aterros industriais.

As usinas de reciclagem existentes realizam a classificação do material, higienização, britagem, moagem, peneiramento, secagem e blendagens. O material também é reaproveitado na própria construção civil. O custo de uma caçamba de 6m³ de gesso para ser destinado conforme as especificações da Resolução, gira em torno de R\$260,00 (Tabela 5).

Tabela 5 - Custo de destinação dos resíduos de gesso

Tipos de resíduos	Requisitos	Preço médio praticado	Unidade
Aterro Industrial	Entulho destinado como Classe I - Perigoso	R\$240,00	Tonelada
Carroceiros (URPV)	Gesso misturado a outros resíduos de RCD	R\$ 15,00	A carroça
Caçambeiros Intermediários	Destino incerto. Declaram enviar corretamente para os aterros	R\$120,0 a R\$260,00	A caçamba
Coprocessamento	Gesso não tem poder calorífero para ser utilizado como energia alternativa	R\$0,00	Tonelada
Indústria cimenteira (enviado como matéria-prima para moagem)	Material limpo e pré-selecionado sem contaminantes	Frete grátis caso material seja aprovado, custo zero de destinação	Tonelada

Fonte: informações verbais dos recebedores

Os custos relacionados ao transporte de gesso natural do Pólo Gesseiro de Pernambuco para o Sudeste em muito favorecem o interesse das indústrias cimenteiras do Sudeste pela reutilização do gesso existente em locais mais próximos.

Com base em dados fornecidos pelas indústrias cimenteiras os custos de transporte giram em torno de R\$100,00 a R\$120,00 por cada tonelada de gesso transportado do Nordeste para o Sudeste. Este custo é bem menor quando conseguem reaproveitar materiais como cacos de porcelanatos em substituição ao gesso natural (Tabela 6).

Tabela 6 - Preço médio do gesso e fretes - Média 2009

Tipos de gesso utilizado	Minas Gerais			Rio de Janeiro			Espírito Santo			São Paulo		
	MAT. (R\$)	FRETE (R\$)	TOTAL	MAT.(R\$)	FRETE (R\$)	TOTAL	MAT. (R\$)	FRETE (R\$)	TOTAL	MAT. (R\$)	FRETE (R\$)	TOTAL
GESSO MINERAL BRITADO - polo gesseiro	10,14	105,00	115,14	10,14	110,00	120,14	10,14	79,60	89,74	10,14	120,00	130,14
GESSO SINTETICO	8,20	63,00	71,20	6,10	37,40	43,50	-	-	-	8,20	31,00	39,20
GESSO CALCINADO EM CACOS MAT R\$(preço pago por tonelada do material)	23,63	43,27	66,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: indústrias cimenteiras

O prazo para o fim da deposição dos RCD em aterros de resíduos domiciliares e areais de bota-fora já terminou, mas como se verificou em pesquisa realizada em campo, os resíduos de gesso provenientes dos carroceiros e caçambeiros existentes na cidade de Belo Horizonte ainda estão sendo encaminhados ao Aterro Sanitário de Sabará (informação dada pelos próprios carroceiros em trabalho).

Tendo em vista que o principal parâmetro químico para a escolha do gesso a ser utilizado é a porcentagem de anidrito sulfúrico – SO₃ calcula-se o preço pago para cada 1% de SO₃ por tonelada de gesso. O preço médio pago pela tonelada de gesso, incluído os valores de transporte, se dividido pela porcentagem de SO₃ (base úmida) nos indicará o custo médio de cada 1% de SO₃ (Tabela 7).

Tabela 7 - Preço médio pago por tonelada do gesso para cada 1% de SO₃

Tipo de Gesso	R\$/t	Umidade	SO ₃ (BS)	SO ₃ (BU)	R\$/SO ₃ (1%)
Gesso Natural*	123,46	2,33	42,29	41,30	2,99
Gesso Caco*	70,88	22,45	45,40	35,21	2,01
Gesso Sintético*	74,42	20,74	45,83	36,32	2,05
Gesso RCD Placa Drywall	72,90	5,1	46,01	43,65	1,67
Gesso RDC Pedra Teto	65,95	11,3	45,9	40,71	1,62

Os custos de compra da tonelada do gesso natural proveniente do Pólo Gesseiro Pernambucano são muito mais elevados do que os custos relacionados à utilização do gesso reciclado, seja este em cacos, placa drywall ou pré-moldado como o gesso de teto. O gesso natural é o preferido para a fabricação de cimento. O gesso sintético e o gesso em cacos também são usados, mas o maior teor de umidade torna-o mais difícil de manusear. Com base nos custos analisados pode-se, portanto, confirmar as vantagens, a viabilidade química e de menores custos de reutilização do gesso de construção civil para a indústria cimenteira (Figura 8).



Figura 8 - Estoque de resíduos de gesso em indústria cimenteira

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme observado na revisão bibliográfica, nas análises de custo e nas análises físico-químicas das amostras de gesso apresentadas, podemos considerar que os resíduos de gesso de construção civil podem ser utilizados como matéria-prima para a indústria cimenteira, sendo a sua utilização viável, química e economicamente. Esta é também, uma ótima oportunidade de reciclagem e redução de resíduos que são hoje um dos grandes problemas sócio-ambientais.

A reciclagem e reutilização dos resíduos possuem diversas vantagens:

- preservação de recursos naturais com a substituição destes por resíduos, prolongando a vida útil das reservas naturais e reduzindo o impacto ambiental;
- redução da necessidade de áreas para aterro devido à redução do volume de resíduos a serem depositados;
- redução no gasto de energia, na produção e no transporte
- geração de empregos na reciclagem;
- redução da poluição emitida;
- diminuição do desperdício de matérias-primas como o gesso.

Todas estas vantagens apresentadas são importantes para os geradores dos resíduos quanto para os principais consumidores de gesso. Os resíduos de gesso são fonte de matéria-prima para outros fins como a indústria cimenteira, aplicações agrícolas, estabilização de solos, indústria de cerâmicas e a própria construção civil.

A utilização do gesso proveniente dos resíduos de construção civil é viável técnica e economicamente e os resultados das análises químicas realizadas atendem às exigências das indústrias cimenteiras. Deve-se ter claro, portanto, a necessidade de realizar os testes utilizando um número maior de amostras e em escala industrial.

A falta de organização dos geradores e a disponibilidade do material no mercado, assim como a falta de incentivo e fiscalização para que os geradores, como as construtoras, enxerguem as alternativas de destinação do gesso como oportunidades de negócio podem prejudicar a utilização do gesso nas indústrias cimenteiras. Observa-se que o próprio poder público, em Belo Horizonte, ainda não definiu diretrizes claras para a destinação dos resíduos de gesso no município.

Para que se desenvolva um mercado mais consistente de reciclagem de gesso são necessárias algumas ações como:

- programas de educação ambiental, esclarecendo as possíveis formas de destinação dos resíduos de gesso e os problemas associados;
- aumento da fiscalização do poder público;
- aumento da disponibilidade dos resíduos de gesso para a reciclagem;
- resíduos separados nas obras de forma organizada e limpa;
- entendimento dos requisitos exigidos pela Resolução CONAMA 307/2002;
- aumento do esclarecimento e receptividade dos funcionários responsáveis pela segregação e disposição final dos resíduos;
- proibição e multa por recebimento de resíduos de gesso nas URPVs e aterros sanitários;
- exemplo do poder público, incluindo nas estações de reciclagem de entulho espaços de recebimento, beneficiamento e triagem dos resíduos de gesso a serem vendidos e reaproveitados.

Este estudo mostrou que é possível utilizar os resíduos de gesso na fabricação de cimento. Não há, entretanto, dados disponíveis suficientes para determinar a existência de um mercado consolidado

para atender as demandas da indústria cimenteira. Não se pode ter garantias de que haverá uma disponibilidade contínua deste material com qualidade e nas quantidades necessárias. As maiores dificuldades relacionadas à formação deste mercado estão associadas à falta de fiscalização e obrigatoriedade do cumprimento da resolução CONAMA 307/2002.

Em trabalhos futuros relacionados ao tema poderiam ser pesquisados:

- quantitativo de gesso gerado em relação ao total de entulho de construção civil e sua representatividade;
- testes utilizando um número maior de amostras e em escala industrial;
- quantitativo de gesso destinado para Usinas de Reciclagem e Beneficiamento em relação ao total gerado;
- custos de beneficiamento e triagem do gesso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004.2004. CEE – Comissão de Estudo Especial.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. RESOLUÇÃO Nº 307, DE 5 DE JULHO DE 2002. (Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>). Acessado em: 23/10/2009.

CARNEIRO, Alex Pires; CASSA, J.C.S.; BRUM, I.A.S. Reciclagem de Entulho para a produção de Materiais de Construção Civil. Projeto Entulho Bom. EDUFBA; Caixa Econômica Federal. Salvador. 312p. 1 edição. 2001.

BALTAR, Carlos A. M.; BASATOS, Flávia F.; LUZ, Adão B. GIPSITA. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. Ministério da Ciência e Tecnologia. Comunicação técnica elaborada para livro Rochas Minerais Industriais: Usos e Especificações. Capítulo 23. Pág. 505-526, Rio de Janeiro. Dezembro, 2008.

BARTL, Peter. E. e ALBURQUERQUE, Paulo C. W. O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta. p-67 a 81. In: SEMINARIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA: 2.: 1992. Uberaba, MG. Anais. Ed. rev. Uberaba: 1992. 413 p. IBRAFOS – Instituto Brasileiro de Fosfato.

BNET – Business Net, Cement Makers eye recycled gypsum. Março-Abril, 2004. Disponível em: http://findarticles.com/p/articles/mi_m0QMH/is_2_6/ai_n6014997/ Acessado em: 06/07/2010.

COUTO NETO, Alair Gonçalves; Construção civil sustentável : avaliação da aplicação do modelo de gerenciamento de resíduos da construção civil do SINDUSCON-MG em um canteiro de obras - um estudo de caso. 88 f, enc. : Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2007.

CNUMAD – Conferência das Nações Unidas Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Agenda 21. Senado Federal. Secretaria Especial de Editoração e Publicações. Sub-Secretaria de Edição Técnicas. 2ª Edição. Brasília, 1997.

DRYWALL. CARTILHA RESÍDUOS DE GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL – COLETA, ARMAZENAGEM E DESTINAÇÃO PARA RECICLAGEM., 2009. Disponível em: www.drywall.org.br. Acessado em: 25/10/2009

ETCIC - Environmental Technologies Centres Industrial Colaboration - Recyclet Limited collect plasterboard and gypsum based wastes to be processed in their recycling facility. Disponível em: <http://www.etcic.com/content/view/84/65/> Acessado em: 06/07/2010.

ECOLNEWS. Agenda 21. Disponível em: <http://www.ecolnews.com.br/>. Acessado em: 03/2010.

ENGESSUL. O gesso e o Meio Ambiente – A importância da Reciclagem dos resíduos de gesso. Disponível em: <http://www.engessul.com.br/pt/reciclagem.htm>. Acessado em: 02/2010.

IBRAFOS – Instituto Brasileiro de Fosfato. SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA: 2.: 1992. Uberaba, MG. Anais. Ed. rev. Uberaba: 1992. 413 p.

JOHN, Vanderley M., CINCOTTO, Maria Alba. ALTERNATIVAS DE GESTÃO DOS RESÍDUOS DE GESSO. Universidade de São Paulo Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil – PCC, 2003.

JOHN, Vanderley M., & AGOPYAN, Vahan. Reciclagem de Resíduos da Construção Civil. Seminário Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares. Seminário de Reciclagem, São Paulo-SP, 2000. Disponível em: www.reciclagem.pcc.usp.br/artigos.htm. Acessado em: 04/2010.

LANGE. Liséte Celina. Notas de Aula. DESA- Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG, Escola de Engenharia, 2009.

MACEDO, Ricardo Kohr de. Capítulo 1 - A Importância da Avaliação Ambiental, pág.13-31. [Orgs.] Tauk, Sâmia Maria. Análise Ambiental: Uma Visão Multidisciplinar São Paulo, 1995, 2ª edição.

MALAVOLTA, E. O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta – perguntas e respostas, p-41-66 In: SEMINARIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA: 2.: 1992. Uberaba, MG. Anais. Ed. rev. Uberaba: 1992. 413 p. IBRAFOS – Instituto Brasileiro de Fosfato.

MENDONÇA, Francisco de Assis. A Emergência da Temática Ambiental na Atualidade. Geografia e Meio Ambiente. Editora Contexto. 8 Edição. 1 Re-impressão. São Paulo, Contexto, 2007.

MUNHOZ, Fabiana Costa, RENOFIO, Adilson. USO DA GIPSITA NA CONSTRUÇÃO CIVIL E ADEQUAÇÃO PARA A P+L, XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu. UNESP, ENEGEP, 2007.

SINDUSCON-MG - Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais. Alternativas para a destinação de resíduos da construção civil. 2.ed. Belo Horizonte: SindusCon, 2007. 80 p.

SINDUSCON-MG - Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais. Gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil. 3.ed. Belo Horizonte: 2007. 67 p. : <http://www.sinduscon-mg.org.br/site/arquivos/up/comunicacao/gerenciamentoResiduos3Edicao.pdf> 21:52 Acessado em: 02/2010.

SILVA, Alex Fabiane Fares da; Gerenciamento de resíduos da construção civil de acordo com a Resolução CONAMA nº307/02 : estudo de caso para um conjunto de obras de pequeno porte. 2007. x, 102 f., enc.: Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

SIMÕES, Carla Araújo; ESTUDO DA REDE DE GERENCIAMENTO DE PEQUENOS VOLUMES DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM BELO HORIZONTE : UMA ANÁLISE ESPACIAL COM O APOIO DO GEOPROCESSAMENTO. 2009. 121 f., enc.: Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências.

SUMNER, Malcoln E. Uso atual do gesso no mundo em solos ácidos. Tradução: Bernardo van Raij. In: SEMINARIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA: 2.: 1992. Uberaba, MG. Anais. Ed. rev. Uberaba: 1992. 413 p. IBRAFOS – Instituto Brasileiro de Fosfato.

REVISTA TECHNNE. Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia>
Acessado em: 25/02/2010 <http://www.revistatechne.com.br/engenharia/civil/142/artigo123906>.

VOTORANTIM CIMENTOS. Programa Trainee. Moagem de Cimento - Módulo teórico, Engenharia de Processo, 2000.

WISCONSIN, WASTCAP. *Statewide Waste Characterization Study*. Cascadia Consulting Group. Wisconsin Best Management Practices for Processing and Applying. Waste Gypsum Wallboard a Soil Amendment on Construction Sites. May, 2003 Disponível em: www.wastecapwi.org. Acessado em: 05/2010.

WIKIPEDIA, http://www.responsabilidadesocial.com/article/article_view.php?id=619. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Gesso> Acessado em: 04/2010.