



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL

TAILENA NAIARA RODRIGUES FABRÍCIO

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO CICLO DE VIDA DO GESSO UTILIZANDO O
SOFTWARE SIMAPRO®

FORTALEZA

2014

TAILENA NAIARA RODRIGUES FABRÍCIO

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO CICLO DE VIDA DO GESSO UTILIZANDO O
SOFTWARE SIMAPRO®**

Dissertação submetida à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e
Gestão Ambiental do Instituto Federal do
Ceará como requisito para obtenção do título
de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva

FORTALEZA

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F122a Fabrício, Tailena Naiara Rodrigues.
 Avaliação preliminar do ciclo de vida do gesso utilizando o software simapro / Tailena Naiara Rodrigues Fabrício. - 2014.
 84 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Aperfeiçoamento de Professores para a Educação Inclusiva, Campus Fortaleza, 2014.
 Orientação: Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva.
1. Avaliação do Ciclo de Vida. 2. Gesso. 3. Reciclagem. I. Título.

CDD 371.9

TAILENA NAIARA RODRIGUES FABRÍCIO

**AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO CICLO DE VIDA DO GESSO UTILIZANDO O
SOFTWARE SIMAPRO®**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará como requisito para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva (Presidente)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE

Prof^ª. Dr^ª. Marisete Dantas de Aquino (Externo)

Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Gemmelle Oliveira Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE

Prof^ª. Dr^ª. Sofia Araújo Lima Bessa (Externo)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI

A Deus.

Aos meus pais, Rogério e Francisca.

Aos meus avós, Maria Gomes (*in memoriam*),
Francisco e Maria Fabrício.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelo apoio financeiro.

Ao Prof. Dr. Adeildo Cabral, pela orientação.

Aos professores participantes da Banca Examinadora, Prof^ª. Dr^ª. Marisete Dantas de Aquino, Prof. Dr. Gemmelle Oliveira Santos e Prof^ª. Dr^ª. Sofia Araújo Lima Bessa.

Ao Engenheiro Químico Flávio, técnico responsável pelo processo da produção de blocos de gesso da empresa Gesso Chaves S. A., pela disponibilização dos dados de fabricação.

Aos meus amigos e companheiros de trabalho do Laboratório de Energias Renováveis e Conforto Ambiental (LERCA), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, *campus* Fortaleza.

RESUMO

Dos diversos materiais utilizados na construção civil, há alguns que geram enormes desperdícios, dentre estes, encontra-se o gesso. A Resolução CONAMA nº 431/2011 estabelece uma nova classificação para o resíduo de gesso, apresentando-o como reciclável. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) se caracteriza como uma técnica de avaliação dos aspectos e impactos ambientais associados a um produto, mediante compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes a um produto, avaliação dos impactos ambientais e interpretação dos resultados em relação aos objetivos do estudo. Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo preliminar do ciclo de vida do bloco de gesso utilizado na construção civil para o levantamento de vedações internas e comparar os impactos ambientais de duas opções dadas ao resíduo: disposição em aterro sanitário e reciclagem. O software utilizado para desenvolver a pesquisa foi o SimaPro[®] versão PhD 8.0.3.14 e para a avaliação de impactos, o EDIP 2003 v1.04 (*Environmental Development of Industrial Products*). A estrutura metodológica está baseada nas normas da série NBR ISO 14.040. Os resultados do EDIP mostram que a atividade de fabricação do bloco de gesso com os resíduos dispostos em aterro sanitário apresentam maior potencial de impacto do que os resíduos reciclados. Portanto, a opção que apresenta melhor desempenho ambiental é a reciclagem do gesso, mostrando a necessidade dos fabricantes e consumidores por em prática a legislação brasileira.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida. Gesso. Reciclagem.

ABSTRACT

Among the several materials used in the building, there are some which generate significant waste. One of them is the plaster. CONAMA Resolution 431/2011 establishes a new classification for the residue of plaster, considering it as recyclable. The Life Cycle Assessment (LCA) is characterized as a technique for assessing the environmental aspects and impacts associated with a product by compiling an inventory of relevant inputs and outputs of a product, environmental impact assessment and interpretation of results in relation the objectives of the study. This study aims to perform an LCA of gypsum block used in the building of fences to survey and compare the environmental impacts of the two options given to waste: disposal in a sanitary landfill or recycling. The software used to develop the research was SimaPro[®] PhD version 8.0.3.14 and for assessing impacts, the EDIP 2003 v1.04 (Environmental Development of Industrial Products). The methodological framework is based on the standards of the series ISO 14.040. The results show that the EDIP activity of manufacturing gypsum block with the waste disposed in landfill have greater potential impact of waste that is recycled. Therefore, the option that provides better environmental performance is the recycling of gypsum, showing the need of manufacturers and consumers in practice Brazilian law.

Keywords: Life Cycle Assessment. Plaster. Recycling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução do Sistema de Gestão Ambiental de acordo com o desenvolvimento de metas e objetivos	12
Figura 2 – Relação entre ações humanas, aspectos e impactos ambientais	22
Figura 3 – Processo de avaliação de impacto ambiental	24
Figura 4 – Fotografia da frente de lavra de gipsita, em Santana do Cariri/CE	37
Figura 5 – Fotografia dos equipamentos utilizados na lavra da gipsita, em Santana do Cariri/CE	38
Figura 6 – Fotografia dos blocos de minérios de gipsita, em Santana do Cariri/CE	39
Figura 7 – Fotografia dos silos de estabilização, usina de fabricação de gesso, em Santana do Cariri/CE	42
Figura 8 – Fotografia da armazenagem do gesso, usina de fabricação de gesso, em Santana do Cariri/CE	42
Figura 9 – Tela inicial do <i>software</i> SimaPro 8.0.3.14 [®] , versão PhD	47
Figura 10 – Bloco de gesso standard branco, vazado.	49
Figura 11 – Fronteiras do Sistema da produção do bloco de gesso.	50
Figura 12 – Fotografia dos resíduos durante a extração do minério de gipsita em Santana do Cariri/CE	64
Figura 13 – Fotografia do resíduo de gesso, usina de gipsita, em Santana do Cariri/CE	65
Figura 14 – Fluxograma do bloco de gesso - Aterro Sanitário	67
Figura 15 – Fluxograma do bloco de gesso – Reciclagem	68
Figura 16 – Contribuição da produção do bloco de gesso nas categorias de impacto dos resíduos dispostos em aterro sanitário e reciclados (caracterização)	72
Figura 17 – Contribuição da produção do bloco de gesso nas categorias de impacto dos resíduos dispostos em aterro sanitário e reciclados (pontuação única)	75
Quadro 1 – Sistema cristalino da gipsita de acordo com seu beneficiamento e temperatura de calcinação	40
Quadro 2 – Os caminhos para a valorização dos resíduos	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química teórica do mineral gipsita	33
Tabela 2 – Reserva e produção mundial da gipsita	34
Tabela 3 – Inventário de consumo de matéria-prima no processo de fabricação do bloco de gesso com resíduos disposto em aterro sanitário	52
Tabela 4 – Inventário de consumo de matéria-prima no processo de fabricação do bloco de gesso com resíduos reciclados	54
Tabela 5 – Inventário de emissões para o ar no processo de fabricação do bloco de gesso com resíduos disposto em aterro sanitário	56
Tabela 6 – Inventário de emissões para o ar no processo de fabricação do bloco de gesso com resíduos reciclados	58
Tabela 7 – Inventário de emissões para a água no processo de fabricação do bloco de gesso com resíduos disposto em aterro sanitário	60
Tabela 8 – Inventário de emissões para a água no processo de fabricação do bloco de gesso com resíduos reciclados	62
Tabela 9 – Inventário de resíduos no processo de fabricação do bloco de gesso com resíduos disposto em aterro sanitário	65
Tabela 10 - Contribuição da produção do bloco de gesso nas categorias de impacto dos resíduos dispostos em aterro sanitário e reciclados (caracterização)	70
Tabela 11 - Contribuição da produção do bloco de gesso nas categorias de impacto dos resíduos reciclados (caracterização)	71
Tabela 12 - Contribuição da produção do bloco de gesso nas categorias de impacto dos resíduos dispostos em aterro sanitário (pontuação única)	73
Tabela 13 - Contribuição da produção do bloco de gesso nas categorias de impacto dos resíduos reciclados (pontuação única)	74

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	11
<i>1.1.1 Objetivo Geral</i>	<i>11</i>
<i>1.1.2 Objetivos Específicos</i>	<i>11</i>
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Gestão ambiental nas organizações	12
2.2 Política Nacional do Meio Ambiente	16
<i>2.2.1 Avaliação de Impacto Ambiental</i>	<i>19</i>
<i>2.2.1.1 Avaliação do Ciclo de Vida</i>	<i>31</i>
2.3 Gipsita	33
2.4 Gesso	35
2.5 Cadeia produtiva do gesso	36
<i>2.5.1 Fase de operação</i>	<i>36</i>
<i>2.5.1.1. Extração e preparação da gipsita</i>	<i>36</i>
<i>2.5.1.2 Desativação da jazida</i>	<i>42</i>
2.6 Reaproveitamento do gesso.....	42
3 MATERIAIS E MÉTODOS	46
3.1 Uso do software SimaPro®	46
3.2 Definição do objetivo e do escopo da ACV	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Análise do inventário do ciclo de vida	51
<i>4.1.1 Inventário de consumo de matéria-prima da produção do bloco de gesso</i>	<i>51</i>
<i>4.1.2 Inventário de emissões para o ar da produção do bloco de gesso</i>	<i>55</i>
<i>4.1.3 Inventário de emissões para a água da produção do bloco de gesso</i>	<i>59</i>
<i>4.1.4 Inventário de resíduos da produção do bloco de gesso</i>	<i>64</i>
4.2 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)	69
<i>4.2.1 Comparação dos resultados do AICV para os diferentes destinos de resíduos</i>	<i>70</i>
5 CONCLUSÕES	76
REFERÊNCIAS	77

Apresentação

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da Humanidade, o Homem sempre utilizou os recursos que a natureza lhe oferecia para sua sobrevivência, obtendo meios de se alimentar, construir abrigos e, posteriormente, de desenvolver todas as atividades de produção humana. Para tudo o que se deseja produzir é necessário a obtenção de matéria-prima. Porém, durante décadas a natureza foi utilizada não somente como fornecedora desses recursos, mas, também, como destino final dos rejeitos dessas atividades, sem considerar sua capacidade de suportar essa prática.

Da necessidade de transformar o meio ambiente e adaptá-lo a condições favoráveis ao seu desenvolvimento, o Homem busca produzir materiais utilizados nesses processos, a fim de empregá-los em diversas atividades modificadoras do espaço. De acordo com Agopyan; John; Goldemberg (2011) "a cadeia produtiva da Construção Civil é responsável pela transformação do ambiente natural no ambiente construído, que precisa ser permanentemente atualizado e mantido," o que demanda, cada vez mais, a produção contínua de materiais.

O impacto ambiental das atividades realizadas na Construção Civil depende de toda uma cadeia produtiva: extração de matérias-primas; produção e transporte de materiais e componentes; concepção e projetos; execução (construção); práticas de uso e manutenção; e, ao final da vida útil, a demolição/desmontagem, além da destinação de resíduos gerados ao longo da vida útil (AGOPYAN; JOHN; GOLDEMBERG, 2011).

A extração mineral é uma atividade humana que intervém nos sistemas naturais durante o desenvolvimento. Até pouco tempo, tais intervenções eram em pequena escala e tinham impacto limitado. Hoje, seu impacto é mais drástico, sua escala maior, e por isso elas ameaçam mais os sistemas que sustentam a vida, tanto em nível local quanto global (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988).

Os recursos minerais são bens não renováveis e o seu uso reduz a quantidade de que disporão as futuras gerações. Isto não quer dizer que esses recursos não devem ser usados, mas os níveis de uso devem levar em conta a disponibilidade do recurso, de tecnologias que minimizem seu esgotamento, e a probabilidade de se obterem substitutos para eles (COMISSÃO..., 1988).

O gesso, um dos materiais de grande uso no setor da construção civil, devido a sua praticidade, é um recurso natural não renovável e um dos mais antigos materiais de construção

fabricados pelo homem. Sua mineração é responsável por causar grandes impactos no meio ambiente e seu uso de gerar enormes desperdícios.

Para o presente estudo propõe-se uma avaliação do ciclo de vida da cadeia produtiva do bloco de gesso, baseado na estrutura metodológica da série ISO 14.040, e na sua correspondente brasileira NBR ISO 14.040, utilizando-se para esta finalidade o software SimaPro®.

A Avaliação do Ciclo de Vida é um dos métodos utilizados para se determinar quais impactos ambientais decorrem dos aspectos ambientais do processo de produção em estudo, durante todo o seu ciclo de vida, analisando desde a extração da matéria-prima ao descarte dos resíduos e/ou posterior reciclagem. É realizada, também, uma comparação entre as duas opções de destino dos resíduos de gesso, aterro sanitário e reciclagem, e quais os impactos decorrentes de cada.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar os impactos ambientais do processo produtivo de fabricação do bloco de gesso utilizando a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida de produtos, o *software* SimaPro 8.0.3.14®.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar o inventário do ciclo de vida da produção do bloco de gesso;
- Avaliar o ciclo de vida do bloco de gesso em relação às categorias de impactos ambientais;
- Comparar o desempenho ambiental das duas opções de tratamento e disposição dos resíduos de gesso: aterro sanitário e reciclagem.

Apresentação

Neste capítulo é apresentada a revisão de literatura abordando os temas relacionados com a pesquisa, tais como: gestão ambiental, política ambiental, avaliação ambiental, avaliação do ciclo de vida e assuntos relacionados à mineração da gipsita, obtenção do gesso e fabricação dos blocos de gesso.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

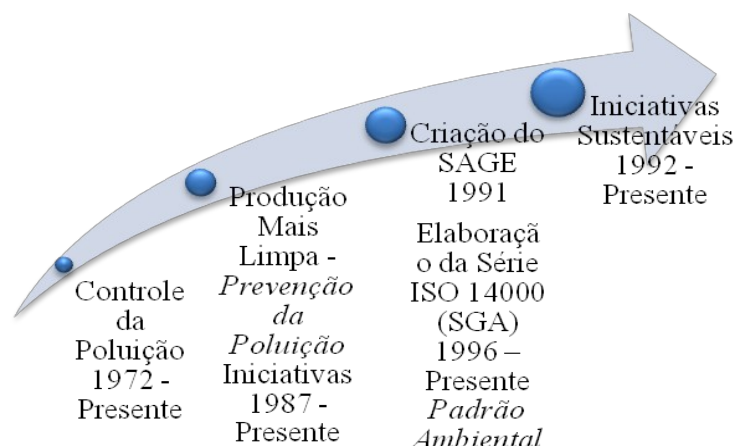
2.1 Gestão ambiental nas organizações

A escassez dos recursos ambientais frente à necessidade de desenvolvimento e manutenção da qualidade ambiental vem favorecendo, cada vez mais, o desenvolvimento da gestão ambiental em diversos setores de produção, adotada tanto por microempresas quanto multinacionais.

A gestão ambiental, objetiva, com um conjunto de procedimentos, a conciliação entre desenvolvimento e qualidade ambiental por meio do respeito à capacidade de suporte do meio ambiente e das necessidades identificadas pela sociedade civil ou pelo governo (situação mais comum) ou ainda por ambos (situação mais desejável) (SOUZA, 2000).

As técnicas utilizadas na gestão ambiental têm evoluído ao longo do tempo, como mostrado nos parágrafos a seguir e ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Evolução do Sistema de Gestão Ambiental de acordo com o desenvolvimento de metas e objetivos



Fonte: Adaptado de Khalili; Duecker (2013).

No início dos anos 70, o reconhecimento dos riscos sociais e financeiros associados à liberação descontrolada de emissões industriais e os danos ambientais decorrentes, gerou um manejo com o olhar voltado ao meio ambiente, desenvolvimento de programas ambientais, leis e regulamentos específicos, impondo controle e redução da poluição (KHALILI, 2011).

Em 1987, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, propôs o conceito de desenvolvimento sustentável, que em teoria significa o desenvolvimento capaz de satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Para proporcionar uma maneira prática de transformar o conceito de desenvolvimento sustentável em ação foi desenvolvida a Produção Mais Limpa, porém é uma estratégia preventiva e não uma abordagem curativa ou reativa para resolver o problema da poluição global (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP/SWEDISH INTERNATIONAL DEVELOPMENT COOPERATION AGENCY - SIDA, 2006).

A Produção Mais Limpa não é um conceito novo, é uma extensão lógica do desejo de poupar material e reduzir os desperdícios. Isso exige a análise das formas que resultem em um aumento de produtividade, redução de insumos de recursos e resíduos e, o mais importante, a redução do risco para o meio ambiente. Esta técnica não é apenas uma iniciativa ambiental; oferece, também, suporte a outros programas e estratégias orientadas para a produtividade (UNEP/SIDA, 2006).

No início dos anos 90 começou-se a inclusão de critérios econômicos e sociais, bem como o envolvimento dos vários *stakeholders* (partes interessadas) no planejamento estratégico para a proteção ambiental o que resultou no desenvolvimento de programas de gestão ambiental mais proativos, visando garantir sustentabilidade ambiental e econômica e surgimento de programas de voluntariado e de mercado (KHALILI; DUECKER, 2013).

Em 1991, a *International Organization for Standardization* (ISO) criou um Grupo Assessor Estratégico sobre Meio Ambiente (*Strategic Advisory Group on Environment – SAGE*) para analisar a necessidade de desenvolvimento de normas internacionais na área do meio ambiente. Em março de 1993, a ISO estabeleceu um comitê específico, o Comitê Técnico 207 (TC 207), para tratar das questões ambientais. As primeiras normas sobre gestão ambiental foram elaboradas em 1996 e denominadas ISO 14.001 e 14.004, ambas sobre Sistema de Gestão Ambiental (LEMOS, 2014; PERES *et al.*, 2010). “As normas de gestão ambiental têm por objetivo prover as organizações de elementos de um sistema da gestão ambiental (SGA) eficaz que possam ser integrados a outros requisitos da gestão, e auxiliá-las a alcançar seus objetivos ambientais e econômicos.” (ABNT NBR ISO 14001, 2004)

Outras estratégias e diretrizes ambientais foram propostas pela Comissão Europeia, Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), outras normas ISO (ou seja, ISO 26000 – Responsabilidade Social), *Triple Bottom Line* (TBL) ou tripé da sustentabilidade, a *Global Reporting Initiative* (GRI) e as orientações da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) para as empresas multinacionais (KHALILI; DUECKER, 2013).

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas, criou, em abril de 1999, o Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental – ABNT/CB-38, para participar da discussão e desenvolvimento das normas ISO 14000 a nível internacional e na tradução e publicação das normas brasileiras correspondentes. A ABNT publicou, em 1996, a tradução das normas de sistemas de gestão ambiental, denominadas NBR ISO 14001 e NBR ISO 14004. (LE MOS, 2014). As normas citadas acima passaram por revisões técnicas nos anos de 2004 e 2005, respectivamente, e foram novamente publicadas, passando valer as versões atualizadas.

De acordo com ABNT (2004) “as normas de gestão ambiental têm por objetivo prover as organizações de elementos de um sistema da gestão ambiental (SGA) eficaz que possam ser integrados a outros requisitos da gestão, e auxiliá-las a alcançar seus objetivos ambientais e econômicos.” Tais normas seguem o modelo de gestão Planejar-Executar-Verificar-Agir (*Plan-Do-Check-Act* – PDCA).

Um sistema de gestão ambiental é melhor visualizado como uma estrutura organizacional, devendo ser continuamente monitorada e periodicamente analisada, de maneira a prover orientação efetiva para a gestão ambiental de uma organização, em resposta a fatores de mudanças internos e externos (ABNT, 2005).

O desempenho ambiental de uma organização tem importância para suas partes interessadas, internas e externas. Atingir um sólido desempenho ambiental requer um comprometimento organizacional com uma abordagem sistemática e com a melhoria contínua de um Sistema de Gestão Ambiental (ABNT, 2005).

Na gestão do meio ambiente deve-se levar em conta a interação simultânea de um grande número de variáveis. Portanto, para gerenciar as atividades humanas sob o prisma da questão ambiental, não se pode perder a visão do todo, a integração entre as partes e o que a ação ou a atividade representa na globalidade da questão ambiental (SOUZA, 2000).

Essa abordagem sistêmica do meio ambiente, por meio da gestão ambiental, propicia a criação de canais de comunicação nos quais os fatores ambientais são identificados, analisados e ponderados, observando-se todas as áreas do conhecimento e permitindo, assim,

a compreensão global dos problemas e a aplicação de soluções ambientalmente mais adequadas (SOUZA, 2000).

Segundo Ometto (2000) “um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) fornece ordenação e dados para uma organização equacionar suas questões ambientais, por meio da alocação de recursos, atribuição de responsabilidades e avaliação em base contínua, das práticas, procedimentos e processos”.

Um Plano de Gestão Ambiental define o processo gerencial a ser adotado para a boa execução de um conjunto de ações destinadas, basicamente, a evitar ou a mitigar as consequências dos impactos provocados por atividades antrópicas buscando soluções para os processos de degradação ambiental que possam ser deflagrados. O planejamento insere-se, pois, no Sistema de Gestão, uma vez que estrutura as diretrizes a serem seguidas pelos planos de ação e pela própria gestão ambiental (CHARLIER; JÚNIOR, 2004).

Souza (2000) recomenda que para alcançar a gestão ambiental, é necessária a realização de algumas atividades, tais como: a caracterização ambiental e da atividade; realização de uma análise ambiental; estudo e adoção de ações mitigadoras, e proposição, instalação e operação de uma rede de monitoramento.

A caracterização ambiental tem por objetivo determinar a capacidade e suscetibilidade natural dos fatores ambientais, os quais podem ser subdivididos em meios físicos, biológico e antrópico. A caracterização ambiental e da atividade permite a análise de um ponto essencial no estudo de viabilidade ambiental: o binômio tipologia-localização. A partir da definição da tipologia e do estudo de localização que se avalia a viabilidade ambiental da atividade, por meio da análise ambiental, etapa essencial do sistema de gestão, pois é no momento dessa análise que os fatores ambientais são contemplados ante as prováveis pressões ou impactos decorrentes das diferentes etapas das atividades em questão (projeto, implantação, operação e desativação). Com o resultado da análise de impacto ambiental e da identificação de fatores que prejudiquem a qualidade ambiental desejada, são propostos programas e ações que visam minimizar os impactos adversos identificados, por meio de ações mitigadoras, ou estratégias de ação que irão interferir nas atividades utilizando tecnologias apropriadas e de instrumentos de política ambiental (SOUZA, 2000).

Vale salientar que o gerenciamento ambiental será mais importante do que simplesmente implementar planos de controle ambiental e medidas mitigadoras, pois ele corresponde ao acompanhamento da evolução da implementação das medidas preconizadas, avaliando, periodicamente, seus efeitos/resultados e propondo, quando necessário, alterações, complementações e/ou novas ações e atividades aos planos originais (BIANCHI *et al.*, 2010).

Gestão ambiental é a forma pela qual a empresa se mobiliza, interna e externamente, na conquista da qualidade ambiental desejada. Sistema de gestão ambiental reduz os impactos de sua atuação sobre o meio ambiente e melhor o gerenciamento de riscos (ALMEIDA, 2002).

O maior objetivo da gestão ambiental é buscar a realização das necessidades humanas, considerando os potenciais e as restrições dos sistemas ambientais, como um instrumento para a sustentabilidade (OMETTO e TACHARD, 2008).

2.2 Política Nacional do Meio Ambiente

Por política ambiental pode-se entender o conjunto de práticas políticas, públicas ou privadas, que tenham como fundamento a preocupação em promover a conservação ambiental (SOUZA, 2000).

A formulação de uma política de meio ambiente para o Brasil foi uma decisão de governo, tomada no começo da década de 1970, como uma resposta a pressões vindas do exterior. A sociedade brasileira pouco foi ouvida. Além disso, bem ao estilo da época – e não apenas no Brasil –, a política ambiental instalada no país seguiu os padrões do comando-e-controle, sem qualquer possibilidade de espaço para a autorregulação (ALMEIDA, 2002).

A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), institui o Cadastro de Defesa Ambiental e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), seus fins e mecanismos de formação e aplicação, e dá outras providências. Essa é a mais relevante norma ambiental depois da Constituição Federal de 1988, pela qual foi recepcionada, visto que traçou toda a sistemática das políticas públicas brasileiras para o meio ambiente (FARIAS, 2006).

A criação do CONAMA representou significativo avanço das políticas públicas de meio ambiente, por prever a descentralização do gerenciamento ambiental e ampla participação do setor produtivo e da sociedade civil, e por ter editado importantes resoluções, tais como a 001/86 e a 237/97, que obrigam as atividades degradadoras do meio ambiente ao licenciamento ambiental e, no caso de significativo impacto, à elaboração de EIA/RIMA (VIANA, 2007).

A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à

proteção da dignidade da vida humana. Dentre os princípios que a norteiam, incluem-se: racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar; planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais; controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras; recuperação de áreas degradadas (BRASIL, 1981).

A Lei 6.938/81 foi de extrema importância para a implantação do gerenciamento ambiental no Brasil, pois apresentou uma visão sistêmica dos objetivos e instrumentos voltados para a melhoria da qualidade ambiental (BORGES, 2009). Em seu art. 9º, estabeleceu os instrumentos de gestão ambiental, no âmbito da Política Nacional do Meio Ambiente, que são citados a seguir:

- a) O estabelecimento de padrões de qualidade ambiental;
- b) O zoneamento ambiental (zoneamento ecológico econômico);
- c) A avaliação de impactos ambientais;
- d) O licenciamento e revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras;
- e) Os incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia, voltados para a melhoria da qualidade ambiental;
- f) A criação de espaços territoriais especialmente protegidos pelo Poder Público federal, estadual e municipal;
- g) O sistema nacional de informações sobre o meio ambiente;
- h) O Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumento de Defesa Ambiental;
- i) As penalidades disciplinares ou compensatórias ao não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção da degradação ambiental;
- j) A instituição do Relatório de Qualidade do Meio Ambiente, a ser divulgado anualmente pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA;
- k) A garantia da prestação de informações relativas ao Meio Ambiente, obrigando-se o Poder Público a produzi-las, quando inexistentes;
- l) O Cadastro Técnico Federal de atividades potencialmente poluidoras e/ou utilizadoras dos recursos ambientais;
- m) Instrumentos econômicos, como concessão florestal, servidão ambiental, seguro ambiental e outros.

Somente alguns desses instrumentos foram desenvolvidos em toda sua potencialidade (VIANA, 2007), dentre eles estão o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental; o estabelecimento de zoneamento ambiental; a avaliação de impactos ambientais; e o licenciamento ambiental, a saber:

- Os padrões de qualidade ambiental são instrumentos de controle de poluição de caráter preventivo. As normas estabelecidas pela legislação ambiental e pelos órgãos administrativos de meio ambiente se refere aos níveis permitidos de poluição do ar, da água,

do solo e dos ruídos. Estabelecem os valores máximos de poluentes permitidos (FARIAS, 2006).

- O zoneamento ecológico econômico, também chamado de zoneamento ambiental, regulamentado pelo Decreto Federal nº 4.297, de 10 de julho de 2002, em seu art. 2º é definido como um instrumento de organização do território a ser obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas, deve estabelecer medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população (BRASIL, 2002).

- A avaliação de impacto ambiental é um instrumento de defesa do meio ambiente, constituído por um conjunto de procedimentos técnicos e administrativos que visam à realização da análise sistemática dos impactos ambientais da instalação ou operação de uma atividade e suas diversas alternativas, com a finalidade de embasar as decisões quanto ao seu licenciamento. Com esse instrumento pode-se apontar a viabilidade ambiental da atividade ou não, visando a aumentar os impactos positivos e a diminuir os impactos negativos (FARIAS, 2006).

O licenciamento ambiental é um procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente, estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental (BRASIL, 1997).

A criação da Lei 6.938/81 foi fundamental para a introdução do gerenciamento ambiental no Brasil, que até então possuía leis federais e estaduais esparsas, que tratavam isoladamente de temas como as florestas e os recursos hídricos, ou davam suporte ao surgimento de estruturas voltadas para o controle das fontes de poluição, em especial nas chamadas zonas críticas. Não havia uma visão sistêmica, nem existiam princípios, objetivos e instrumentos que formalizassem uma política pública voltada para a melhoria da qualidade ambiental (VIANA, 2007).

Após a criação da Lei 6.938/81, o Decreto Federal nº 97.632, de 10 de abril de 1989, veio regulamentar e aperfeiçoar a referida Lei, exigindo aos mineradores que “os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental – EIA e do Relatório de Impacto Ambiental –

RIMA, submeter à aprovação do órgão ambiental competente, plano de recuperação de área degradada” (BRASIL, 1989).

Vale ressaltar, que a PNMA apresenta, em seu Anexo VIII (incluído pela Lei nº 10.165, de 27/12/2000), um quadro com as atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos ambientais e classifica o gesso como uma atividade pertencente à categoria de “Indústria de Produtos Minerais Não Metálicos”, com o potencial de poluição (PP) e grau de utilização (GU) classificado como “Médio”.

2.2.1 Avaliação de Impacto Ambiental

O termo avaliação de impacto ambiental (AIA) começou a ser utilizado a partir da legislação pioneira que criou esse instrumento de planejamento ambiental, *National Environmental Policy Act* (NEPA), a lei da polícia nacional do meio ambiente dos Estados Unidos, que foi aprovada pelo Congresso em 1969, entrou em vigor em 1º de janeiro de 1970 e transformou-se em um modelo de legislações similares em todo o mundo. Essa lei exige a preparação de uma declaração detalhada sobre o impacto ambiental de iniciativas do governo federal americano (SÁNCHEZ, 2008).

A Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) foi implantada no Brasil, principalmente, por exigência dos organismos multilaterais de financiamento (Banco Interamericano de Desenvolvimento - BID e Banco Mundial - BIRD), diferentemente dos países desenvolvidos, que a implantou em resposta a pressões sociais e ao avanço da consciência ambientalista. Essas exigências ocorreram tanto em função das repercussões internacionais dos impactos ambientais causados pelos grandes projetos de desenvolvimento implantados na década de 70, como dos desdobramentos da Conferência de Estocolmo, em 1972, que recomendou aos países, de um modo geral, a inclusão da AIA no processo de planejamento e decisão de planos, programas e projetos de desenvolvimento. Alguns projetos desenvolvidos no final da década de 70 e início dos anos 80 e financiados pelo BIRD e pelo BID foram submetidos a estudos ambientais. No entanto, os estudos foram realizados segundo as normas das agências internacionais, já que o Brasil ainda não dispunha de normas ambientais próprias. A partir de então, foram surgindo outras experiências e a Avaliação de Impacto Ambiental foi aos poucos ganhando conteúdo legal e administrativo, até culminar com a aprovação da Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986 (STROH *et al.*, 1995).

A Resolução CONAMA nº 01/86 dispõe sobre a regulamentação, definições, critérios e diretrizes gerais para de uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Foi a partir da publicação dessa Resolução que começaram efetivamente a ser realizados estudos de impacto ambiental no Brasil (BRASIL, 1986; SÁNCHEZ, 2008). Em seu art. 2º elenca uma série de atividades modificadoras do meio ambiente cujo licenciamento dependerá da elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). No escopo da Resolução CONAMA nº 01/86 preceitua que as atividades de mineração são obrigadas ao processo de licenciamento ambiental, sendo imprescindível apresentação do EIA e respectivo RIMA ao órgão ambiental licenciador competente, cabendo a esse analisá-lo e aprová-lo (BORGES, 2009).

Sánchez (2008) afirma que a “incorporação da AIA na legislação brasileira foi confirmada e fortalecida com o art. 225 da Constituição Federal de 1988”, apresentado a seguir:

Art. 225 – Todos têm o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º - Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

[...]

IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade.

O processo de avaliação de impacto ambiental no Brasil é vinculado ao licenciamento ambiental – que começou em alguns estados em meados da década de 1970, e em seguida foi incorporado à legislação federal como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente – é uma obrigação legal prévia à construção, instalação, ampliação e funcionamento de qualquer empreendimento ou atividade utilizadora de recursos ambientais, considerado efetiva ou potencialmente poluidor ou degradador do meio ambiente e possui como uma de suas mais expressivas características a participação social na tomada de decisão, por meio da realização de Audiências Públicas como parte do processo (BRASIL, 1981; SÁNCHEZ, 2008; INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2014).

O licenciamento ambiental é de competência estadual – Órgãos Estaduais de Meio Ambiente – e compartilhada com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), como partes integrantes do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA). O IBAMA atua, principalmente, no licenciamento de grandes projetos de infraestrutura que envolva impactos em mais de um estado e nas atividades do setor de petróleo e gás na plataforma continental (INSTITUTO..., 2014).

As principais diretrizes para a execução do licenciamento ambiental estão expressas na Lei nº 6.938/81 e nas Resoluções CONAMA nº 001/86 e nº 237/97. Além destas, recentemente foi publicado a Lei Complementar nº 140/2011, que discorre sobre a competência estadual e federal para o licenciamento, tendo como fundamento a localização do empreendimento (INSTITUTO..., 2014).

Devido à sua regulamentação, o processo de AIA no País passou a ser conduzido, essencialmente, pelos órgãos estaduais de meio ambiente. Diante da necessidade de emitir licenças ambientais, estabelecidas pela lei federal, muitos estados tiveram que criar estruturas administrativas para receber e analisar os pedidos, em meados de 1980, uma vez que a maioria ainda não dispunha de instituições com essa finalidade (SÁNCHEZ, 2008).

No Ceará, o órgão responsável pelo licenciamento ambiental é a Superintendência Estadual do Meio Ambiente – SEMACE, criada a partir da extinção da Superintendência do Desenvolvimento do Estado do Ceará – SUDEC, onde a mesma mantinha dentro da estrutura do Governo do Estado, uma posição de destaque no que se refere a sua atuação na área de pesquisa, desenvolvimento regional, elaboração de projetos, cartografia, pedologia, recursos naturais, etc. (SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2014).

A SEMACE foi criada através da Lei Estadual nº 11.411 (DOE – 04/01/88), de 28 de dezembro de 1988, que foi alterada pela Lei nº 12.274 (DOE – 08/04/94), de 05 de abril de 1994. É uma instituição pública, vinculada ao Conselho de Políticas e Gestão do Meio Ambiente (CONPAM), que tem a responsabilidade de executar a Política Ambiental do Estado do Ceará. Integra, como órgão Seccional, o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA). Para a finalidade de licenciamento ambiental possui a Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA) nº 04, de 12 de abril de 2012. Esta Resolução atualizou os critérios, parâmetros e custos aplicados no processo de licenciamento ambiental e aprimorou as Resoluções nº 08 (2004), nº 020 (1998) e nº 027 (2011), com a finalidade de otimizar a operacionalização dos procedimentos do licenciamento ambiental no Estado do Ceará (GALENO, 2012; SUPERINTENDÊNCIA..., 2014).

Para o entendimento de avaliação de impacto, faz-se necessário, de modo preliminar, apresentar a definição sobre meio ambiente, aspecto ambiental e impacto ambiental.

O conceito de “ambiente” em Avaliação de Impacto evoluiu de um foco inicial nos componentes biofísicos para uma definição ampla, incluindo os componentes físico-químicos, biológicos, visuais, culturais e socioeconômicos do ambiente global (INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR IMPACT ASSESSMENT – IAIA, 2014).

A Resolução CONAMA nº 306, de 5 de julho de 2002, define o termo meio ambiente como “o conjunto de condições, leis, influência e interações de ordem física, química, biológica, social, cultural e urbanística, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas (BRASIL, 2002). Outra definição de meio ambiente é dada pela norma NBR ISO 14001:2004 (versão oficial brasileira da norma internacional): “circunvizinhança (que estende-se do interior de uma organização para o sistema global) em que uma organização opera, incluindo-se ar, água, solo, recursos naturais, flora, fauna, seres humanos e suas inter-relações.” (ABNT, 2004)

A norma ISO 14.001 introduziu o termo aspecto ambiental, antes desconhecido por profissionais envolvidos em avaliação de impacto ambiental. Posterior a norma, passou lentamente a ser incorporado ao vocabulário de profissionais da indústria e de consultores, e chegou também a órgãos governamentais (SÁNCHEZ, 2008). A NBR ISO 14.001:2004 assim define aspecto ambiental: “elemento das atividades, produtos e serviços de uma organização que podem interagir com o meio ambiente”.

Aspecto ambiental pode ser entendido como o mecanismo por meio do qual uma ação humana causa um impacto ambiental. Uma mesma ação pode levar a vários aspectos ambientais e, causar diversos impactos ambientais. Da mesma forma, um determinado impacto ambiental pode ter várias causas (SÁNCHEZ, 2008), como buscou mostrar a Figura 2.

Figura 2 – Relação entre ações humanas, aspectos e impactos ambientais.



Fonte: Sánchez (2008).

A definição de impactos ambientais está presente na resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986, em seu art. 1º, como sendo qualquer alteração das propriedades

físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- a) a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) as atividades sociais e econômicas;
- c) a biota;
- d) as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- e) a qualidade dos recursos ambientais.

A *International Association for Impact Assessment* (IAIA), principal organização internacional desenvolvedora da avaliação de impacto ambiental, desempenha um papel proativo e de liderança na melhoria e na disseminação dos conceitos e das práticas da AIA. A IAIA define a metodologia de avaliação ambiental como sendo “o processo de identificação, previsão, avaliação e mitigação dos efeitos relevantes – biofísicos, sociais e outros – de propostas de desenvolvimento antes de decisões fundamentais serem tomadas e de compromissos serem assumidos.” (INTERNATIONAL..., 2014).

Segundo Sánchez (2008) “a finalidade da avaliação de impacto ambiental (AIA) é considerar os impactos ambientais antes de se tomar qualquer decisão que possa acarretar significativa degradação da qualidade do meio ambiente.”

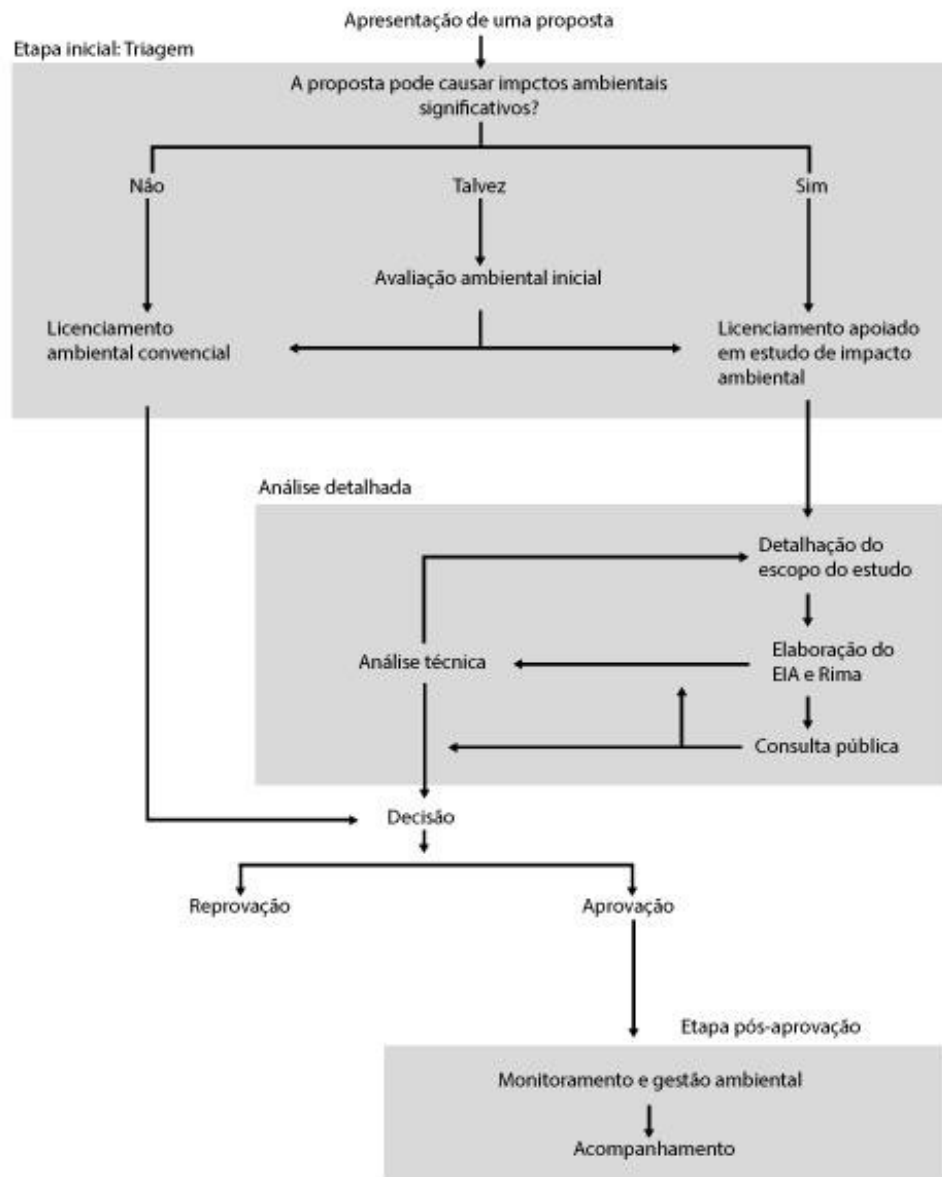
De acordo com Ometto (2000) “a avaliação de impacto ambiental deve identificar e analisar os impactos decorrentes qualitativamente e, se possível, medir quantitativamente o grau e extensão do dano de determinada política, plano, programa, atividade ou ação humana para o meio na qual irá se inserir.”

A IAIA também define os objetivos da AIA:

- Assegurar que o ambiente seja explicitamente considerado e incorporado no processo de decisão sobre propostas de desenvolvimento;
- Antecipar e evitar, minimizar ou compensar os efeitos adversos significativos – biofísicos, sociais e outros relevantes – de propostas de desenvolvimento;
- Proteger a produtividade e a capacidade dos sistemas naturais e dos processos ecológicos de manterem as suas funções; e
- Promover um desenvolvimento que seja sustentável e que otimize o uso dos recursos e as oportunidades de gestão.

Para a AIA atender seus objetivos e funções, a execução dos estudos para uma avaliação de impacto ambiental se desenvolve, de modo geral, seguindo três etapas apresentadas na Figura 3, a seguir, cada uma delas agrupando diferentes atividades: (i) a etapa inicial: triagem, (ii) a etapa de análise detalhada e (iii) a etapa pós-aprovação, no caso da decisão ter sido favorável à implantação do empreendimento.

Figura 3 – Processo de avaliação de impacto ambiental



Fonte: Sánchez (2008).

As etapas iniciais têm a função de determinar se é necessário avaliar de maneira detalhada os impactos ambientais de uma futura ação e, em caso positivo, definir o alcance e a profundidade dos estudos necessários. De acordo com a legislação ambiental brasileira, uma série de empreendimentos estão sujeitos ao licenciamento ambiental, mas alguns não precisam da preparação prévia de um estudo de impacto ambiental. De acordo com o regime de licenciamento, as atividades que utilizam recursos ambientais ou que cause degradação da qualidade ambiental, devem obter previamente uma licença, com órgão ambiental

responsável, sem a qual não podem ser construídas, instaladas ou entrarem em funcionamento. Em alguns casos, quando houver o potencial de ocorrência de impactos significativos, a autoridade governamental exigirá a apresentação de um estudo de impacto ambiental (PIMENTEL; PIRES, 1992; SÁNCHEZ, 2008).

O procedimento de análise detalhada é aplicado somente aos casos de atividades que tenham o potencial de causar impactos significativos, sendo composta de uma série de atividades, que vão desde a definição do conteúdo preciso do estudo de impacto ambiental até sua eventual aprovação, por meio de um processo decisório próprio a cada jurisdição (SÁNCHEZ, 2008).

Na última etapa, caso o empreendimento seja implantado, a avaliação de impacto ambiental continua por meio da aplicação das medidas de gestão preconizadas no estudo de impacto ambiental e do monitoramento dos impactos reais causados pela atividade por meio de comparação entre a situação posterior à implantação do empreendimento com a situação anterior. Um bom estudo de impacto ambiental fornecerá elementos e informações que auxiliará a gestão ambiental do empreendimento, principalmente se for adotado um sistema de gestão ambiental de acordo com as normas ISO 14.001 (SÁNCHEZ, 2008).

A elaboração de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) é a atividade central do processo de avaliação de impacto ambiental, a que normalmente consome mais tempo e recursos e estabelece as bases para a análise da viabilidade ambiental do empreendimento. O referido estudo deve ser preparado por uma equipe multidisciplinar capacitada, visando determinar a extensão e a intensidade dos impactos ambientais que poderá causar e, se necessário, propor modificações do projeto, de forma a minimizar ou, se possível, eliminar os impactos negativos. Os relatórios que descrevem os resultados desses estudos são bastante técnicos. No Brasil, a regulamentação torna obrigatória a preparação de um resumo escrito em linguagem simplificada e destinado a comunicar as principais características do empreendimento e seus impactos a todos os interessados (SÁNCHEZ, 2008).

O art. 5º, da Resolução CONAMA nº 01/86, apresenta as seguintes diretrizes para a elaboração de um Estudo de Impacto Ambiental:

- I. contemplar todas as alternativas tecnológicas e de localização do projeto, confrontando-as com a hipótese de não execução do projeto;
- II. identificar e avaliar sistematicamente os impactos ambientais gerados nas fases de implantação e operação da atividade;
- III. definir os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetados pelos impactos, denominada área de influência do projeto, considerando, em todos os casos, a bacia hidrográfica na qual se localiza;
- IV. considerar os planos e programas governamentais propostos e em implantação na área de influência do projeto, e sua compatibilidade.

Ainda citando a Resolução CONAMA nº 01/86, esta, em seu art. 6º, apresenta as atividades técnicas a serem contempladas no procedimento de um Estudo de Impacto Ambiental, que são descritas a seguir:

- I. diagnóstico ambiental da área de influência do projeto, completa descrição e análise dos recursos ambientais e suas interações, tal como existem, de modo a caracterizar a situação ambiental da área, antes da implantação do projeto, considerando:
 - a) o meio físico - o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas;
 - b) o meio biológico e os ecossistemas naturais - a fauna e a flora, destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente;
 - c) o meio socioeconômico - o uso e a ocupação do solo, os usos da água e a socioeconomia, destacando os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos.
- II. análises de impactos ambientais do projeto e de suas alternativas, através de identificação, previsão da magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando: os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazos, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade, suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a distribuição dos ônus e benefícios sociais;
- III. definição das medidas mitigadoras dos impactos negativos, entre elas os equipamentos de controle e sistemas de tratamento de despejos, avaliando a eficiência de cada uma delas;
- IV. elaboração do programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos positivos e negativos, indicando os fatores e parâmetros a serem considerados.

No Parágrafo único, do artigo referido acima, a Resolução CONAMA nº 01/86, estabelece que, “ao determinar a execução do estudo de impacto ambiental, o órgão estadual competente, ou o SEMA ou, quando couber, o Município fornecerá as instruções adicionais que se fizerem necessárias, pelas peculiaridades do projeto e características ambientais da área.” (BRASIL, 1986)

Os métodos e as técnicas de AIA são mecanismos estruturados para coletar, analisar, comparar e organizar informações e dados sobre impactos ambientais de uma proposta, incluindo os meios de comunicação para a apresentação escrita e visual dessas informações, envolvendo o tratamento do conjunto dos aspectos ambientais. Existem, também, as técnicas utilizadas na fase de predição para medir as condições futuras dos fatores e parâmetros ambientais específicos – modelos matemáticos, físicos, análises estatísticas, etc. Estes são instrumentos formais e predefinidos, especificamente relacionados com as diferentes disciplinas envolvidas no processo de avaliação, com o objetivo de determinar a magnitude dos impactos (MAGRINI, 1990 *apud* PIMENTEL; PIRES, 1992).

Desse modo, podem-se resumir esses métodos em: a) métodos para a fase de identificação e sumarização de impactos; b) métodos para a fase de avaliação. Dentre os métodos mais mencionados na literatura, fazem parte do primeiro grupo: métodos listagem de controle (*checklist*), *ad-hoc*, matrizes, redes, diagramas, métodos de superposição de cartas. Vale a pena mencionar alguns procedimentos que vêm sendo utilizados, como: *coping* e elaboração de cenários, que auxiliam na identificação *a priori* dos impactos e no estabelecimento da importância do impacto para evitar investigações inúteis, e que devem contar, necessariamente, com a participação do público (PIMENTEL; PIRES, 1992).

As tentativas iniciais de sistematizar a análise dos impactos ambientais levaram à criação do primeiro tipo básico de método de AIA, denominado listagem de controle (*checklist* em inglês). As primeiras listagens de controle apenas enumeravam os fatores ambientais e os respectivos indicadores de impacto. À medida que se aperfeiçoaram, surgiram listagens descritivas ou em forma de questionário, com informações sobre as técnicas de previsão de impacto que poderiam ser utilizadas. Criaram-se ainda listagens de controle que associavam aos fatores ambientais escalas de valor e índices de ponderação da importância dos impactos. Encontram-se também, na literatura técnica, listagens de controle elaboradas para certos tipos de projeto ou próprias a determinados sistemas ambientais. Considerado essencial para o primeiro passo dos estudos de AIA, esse tipo de método não atende às demais atividades, principalmente por não considerar as relações de causa e efeito entre as ações e os fatores ambientais (MOREIRA, 1985).

Os métodos *ad-hoc* são elaborados para cada projeto específico. Os impactos são identificados através de *brainstorming*, caracterizados e sumariados através de tabelas e matrizes (PIMENTEL; PIRES, 1992).

Para suprir a deficiência dos métodos citados acima, foram desenvolvidas as matrizes de interação, que dispõe as diversas ações referentes à proposta e os fatores ambientais, ao longo de seus eixos horizontal e vertical, as quadriculas definidas pela intercessão das linhas e colunas da matriz representam os impactos de cada ação sobre cada fator ambiental. Assim, pode-se identificar o conjunto de impactos gerados pela proposta, destacando-se os múltiplos efeitos de uma dada ação e a soma das causas que se combinam para afetar um determinado fator ambiental. As matrizes de interação funcionam como listagens de controle bidimensionais, e servem, antes de tudo, para identificar os impactos. Entre as mais utilizadas encontra-se a Matriz de Leopold, desenvolvida para o Serviço Geológico do Ministério do Interior dos Estados Unidos, que relaciona uma centena de ações do projeto a 88 fatores ambientais (do meio social e natural), contabilizando 8.800 possíveis

interseções. São associados aos impactos julgamentos de valor (magnitude e importância) numa escala de 0-10, identificando se são positivos (+) ou negativos (-) (PIMENTEL; PIRES, 1992).

As formas iniciais da matriz de interação desdobraram-se em outras mais avançadas. Cruzando-se os mesmos fatores ambientais, cria-se nova matriz que permite verificar as dependências diretas entre eles. Adotando-se escalas apropriadas, podem-se introduzir variáveis temporais ou graus de intensidade dos efeitos. Outros métodos utilizam técnicas de operação de matrizes ou cores para destacar a importância dos impactos. A aplicação deste tipo de método limita-se à fase de identificação dos efeitos diretos, não favorecendo a pesquisa dos impactos secundários e de suas interações, nem levando em conta os aspectos dinâmicos dos sistemas ambientais (MOREIRA, 1985).

A busca de meios para analisar os impactos secundários resultou na criação das redes de interação (*networks*, em inglês, *graphes d'effets*, em francês), que estabelecem a sequência dos impactos desencadeados por uma ação, através de gráficos ou diagramas, permitindo retrair, a partir de um impacto, o conjunto de ações que o causaram direta e indiretamente. A primeira rede de interação foi elaborada por Sorensen, em 1974, aplicada à resolução de conflitos de uso e controle de degradação ambiental em uma zona costeira. Paralelamente, utilizando o conceito de fluxo de energia em ecossistemas estudados por Odum, desenvolveu-se outro tipo de rede de interação que mostra os efeitos de ações externas nos fluxos energéticos de um sistema ambiental, denominado diagrama de sistema. As redes de interação, identificando as cadeias de impacto, são hábeis para a detecção de medidas mitigadoras, principalmente no que se refere à impactos em ecossistemas naturais. Entretanto, serve apenas para a identificação de impactos adversos, sendo ainda difícil sua associação a critérios de importância (MOREIRA, 1985).

Desenvolveu-se, paralelamente, outro tipo de rede de interação denominado diagrama de sistemas, que mostra os efeitos das ações externas nos fluxos de energia de um sistema ambiental, podendo-se, então, medir os impactos em termos de fixação e fluxo de energia entre os componentes do ecossistema. São considerados hábeis para a detecção de medidas mitigadoras, sendo, no entanto, difícil mensurar em unidades energéticas aspectos como ruído, fatores estéticos, sociais, culturais, etc. (PIMENTEL; PIRES, 1992).

Outro tipo de método, originalmente criado para estudos de planejamento urbano e regional, mas muito usado em AIA, é a superposição de cartas (*overlay mapping*, em inglês, *superposition cartographique*, em francês). Perfeitamente adaptável a diagnóstico e análise ambiental, consiste na confecção de uma série de cartas temáticas, uma para cada fator

ambiental, onde se representam os dados organizados em categorias. Essas cartas são superpostas para produzir a síntese da situação ambiental de uma área geográfica, podendo ser elaboradas de acordo com os conceitos de fragilidade ou potencialidade dos recursos ambientais, segundo se desejem obter cartas de restrição ou aptidão de uso. As cartas temáticas podem ser processadas em computador, caso o número de fatores ambientais considerados assim o determine. A superposição de cartas é útil para os estudos que envolvem alternativas de localização, conflitos de uso e outras questões de dimensão espacial, tendo sido muito utilizada para a AIA de projetos lineares, como estrada de rodagem, dutos e linhas de transmissão. Embora favoreça a representação visual, esse tipo de método omite os impactos cujos indicadores não possam ser espacializados, tendendo a resultado de natureza subjetiva. Porém, com a possibilidade de utilização de imagens de satélite toma-se um recurso valioso para esse tipo de método. Deve-se ainda mencionar outro tipo básico de método - modelo de simulação (MOREIRA, 1985; PIMENTEL; PIRES, 1992).

Os modelos de simulação constituem o último dos tipos básicos de método, tendo sido desenvolvidos no final da década de 70. São modelos matemáticos destinados a representar, tanto quanto possível, a estrutura e o funcionamento dos sistemas ambientais, explorando as complexas relações entre seus fatores físicos, biológicos e socioeconômicos, a partir de um conjunto de hipóteses ou pressupostos. Capazes de processar variáveis quantitativas e qualitativas, incorporar as medidas de magnitude e importância dos impactos e considerar as relações entre os fatores ambientais e as ações, os modelos de simulação foram utilizados, principalmente, para estudos de AIA de grandes projetos e programas de desenvolvimento (MOREIRA, 1985).

Em relação aos métodos citados acima, não existe grau de importância entre eles (excetuando-se o *ad-hoc* e as listagens de controle), devendo o método utilizado ser eficaz para avaliar os impactos ambientais da atividade em análise. Em alguns estudos, observa-se a tendência à adoção de métodos compostos, combinando-se dois ou mais dos tipos básicos acima descritos, adaptando-os às especificidades dos projetos e das áreas a serem afetadas. Na definição da abordagem a um problema determinado, e na consequente composição e escolha dos métodos de AIA e das técnicas de previsão, além das questões de custo, consideram-se importantes tanto a sistematização dos estudos quanto os meios de comparação dos impactos das alternativas e a boa apresentação dos resultados (MOREIRA, 1985; OMETTO, 2000).

Um impacto ambiental é sempre consequência de uma ação. Porém, nem todas as consequências de uma ação do Homem merecem ser consideradas como impactos ambientais. Os fatores que levam a qualificar um efeito ambiental como significativo são subjetivos,

envolvendo escolhas de natureza técnica, política ou social. De acordo com a legislação, as opções políticas, os interesses dos grupos sociais, ou mesmo a competência técnica, devem-se definir os componentes, fatores e parâmetros ambientais considerados relevantes (MOREIRA, 1985).

Os impactos ambientais possuem dois atributos principais: a magnitude e a importância. A magnitude é a grandeza de um impacto em termos absolutos, podendo ser definida como a medida da alteração no valor de um fator ou parâmetro ambiental, em termos quantitativos ou qualitativos. Para o cálculo da magnitude, devem-se considerar o grau de intensidade, a periodicidade e a amplitude temporal do impacto, conforme o caso. A importância é a ponderação do grau de significação de um impacto em relação ao fator ambiental afetado e a outros impactos. Pode ocorrer que um determinado impacto, embora de magnitude elevada, não seja importante quando comparado com outros, no contexto de uma dada AIA (MOREIRA, 1985).

As propriedades cumulativas e sinérgicas de algumas substâncias químicas levaram a que alguns autores incluíssem, entre as principais características dos impactos, a avaliação dos efeitos cumulativos e sinérgicos. A distribuição social dos impactos é outra característica a ser tomada em conta, uma vez que os impactos benéficos e adversos nunca são igualmente sentidos pelos diversos grupos sociais (MOREIRA, 1985).

Os métodos de AIA empregam uma ou outra forma de classificação dos elementos e fatores ambientais. Essa classificação, bem como a escolha das variáveis relevantes e dos indicadores de impacto, deve se conformar às peculiaridades dos sistemas ambientais afetados e aos impactos potenciais do projeto. Indicadores de impacto são os elementos ou parâmetros de uma variável que provêm à medida da magnitude de um impacto ambiental. Podem ser quantitativos quando representados por uma escala numérica, ou qualitativos quando classificados simplesmente em categorias ou níveis (MOREIRA, 1985).

Para identificar os impactos ambientais, deve-se conhecer suas causas ou ações tecnológicas. Por isso, antes da identificação propriamente dita dos impactos, é usual que seja elaborada uma lista das atividades que compõem o empreendimento. Tal lista deve ser detalhada, de maneira a mapear todas as possíveis causas de alterações ambientais. Todas as etapas do ciclo de vida de um empreendimento devem ser levadas em consideração, pois impactos significativos podem decorrer de ações realizadas em diferentes etapas (SÁNCHEZ, 2008).

2.2.1.2 Avaliação do Ciclo de Vida

A Avaliação do Ciclo de Vida pode ser entendida como uma técnica ou instrumento que possibilita a realização da avaliação dos impactos ambientais advindos da cadeia produtiva de uma atividade ou produto. Tal avaliação é aplicada nos processos desenvolvidos ao longo de todo o ciclo de vida desde a origem das matérias primas, a geração da energia utilizada em sua fabricação, no sistema de distribuição, consumo e destino final, ou seja, através da ACV são conhecidas todas as etapas do processo produtivo o que permite identificar qual delas gera impactos ambientais.

A importância da ACV reside, principalmente em desenvolver novas tecnologias que possibilitam a implementação de alternativas de produção que melhore o desempenho ambiental de produtos, serviços ou mesmo processos (COLTRO, 2007).

A preocupação em relação aos impactos ambientais gerados ao longo do ciclo de vida dos produtos, processos ou atividades emergem durante as décadas de 1960 e 1970 por ocasião da crise energética mundial provocada pelo que ficou conhecido como crise do petróleo.

De acordo com Coltro (2007, p. 07),

os primeiros estudos tinham por objetivo calcular o consumo de energia e, por isso, eram conhecidos como “análise de energia” [...]. Estes estudos envolviam a elaboração de um fluxograma de processo com balanço de massa e de energia. Logo, dados sobre consumo de matérias primas e de combustíveis e sobre os resíduos sólidos gerados eram contabilizados automaticamente.

Por terem surgido em um contexto de crise energética, após a superação da fase crítica do petróleo, os estudos de ACV enfraqueceram. Porém com o fortalecimento da preocupação ambiental tais pesquisas retornam a agenda de estudos relacionados à produção ambientalmente responsável. Nesse cenário de revalorização dessas pesquisas, são criadas, nos anos 1990, normatizações da metodologia de ACV, a exemplo da série normas ISO 14040.

A ACV apresenta uma estrutura metodológica normalizada internacionalmente pela ISO e, no Brasil, pela ABNT. Tais normas, ISO 14.040 e 14.044 e NBR ABNT 14.040, 14.044 e 14049, direcionam o estudo de ACV apresentando os princípios, estrutura, requisitos e orientações a serem seguidos em um estudo.

De acordo com a norma NBR ISO 14.040 a estrutura metodológica para o desenvolvimento de uma ACV compreende quatro fases:

Definição de objetivo e escopo: o objetivo deve ser definido de acordo com a aplicação pretendida e o escopo deve ser suficientemente bem definido para assegurar a abrangência, profundidade e detalhamento do estudo de forma que atenda ao objetivo declarado.

Nesta fase, define-se a finalidade da pesquisa e abrangência do estudo. Ao serem traçados os objetivos deve ser estabelecido também “o público-alvo a que os resultados se destinam” (KULAY e SEO, 2010), bem como limita-se “as fronteiras e a unidade funcional” (COLTRO, 2007) e a definição das categorias de impactos a serem analisados em cada etapa (ABNT NBR ISO 14040: 2006).

Ao estabelecer o escopo do estudo é importante considerar aspectos de caráter geográfico, temporal e tecnológico do sistema de produto, ou seja, a porção do espaço sobre a qual se dará a aplicação da metodologia – para efeito de refino das fronteiras e seleção de informações a serem utilizadas posteriormente no inventário (KULAY e SEO, 2010).

Análise de inventário de ciclo de vida (ICV): envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes de um sistema de produto. Esses dados envolvem a coleta de entradas de energia, matéria-prima, produtos, resíduos, emissões atmosféricas, descargas para a água e solo e outros aspectos ambientais.

A etapa seguinte corresponde ao levantamento das informações referentes ao inventário. O inventário corresponde à identificação de todos os aspectos ambientais identificáveis durante toda a etapa do processo produtivo. Tal processo é a fase da ACV onde é possível identificar e quantificar todas as entradas e saídas de matéria e energia que circulam no sistema de um produto, processo ou serviço ao longo do seu ciclo de vida (ABNT NBR ISO 14044:2009).

Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV): utiliza os resultados do ICV para estudar a significância dos impactos ambientais potenciais. De uma forma geral, associa os dados do inventário com as categorias de impactos específicas e indicadores de categoria. O nível de detalhamento, escolha dos impactos avaliados e metodologias utilizadas dependem do objetivo e escopo do estudo. Três elementos são obrigatórios para a AICV:

- Seleção de categorias de impacto;
- Correlação de resultados do ICV (classificação);
- Cálculo de resultados dos indicadores de categorias (caracterização).

Interpretação do ciclo de vida: é a fase da ACV em que as constatações da análise de inventário e da avaliação de impacto são consideradas em conjunto. Esta fase deve

fornecer resultados que sejam consistentes com o objetivo e escopo definidos, expor limitações, levar a conclusões e prover recomendações etc.

2.3 Gipsita

A gipsita é um cristal hidrato de sulfato de cálcio com uma média de duas moléculas de água por uma de sulfato de cálcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Este mineral, abundante na natureza, trata-se de um material pouco resistente que pode ser utilizado como fundente, fertilizante, corretivo de solos alcalinos, nos deficientes em enxofre e como carga na fabricação de papel e tecidos e também como matéria-prima para a composição do cimento Portland (LYRA SOBRINHO *et al.*, 2001; MAHONEY *et al.*, 2010; LUZ *et al.*, 2005).

A composição química teórica da gipsita é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química teórica do mineral gipsita

Composto	Composição (%)
CaO	32,5
SO ₃	46,6
H ₂ O	20,9

Fonte: Baltar; Bastos; Luz (2005).

O minério de gipsita se origina em bacias sedimentares, por evaporação da fase líquida. Trata-se, pois, conceitualmente, de um evaporito e constitui depósitos em forma de camadas, lentes e bolsões, intercalados em sequências sedimentares, cujas idades geológicas podem variar do Paleozoico ao Cenozoico (LYRA SOBRINHO *et al.*, 2001).

As jazidas de gipsita são abundantes na natureza estando presente em muitos países do mundo, as quais são existentes em grande quantidade na maior parte dos países produtores, no entanto boa parte dos dados sobre reservas internacionais não está disponível (AMORIM NETO; DANTAS, 2013).

A produção mundial de gipsita em 2012 foi de 150 milhões de toneladas (Mt). Isto reflete uma pequena elevação em relação ao ano de 2011 (0,7%). A China é o país que mais produz gipsita (48 Mt), representando 32,0% de toda a produção de 2012. O Brasil é o maior produtor da América do Sul com aproximadamente 3,7 Mt, valor que representa 2,5% do total mundial e o coloca no ranking dos dez maiores produtores de gipsita do mundo (AMORIM NETO; DANTAS, 2013). Esses valores são representados na Tabela 2.

Tabela 2 – Reserva e produção mundial da gipsita

Discriminação Países	Reservas (10 ³ t) 2012 ^(p)	Produção (10 ³ t)		
		2011 ^(r)	2012 ^(p)	(%)
Brasil	288.490	3.223	3.750	3
China	Nd	48.000	48.000	32
Irã	Nd	13.000	14.000	9,3
Espanha	Nd	11.500	11.500	7,7
Tailândia	Nd	9.900	10.000	6,7
Estados Unidos da América	700.000	8.900	9.900	7
Itália	Nd	4.130	4.100	2,7
México	Nd	3.840	3.850	2,6
Rússia	Nd	3.000	3.100	2,1
Austrália	Nd	3.500	3.000	2
Turquia	Nd	3.200	3.000	2
Índia	69.000	2.700	2.750	1,8
Arábia Saudita	Nd	2.100	2.300	1,5
França	Nd	2.300	2.300	1,5
Outros países	Nd	24.100	22.750	15,2
TOTAL	Nd	149.000	150.000	100

Legenda: (p) dado preliminar; (r); revisado; (nd) dado não disponível.

Fonte: DNPM/DIPLAM/AMB; USGS: Mineral Commodity Summaries (2013) *apud* AMORIM NETO; DANTAS (2013).

No território brasileiro os principais depósitos de gipsita ocorrem associados às bacias sedimentares conhecidas como Bacia Amazônica (Amazonas e Pará); Bacia do Meio Norte ou Bacia do Parnaíba (Maranhão e Tocantins); Bacia Potiguar (Rio Grande do Norte); Bacia Sedimentar do Araripe (Piauí, Ceará e Pernambuco); e Bacia do Recôncavo (Bahia) (LYRA SOBRINHO *et al.*, 2001). Entre estas, as jazidas que apresentam as melhores condições de aproveitamento econômico (relação estéril/minério e infraestrutura) estão contidas na Bacia Sedimentar do Araripe, na divisa dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, cuja mineração teve início desde a década de 1960. Neste ambiente geológico o mineral ocorre sob a forma de horizonte descontínuo, atingindo em alguns locais, cerca de 30 m de espessura (BEZERRA, 2009).

Em 2012 a produção brasileira de gipsita bruta alcançou 3.749.860 t, apresentando um expressivo crescimento da ordem de 16,3% em relação ao ano anterior. Pernambuco é o principal estado produtor de gipsita do Brasil, sendo responsável, em 2012, por 89,5% do total produzido. Neste estado destacam-se os municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri. Os demais estados produtores de gipsita são: Maranhão (6,8%), Ceará (2,0%) e Amazonas (1,7%) (AMORIM NETO; DANTAS, 2013).

O consumo aparente de gipsita em 2012 foi de aproximadamente 3,8 Mt, crescimento de 15% em relação a 2011. O consumo per capita anual de gesso no Brasil é de aproximadamente 19 kg, valor bem abaixo da média dos países industrializados (AMORIM NETO; DANTAS, 2013).

2.4 Gesso

Gesso é a denominação comercial atribuída ao pó de sulfato de cálcio hemihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), que possui, nas minas de depósitos naturais de gipsita, suas principais fontes de obtenção. A segunda maior fonte é fabricação de gesso sintético, geralmente a partir da lavagem de gases de enxofre de centrais elétricas alimentadas à carvão, denominado de gesso de dessulfuração de gases de combustão ou simplesmente gesso FGD (*flue gas desulphurization gypsum* ou *FGD gypsum*) (MAHONEY *et al.*, 2010; TROVÃO, 2012; MEGATECH INTERNATIONAL PRIVATE LIMITED, 2014).

A gipsita perde 3/4 da água de cristalização durante o processo de calcinação, convertendo-se ao sulfato hemidratado de cálcio, conhecido comercialmente como gesso, que, quando misturado com água, pode ser moldado e trabalhado antes de endurecer e adquirir a consistência mecânica da forma estável reidratada. O interesse pela gipsita é atribuído a uma característica peculiar que consiste na facilidade de desidratação e reidratação (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005; LYRA SOBRINHO *et al.*, 2001; MAHONEY *et al.*, 2010).

Aproximadamente 75% da produção mundial da gipsita é calcinada (aproximadamente a 160 °C), para a produção do gesso hemidratado, que forma com a água uma mistura de extrema plasticidade, usada em moldagem, fundição, cerâmica e pasta de dentes, além de servir de material de construção como estuque, cimento de Keene, telhas e blocos decorativos (LUZ *et al.*, 2005).

O gesso obtido pela calcinação, em sua maioria, é destinado ao emprego na construção civil, podendo ser utilizado como: gesso para fundição ou gesso para revestimento (BERNHOEFT, 2010).

O material destinado à fundição é utilizado na fabricação de pré-moldados como peças para decoração, placas para forro, blocos de gesso, *drywall* (chapas de gesso acartonado), entre outros. O gesso para revestimento é empregado para revestir paredes e tetos de ambientes internos e secos. Este material tem sido usado pelas construtoras como um material alternativo que não deixa a desejar em sua qualidade e baixo custo, uma vez que o revestimento em pasta de gesso pode substituir a camada de chapisco, a argamassa (emboço/massa única) e na etapa de preparação para pintura (nos casos de utilização desse sistema), a massa corrida (BERNHOEFT, 2010).

Devido a sua resistência ao fogo, o gesso também é empregado na confecção de portas “corta fogo” na vedação de lâmpadas, engrenagens e áreas na mineração de carvão onde há perigo de explosão de gases. Isolantes para cobertura de tubulações e caldeiras são confeccionados com uma mistura de gesso e amianto, enquanto isolantes acústicos são produzidos com a adição de material poroso ao gesso (LUZ *et al.*, 2005).

2.5 Cadeia produtiva do gesso

Para caracterização e descrição das atividades da cadeia produtiva do gesso, foram consideradas as fases de operação e desativação das jazidas. Dentro dessas fases existe um conjunto de atividades que, descritas em detalhes, fornecem uma visão geral dos problemas ambientais gerados por cada uma delas.

2.5.1 Fase de operação

2.5.1.1 Extração e preparação da gipsita

O processo de produção do gesso, a partir da utilização da gipsita natural, consta das etapas: (i) extração e preparação da gipsita (ii) calcinação; (iii) pulverização; (iv) ensilagem; e (v) acondicionamento (PINHEIRO, 2011).

O aproveitamento de um recurso mineral tem início com a pesquisa mineral, etapa que visa à determinação das reservas disponíveis para se aferir a viabilidade técnica e econômica do empreendimento e se requerer a concessão de lavra. Nesta fase são engendrados desmatamentos, escavações, abertura de vias de acesso, picadas, remoção da vegetação e do capeamento de solo e obras como cortes e aterros. Ainda nesta fase, é feita a instalação de equipamentos e a construção de prédios, criando-se a estrutura do

empreendimento para a realização da fase de operação, como desmonte, transporte e beneficiamento (ARAÚJO; MARTINS, 2013).

A primeira atividade do processo de produção é a lavra, que de acordo com o Código de Mineração, em seu art. 36, é definida como: “o conjunto de operações coordenadas objetivando o aproveitamento industrial da jazida, desde a extração de substâncias minerais úteis que contiver, até o beneficiamento das mesmas.”

No Brasil, o método de lavra empregado é a céu aberto, através de bancadas simples como apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Fotografia da frente de lavra de gipsita Mina Pedra Branca, em Santana do Cariri/CE



Fonte: Silva (2012).

Esse tipo de extração é recomendado para minerar corpos com dimensões horizontais que permitam altas taxas de produção e baixos custos unitários de produção. Inicia-se o processo de produção com a remoção do capeamento ou solo residual que cobre a rocha. Posterior à limpeza do terreno (remoção de vegetação e detritos), o material estéril é depositado em locais onde existem rochas inaproveitáveis, ou seja, nos “bota fora”. Na lavra da gipsita são empregados equipamentos como: rompedores hidráulicos, marteletes hidráulicos, *vagon drill*, tratores de esteira e pás mecânicas (Figura 5) (PERES *et al.*, 2001 *apud* BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005; ARAUJO NETO, 2006).

Figura 5 – Fotografia dos equipamentos utilizados na lavra da gipsita, em Santana do Cariri/CE



Fonte: Silva (2012).

Na mineradora de Morro Redondo, localizada no estado do Ceará, o método de lavra é a céu aberto em encosta, com desenvolvimento de bancadas de 4,5 a 5 metros de altura e talude de inclinação de 15°. A operação é mecanizada e a recuperação de lavra é de 90%. A relação estéril/minério é de 0,2:1. A espessura média do capeamento é de 1 m (BIANCHI *et al.*, 2010).

Em seguida vem a fase de perfuração da rocha. Estes furos são feitos por perfuratrizes de carreta e marteletes pneumáticos. A escolha do modo de perfuração depende da lavra e da produção da empresa (ARAÚJO NETO, 2006).

Após a perfuração vem o carregamento com explosivo e o desmonte da bancada, operação denominada de fogo primário. Esta operação é feita de acordo com um “Plano de fogo” previamente elaborado sob a supervisão de engenheiros com experiência em planejamento de lavra. A etapa consiste no carregamento dos furos com explosivos previamente selecionados e dentro de especificações técnicas condizentes com o melhor desempenho e segurança. Carregados, os furos são ligados por cordéis detonantes e ou acessórios de iniciação pontual e, posteriormente iniciados e detonados (NETO, 2006).

Como a gipsita absorve a maior parte da força do explosivo dificultando o desmonte da rocha, se faz necessário que o diâmetro dos furos estejam entre 50 e 100 mm com pequenos espaçamentos, com a finalidade de adensar os explosivos à base de nitrato de amônia e óleo combustível na proporção de 1Kg/t de material desmontado facilitando o processo de desmonte (JORGENSEN, 1994 *apud* SEVERO, 2011).

No processo de preparação da matéria-prima, ou beneficiamento, para posteriormente ser submetida a calcinação, são realizadas as seguintes etapas: (i) britagem; (ii) moagem; e (iii) peneiramento, que constituem de processos mecânicos e físico-químicos.

A britagem consiste na fragmentação de blocos de minério (Figura 6) utilizando-se britadores de mandíbulas e rebritadores de martelo. Em alguns casos, a britagem é realizada em dois estágios, em circuito fechado com peneiras vibratórias a seco. O produto resultante das operações de cominuição deve apresentar uma distribuição granulométrica uniforme, a fim de evitar uma desidratação desigual para as partículas de gipsita (ABREU, 2005; BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

Dependendo do tipo de forno a ser utilizado, a gipsita britada pode ser moída em moinhos de martelo (ABREU, 2005).

De acordo com o processo, a gipsita moída é disposta em peneiras vibratórias e separadas em frações para usos específicos (ABREU, 2005).

Após a fase de preparação da matéria-prima o minério é transportado por caminhões às unidades de calcinação (SEVERO, 2011).

Figura 6 – Fotografia dos blocos de minérios de gipsita, em Santana do Cariri/CE



Fonte: Silva (2012).

- ***Calcinação***

O gesso é o resultado do processo de calcinação que é imposto à gipsita. A calcinação é a etapa mais importante do processo produtivo do gesso, exigindo condições termodinâmicas e cinéticas bem definidas para cada tipo de produto desejado. A gipsita, em sua forma natural ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), sulfato de cálcio dihidratado, normalmente está associada às impurezas como óxidos metálicos. Quando encontrado sob forma CaSO_4 simplesmente,

também conhecida como anidrita natural, não tem muito valor industrial, uma vez que sua estrutura é estável e não susceptível à decomposição térmica (RIBEIRO, 2006).

Na calcinação ocorre a desidratação do minério, na qual a gipsita se transforma em gesso, pela ação do calor ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$). Esta etapa pode ser realizada a pressão atmosférica normal (forno de panela, marmita ou rotativos), para a produção do gesso beta, ou em autoclaves sob pressão, maior que a atmosférica, para a obtenção do gesso alfa. Há a liberação de vapor de água neste processo (ABREU, 2005; PINHEIRO, 2011).

Segundo Canut (2006) a calcinação pode ser elaborada em temperaturas distintas conforme o produto almejado (Quadro 1). Dependendo da temperatura e das condições em que foi realizada a calcinação, será gerado o gesso estuque, o gesso para reboco ou o gesso de alta resistência. O gesso estuque é obtido através do beneficiamento do gesso a temperaturas de 120°C a 180°C, sendo assim definido como um hemidrato ou anidrita III. Este é também chamado de gesso Paris e é muito aplicado na construção civil, sobretudo para fabricação de artefatos de gesso.

Quadro 1 – Sistema cristalino da gipsita de acordo com seu beneficiamento e temperatura de calcinação

Fórmula	Temperatura de calcinação	Sistema cristalino	Mineral
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0°C	Monoclínico	Gipsita
$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	140°C - 160°C	Hexagonal	Hemidrato
$\text{CaSO}_4 \cdot \epsilon\text{H}_2\text{O}^{(1)}$	160°C - 250°C	Hexagonal	Anidrita III
CaSO_4	250°C – 800°C	Ortorrômbica	Anidrita II
CaSO_4	> 800°C	Cúbica	Anidrita I

Legenda: (1) Sua fórmula $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ pode conter água de cristalização, embora em baixo teor, variável entre 0,06 e 0,11 moléculas de água.

Fonte: Canut (2006).

Alguns fornos são rotativos, favorecendo que o material seja misturado e se perca água na massa homogeneamente. Ainda existem algumas calcinadoras que utilizam o manuseio da farinha (gesso triturado) enquanto está sendo calcinada, quando são utilizados instrumentos como pás e enxadadas para isso. Tal fato gera problemas para o trabalhador que permanece próximo ao forno, exposto ao calor e ao pó, pois esses tipos de fornos, chamados de panelinhas, são abertos e nesses casos a poluição térmica e do ar é alta (ARAÚJO; MARTINS, 2013).

- ***Pulverização***

Após a calcinação, o gesso é moído em moinho de martelo, moagem fina, para obtenção de granulometria final especificada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ABREU, 2005).

- ***Ensilagem***

Em seguida, o gesso é armazenado em silos, com a finalidade de proporcionar a estabilização de seus constituintes (hemihidratos e anidritas), o que torna o material mais homogêneo e proporciona melhor qualidade ao gesso produzido (Figura 7) (PINHEIRO, 2011).

- ***Acondicionamento***

O gesso deve ser embalado em sacos de papel com várias folhas, suficientemente fortes para evitar rupturas durante seu manuseio, e com condições de que possam ser fechados logo após o enchimento. Os sacos de gesso devem ser armazenados em locais secos e protegidos, para preservação da qualidade. As pilhas devem ser colocados sobre estrados e não devem conter mais de 20 sacos superpostos. A armazenagem do gesso é muito importante, pois este pode absorver umidade e reverter à gipsita inicial; traços de gipsita no gesso aceleram a velocidade e aumentam a expansão no endurecimento (Figura 8) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994; ABREU, 2005).

O transporte do produto é realizado por caminhões dentro da área da empresa, da usina de beneficiamento para o estoque, dos silos aos pátios de estoque e etc. Quando há a comercialização do produto (gesso), o comprador se encarrega do transporte da carga, que é expedida no estoque ou pátio da empresa vendedora (ARAÚJO; MARTINS, 2013).

Figura 7 – Fotografia dos silos de estabilização, usina de fabricação de gesso, em Santana do Cariri/CE



Fonte: Silva (2012).

Figura 8 – Fotografia da armazenagem do gesso, usina de fabricação de gesso, em Santana do Cariri/CE



Fonte: Silva (2012).

2.5.1.2 Desativação da jazida

A desativação consiste na fase final do ciclo mineiro, quando se encerra as atividades no local lavrado e o devolve à sociedade para dele fazer outro tipo de uso. Essa fase está diretamente ligada à recuperação, restauração ou reabilitação da área degradada pela mineração ou ao abandono da lavra sem recuperação ambiental – ação esta praticada por várias empresas. Se não forem realizadas algumas medidas de recuperação ou de mitigação dos impactos, o sítio lavrado segue produzindo algum tipo de processo que interfere no meio ambiente, incluindo transtornos de ordem físico-ambiental e também ao homem. Do ponto de vista econômico, aconselha-se que a recuperação seja feita durante o avanço da frente de lavra. (ARAÚJO; MARTINS, 2013).

2.6 Reaproveitamento do gesso

Sabendo que, nos nossos dias, aproximadamente 10 % (em massa) de tudo o que é extraído do planeta pela indústria torna-se um produto útil e o restante pode ser considerado resíduo, torna-se urgente uma gestão sustentável dos recursos naturais existentes que nos leve a um consumo também sustentável (CAMÕES *et al.*, 2012).

Como alternativa para evitar o desperdício de matéria-prima e o esgotamento dos recursos ambientais não renováveis, emerge a importância dos processos de recuperação, isto é, de todos os processos industriais ou ações que visam a obter matérias-primas secundárias,

mediante reuso, reciclagem e transformação dos resíduos. Estas matérias-primas secundárias (MPS), ou seja, materiais de emprego tecnológico provenientes de reciclagem e recuperação podem ser inseridas nos ciclos de produção, como semimanufaturados substituindo materiais derivados de recursos extraídos do ambiente. Como consequência, minimiza-se a função do ambiente como depósito de resíduos, porque se reduzem os resíduos, e, ao mesmo tempo extraem-se menos recursos do ambiente, porque foram substituídos por aqueles extraídos dos resíduos (BERTOLINI, 2010).

O Quadro 2, a seguir, exemplifica os caminhos que permitem a um resíduo passar da condição de escoamento (inutilidade do resíduo) para a de valorização, que podem ser reduzidos a três âmbitos específicos: reuso, reciclagem e recuperação.

Quadro 2 – Os caminhos para a valorização dos resíduos.

CAMINHOS	OPÇÕES
Reuso: reemprego ou reutilização do produto	para a mesma função (exemplo: recipientes) para funções de menos demanda (exemplo: roupas)
Reciclagem: reciclagem ou reutilização do material	para a mesma aplicação (exemplos: metais, vidro, papel) para aplicações de menos demanda (exemplos: termoplásticos, madeira, vidro, papel)
Transformação: interferindo nos fluxos diferenciados, por meio da transformação do material, obtêm-se valorização sob forma de materiais e energia	separação e estabilização (CDR ¹ a partir de RSU ²) transformação térmica (combustão de CDR e plásticas) transformação química (composto) e biológica (biogás)
Escoamento: eliminação de fluxos residuais do circuito	Incineração pré-tratamento e descarga descarga

Legenda: 1: Combustíveis Derivados de Resíduos; 2: Resíduos Sólidos Urbanos.

Fonte: Bertolini (2010).

Na cadeia produtiva do gesso, as atividades desenvolvidas geram resíduos, cuja natureza e volume, além do impacto ambiental causado por eles, dependem dos processos de produção e gerenciamento em cada etapa (PINHEIRO, 2011).

Em uma construção ou reforma podem gerar de 10% a 12% de resíduo de gesso. Vale ressaltar que, os custos de destinação desses resíduos em aterros de disposição de resíduos sólidos estão aumentando. O gesso utilizado na construção civil também gera resíduos nas seguintes etapas: de revestimento manual; de execução de forro; de elementos de decoração (sanca, moldura e outros); de moldagem cerâmica e sanitária; e de demolição (SHARPE; CORK, 2006; RIBEIRO, 2006).

A Resolução CONAMA nº 307, 5 de julho de 2002 estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil, classificando os produtos oriundos do gesso, em seu Art. 3º, como resíduos Classe C, para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação (BRASIL, 2002). Porém, o artigo mencionado anteriormente foi modificado pela Resolução CONAMA nº 431, de 24 de maio de 2011 que alterou a classificação do resíduo de gesso, fazendo parte agora da Classe B, que são os resíduos recicláveis para outras destinações, juntamente com os plásticos, papel, papelão, metais, vidros e madeiras (BRASIL, 2011).

A reciclagem e o reaproveitamento de entulho, assim como a diminuição do desperdício de materiais de construção, são fundamentais para a mudança do cenário de degradação que os resíduos causam. A reciclagem contribui reaproveitando material já retirado do meio ambiente, no caso, matérias-primas finitas como, por exemplo, pedras retiradas de pedreiras ou areia em leito de rios (CRETA, 2012).

O uso dos materiais reciclados chega a gerar uma economia de até 30% em relação a similares com matéria-prima não reciclada, dependendo dos gastos indiretos e da tecnologia empregada nas instalações de reciclagem (BARBOSA e SILVA, 2011).

A reciclagem dos resíduos de gesso da construção civil pode minimizar impactos ambientais gerados pela disposição dos resíduos e também prolongar a vida útil das jazidas fornecedoras da matéria prima para fabricação do gesso (BARBOSA e SILVA, 2011).

Uma das alternativas para os resíduos de gesso gerados durante a construção é a pulverização para aplicações em correção do solo. Durante demolições, no entanto, muitas vezes esses resíduos são misturados com outros materiais, tais como madeira, pregos e isolamentos de fibra de vidro, e, portanto, não pode ser reciclado de forma eficaz (SHARPE; CORK, 2006).

Para o reaproveitamento dos resíduos de demolição e reforma a base de gesso há a necessidade de separação antes do seu reaproveitamento, tornando necessária a elaboração de um adequado e apropriado plano de gerenciamento e separação desses resíduos. A ausência

de procedimentos adequados pode introduzir a presença de contaminantes no resíduo, fato que pode inviabilizar a sua reutilização (CANUT, 2006).

Pesquisas têm sido desenvolvidas na área de reciclagem e reaproveitamento dos resíduos de gesso, tanto na própria fábrica, como em obras, com adição ou não de outros materiais (RIBEIRO, 2006; TAVARES *et. al.*, 2010; BERNHOEFT, 2010; BERNHOEFT; GUSMÃO; TAVARES, 2011; PINHEIRO, 2011; BARBOSA e SILVA, 2011; TROVÃO, 2012).

Em 2010, o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) iniciou a investigação sobre viabilidade técnica e econômica do gesso. No ano seguinte, no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental, a mestranda Mara Barbosa iniciou a pesquisa “Estudo da viabilidade do reaproveitamento de gesso como placa para subcobertura”, que prevê a introdução da fibra de coco verde nas placas de gesso recicladas (SANTANA *et al.*, 2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é descrito as etapas seguidas para o desenvolvimento desta pesquisa sobre a avaliação dos impactos ambientais da produção do bloco de gesso e a metodologia para a realização de um estudo de ACV.

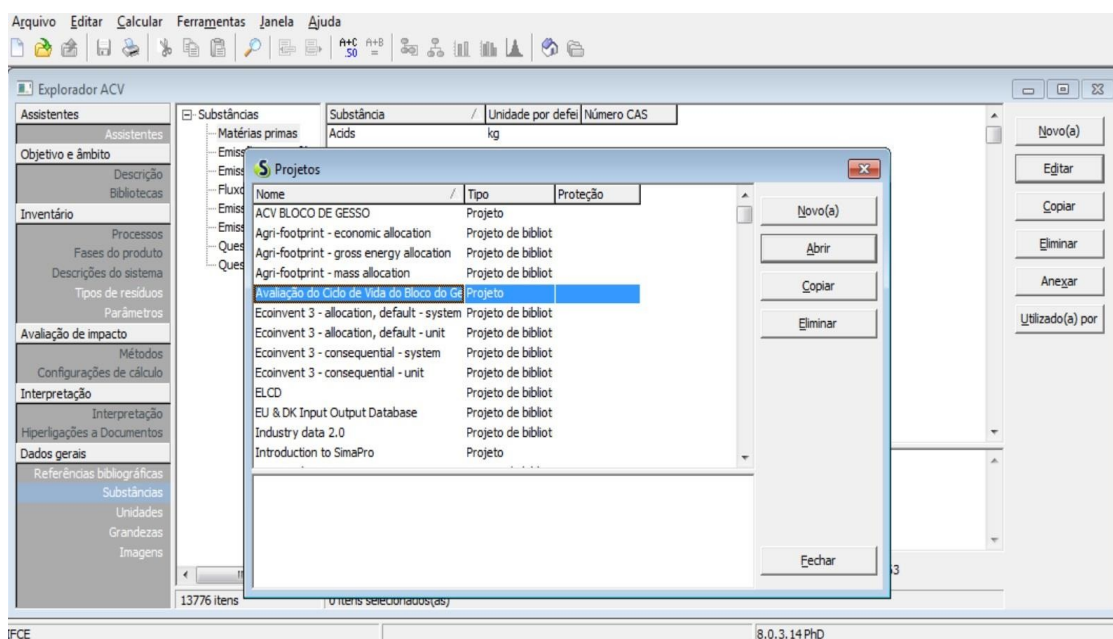
Inicialmente, para este estudo, realizou-se uma revisão bibliográfica, por meio de livros, artigos técnicos e científicos, dissertações, teses, legislação pertinente ao tema, Estudos de Impactos Ambientais elaborado por Bianchi *et al.* (2010) e Ambiental Consultoria e Projetos (2013), ambos para a mesma empresa, que atua na área de mineração e beneficiamento da gipsita. Essas informações serviram de base para o conhecimento e desenvolvimento de um estudo de ACV e das etapas do ciclo de vida do bloco do gesso.

3.1 Uso do software SimaPro®

Para o desenvolvimento do estudo de ACV da presente pesquisa utilizou-se o *software* SimaPro 8.0.3.14[®], versão PhD, com licença adquirida pelo Laboratório de Energias Renováveis e Conforto Ambiental (LERCA)/Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, nas fases de análise de inventário de ciclo de vida (ICV) e avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV).

O *software* Simapro[®] (*System of Integrated Environmental Assessment of Products*) (Figura 9) é uma ferramenta de balanço de massas voltadas para o desempenho ambiental de produtos, que permite analisar e monitorar a performance ambiental desses produtos e serviços. O usuário pode modelar ciclos de vida complexos de acordo com as recomendações ISO 14040. Suas bases de dados possuem variados processos e os principais métodos de avaliação de impacto (CAMPOS, 2012).

Figura 9 – Tela inicial do *software* SimaPro 8.0.3.14[®], versão PhD.



Fonte: SimaPro (2014).

- **Inventário do ciclo de vida (ICV)**

Para a fase de Análise de inventário realizou-se a coleta de dados primários e secundários. Os dados primários foram obtidos em 2013, por meio do técnico responsável pela produção dos blocos de gesso em fábrica especializada, localizada na Região Metropolitana de Fortaleza, município de Maracanaú/CE e referem-se ao consumo de água, gesso em pó e energia. Os dados secundários, referentes à mineração e beneficiamento da gipsita, produção do gesso em pó e transporte, foram obtidos na base de dados do EcoInvent, disponibilizado no *software* SimaPro[®]. Tais dados se baseiam na unidade funcional e fluxo de referência, foram inseridos no *software* citado para a geração do ICV.

O Ecoinvent é um líder em banco de dados de Inventário do Ciclo de Vida (ICV) no mundo, consistente, transparente e atualizado, com conjuntos de dados de ICV nas áreas de agricultura, abastecimento de energia, transportes, biocombustíveis, biomateriais, produtos químicos especiais, construção, materiais de embalagem, tratamento de resíduos etc. (ECOINVENT CENTRE, 2014).

O conjunto de dados citado acima é baseado em dados industriais e foram compilados por Institutos de Pesquisa de renome internacional e consultores de ACV. Essa compilação de dados está disponível em todas as principais ferramentas de ACV e *software* de ecodesign, dentre eles encontra-se o SimaPro[®].

- **Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)**

A AICV foi realizada pelo *software* SimaPro[®], que com os dados inseridos, realizou a conversão dos resultados do ICV em indicadores ambientais por categoria de impacto.

O método escolhido para a realização da ACV do bloco de gesso foi o *Environmental Development of Industrial Products* (EDIP 2003), método desenvolvido para apoiar análises ambientais durante o desenvolvimento de produtos industriais e fornecer fatores de caracterização espacialmente diferenciados (MENDES, 2013). É utilizado na fase de análise do inventário e avaliação de impacto. O EDIP2003 é de origem dinamarquesa e adaptado para SimaPro[®].

As categorias de impactos utilizadas pelo método EDIP são o consumo de recursos renováveis, de não renováveis, e de energia, e os seguintes potenciais de impactos ambientais: aquecimento global, formação fotoquímica de ozônio troposférico, acidificação, eutrofização, ecotoxicidade e toxicidade humana (OMETTO, 2005). As categorias de impacto consideradas neste estudo foram: eutrofização aquática (P), resíduos radioativos, resíduos volumosos, toxicidade da água, formação de ozônio (humana), por apresentarem maior pontuação nos dados de avaliação de impacto do SimaPro[®].

O trabalho também envolveu visitas de campo a uma empresa produtora de bloco de gesso produzido em uma fábrica localizada na região metropolitana de Fortaleza, município de Maracanaú, estado do Ceará, com a finalidade de observar o seu processo de fabricação e coletar dados primários de matéria-prima e energia utilizados para a elaboração do inventário de ciclo de vida.

3.2 Definição do objetivo e escopo da ACV

O presente estudo de ACV tem por objetivo avaliar o ciclo de vida de produção do bloco de gesso *standard* branco (Figura 10), vazado, utilizado na construção civil, fabricado a partir do gesso beta (hemiidratado), com a análise dos principais impactos ambientais decorrentes deste processo de produção e a comparação do destino dos resíduos pós-consumo, tais como, reciclagem e disposição em aterro sanitário.

Figura 10 – Bloco de gesso standard branco, vazado.



Fonte: Gesso Multimarcas (2014).

A seguir são apresentados os elementos constituintes do escopo da ACV do bloco de gesso:

- Função do sistema

O objeto de estudo desta ACV é a produção do bloco de gesso vazado (*standard*), em fábrica localizada no município de Maracanaú/CE. A função do bloco de gesso é a construção de vedações internas.

- Unidade funcional

A unidade funcional é a produção de 1 m² de vedação interna.

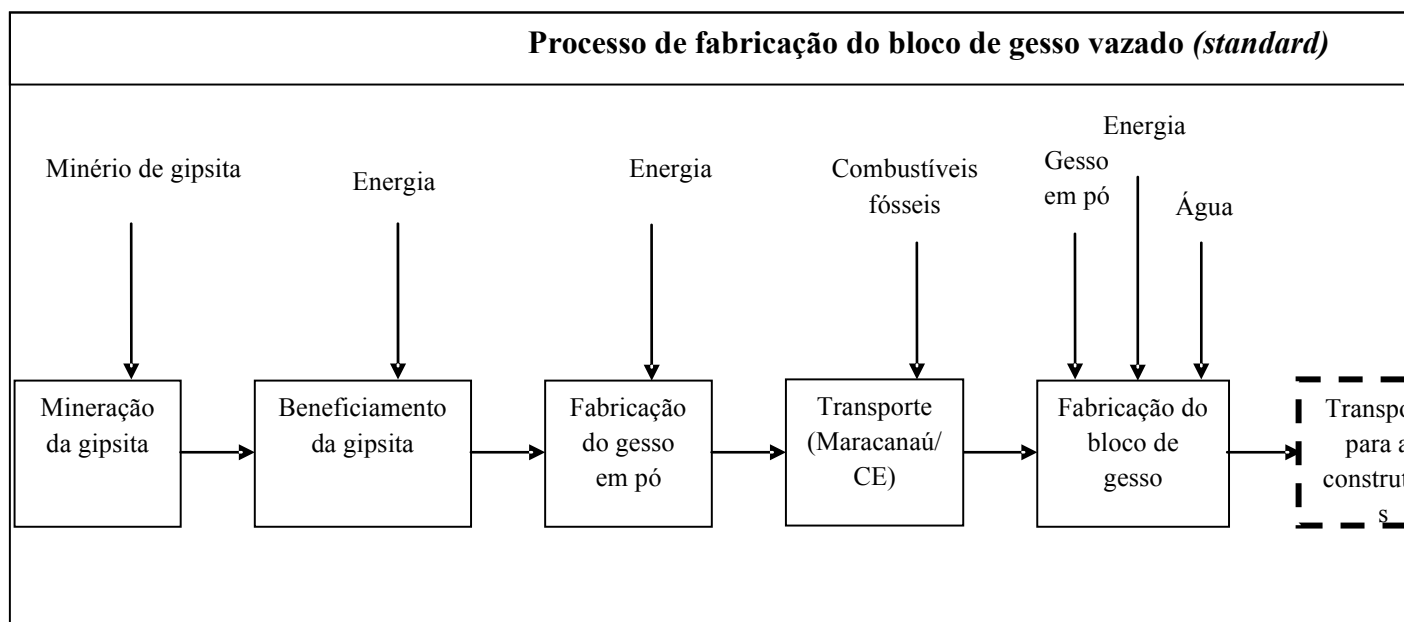
- Fluxo de referência

O fluxo e referência relacionado à unidade funcional e utilizado para a obtenção dos dados do ICV é 51 kg de gesso moído.

- Fronteiras do sistema de produto

A fronteira do sistema inclui os insumos diretamente utilizados na produção de gesso que é utilizado para a fabricação do bloco, que envolve as unidades de processo da extração da gipsita, beneficiamento da gipsita, calcinação e moagem do gesso, transporte do gesso em pó para a fábrica de bloco de gesso, reciclagem ou disposição do resíduo pós-consumo em aterro sanitário. A Figura 11, a seguir, mostra o sistema de produto analisado.

Figura 11 – Fronteiras do Sistema da produção do bloco de gesso.



Fonte: Autor (2014).

Legenda:



: Processo não contemplado no estudo.



: Processo contemplado no estudo.

Apresentação

Neste capítulo são apresentados os resultados da pesquisa seguindo a estrutura metodológica de um estudo de ACV, de acordo com as quatro (04) fases descritas na metodologia: definição de objetivo e escopo; análise do inventário do ciclo de vida; avaliação do impacto do ciclo de vida; interpretação do ciclo de vida, com a utilização do *software* SimaPro[®]. Os dados obtidos durante a pesquisa são relacionados à produção do bloco de gesso e a comparação de destinações para os resíduos: aterro sanitário e reciclagem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentação da Avaliação do Ciclo de Vida do Bloco de Gesso

4.1 Análise do inventário do ciclo de vida.

A seguir são apresentadas as tabelas com os dados inventariados das principais substâncias (destacadas em cinza) consumidas e emitidas por compartimentos do processo de fabricação do bloco de gesso, tais como o consumo de matéria-prima, emissões para o ar, emissões para a água e resíduos.

4.1.1 Inventário de consumo de matéria-prima da produção do bloco de gesso

Na Tabela 3 (página 52), são apresentados os dados referentes ao compartimento do consumo de matérias-primas para a fabricação do bloco de gesso. Esta tabela elenca as substâncias que apresentam maior relevância para este processo, das quais podemos citar o uso de energia, o consumo de água, gipsita e de lenha.

Com a análise dos dados, referentes à energia, dispostos na tabela é possível visualizar os tipos de fontes de energia utilizadas no Brasil presentes no banco de dados do EcoInvent e que tem contribuição para o processo de fabricação do bloco de gesso, tais como a hídrica, eólica, gás natural, solar, biomassa *etc.*

A principal fonte de energia utilizada no Brasil provém das hidrelétricas com 63,03%, em segundo lugar está o gás natural, com 9,02%, e em terceiro encontra-se a energia proveniente da biomassa, mas especificamente, do bagaço de cana, que apresenta o percentual de 7% (ANEEL, 2014).

A energia é utilizada durante o processo de beneficiamento da gipsita, que envolve as atividades de britagem, moagem, peneiramento, calcinação e moagem do gesso. Da mesma forma é necessário o uso da energia na etapa de mistura do pó de gesso com a água durante a fabricação da pasta utilizada na produção do bloco de gesso.

A quantidade de energia apresentada no inventário da Tabela 03 provém de duas fontes: a base de dados do EcoInvent para a mineração e beneficiamento da gipsita e produção do gesso em pó e os dados coletados diretamente da fábrica para o processo de produção dos blocos de gesso, que posteriormente foram inseridos no *software* em uso.

A água é um dos elementos com importância na sua utilização por ser um recurso em escassez no Nordeste do Brasil, região onde se localiza o maior polo gesseiro do país, na região do Araripe, estado de Pernambuco. Para a fase de beneficiamento da gipsita e produção do gesso em pó, utiliza-se, aproximadamente, 59 m³ nas turbinas da fábrica. Já para o processo de preparação da pasta utilizada para a modelagem dos blocos é necessário, aproximadamente, 38 L de água cuja origem dá-se de poço profundo por m² de bloco produzido.

A gipsita é a principal matéria-prima para a produção do bloco de gesso. Para a fabricação de 1m² de bloco de gesso é necessário, aproximadamente, a extração de 50 kg do minério de gipsita.

Atualmente, a lenha é o terceiro tipo de biomassa mais utilizado na matriz energética do Brasil, com 0,31% (ANNEL, 2014). Na região do Araripe é o principal combustível utilizado nos fornos de calcinação do gesso (PEREIRA e LIMA, 2011).

Diversas calcinadoras que não tem suas atividades licenciadas por órgãos ambientais não seguem um plano de manejo adequado para a correta utilização desse bem, o que favorece o seu uso de forma desordenada e o desmatamento.

Tabela 3 – Inventário de consumo de matéria-prima no processo de fabricação do bloco de gesso com resíduos disposto em aterro sanitário.

Substância	Subcompartimento	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos
Água, o uso da turbina, origem natural não especificado, BR	Água	m ³	58,8064	58,8064	0

Continuação

Substância	Subcompartimento	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos
Água, o consumo de águas subterrâneas		kg	37,86	37,86	0
Energia, a partir da energia hídrica	Água	kJ	77,7982	0	77,7982
Dióxido de carbono, ar	Ar	g	612,769	580,474	32,2948
Energia, eólica, convertida	Ar	kJ	36,084	0	36,084
Energia, solar, convertida	Ar	kJ	335,668	0	335,668
Energia, a partir da biomassa	Biótico	J	0,00149	0	0,00149
Energia, a partir de madeira	Biótico	J	16,3008	0	16,3008
Lenha	Biótico	cm ³	182,531	182,531	0
Argila não especificada	Solo	Kg	1,80179	0,09823	1,70356
Carvão, duro	Solo	g	834,733	834,733	0
Energia, a partir do carvão, marrom	Solo	kJ	374,414	0	374,414
Energia, a partir de óleo	Solo	MJ	5,38786	0	5,38786
Energia solar, geotérmica, convertido	Solo	J	198,948	0	198,948
Cascalho	Solo	Kg	10,3433	10,3433	0
Gipsita	Solo	Kg	50,3968	50,3968	0,0000116
Rocha inerte	Solo	g	593,772	0	593,772
Ferro	Solo	g	431,687	403,57	28,117

Conclusão

Substância	Subcompartimento	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos
Agregados naturais	Solo	Kg	1,48165	0	1,48165
Petróleo, bruto	Solo	Kg	2,77107	2,77107	0
Ocupação, área industrial	Terra	cm ² a	105,94	105,94	0
Ocupação, local da extração mineral	Terra	cm ² a	147,667	147,667	0
Transformação, local da extração de mineral	Terra	cm ²	22,5054	22,5054	0

Fonte: SimaPro[®], com dados do autor (2014).

Na Tabela 4, a seguir, são apresentados os resultados relacionados ao consumo de matéria-prima, especificamente para os resíduos reciclados. Os itens de maior consumo são: água, utilizada no processo de beneficiamento da gipsita (58,8 m³) e para a preparação da pasta que é utilizada na fabricação dos blocos (37,9 kg), lenha (182,5 cm³) utilizada nos fornos de calcinação e gipsita, matéria-prima do gesso.

Tabela 4 – Inventário de consumo de matéria-prima no processo de fabricação do bloco de gesso com resíduos reciclados.

Substância	Subcompartimento	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos
Água, o uso da turbina, origem natural não especificado, BR	Água	m ³	58,8064	58,8064	0
Água, o consumo de águas subterrâneas		kg	37,86	37,86	0
Dióxido de carbono, ar	Ar	g	580,474	580,474	0

Conclusão

Substância	Subcompartimento	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos
Lenha	Biótico	cm ³	182,531	182,531	0
Gipsita	Solo	kg	50,3968	50,3968	0
Ferro	Solo	g	403,57	403,57	0
Petróleo, bruto	Solo	kg	2,77107	2,77107	0
Carvão, duro	Solo	g	834,733	834,733	0
Argila, não especificada	Solo	g	98,2261	98,2261	0
Calcita	Solo	g	364,862	364,862	0
Cascalho	Solo	kg	10,3433	10,3433	0
Ocupação, área industrial	Terra	cm ² a	105,94	105,94	0
Ocupação, local da extração mineral	Terra	cm ² a	147,667	147,667	0
Transformação, local da extração de mineral	Terra	cm ²	22,5054	22,5054	0

Fonte: SimaPro[®], com dados do autor (2014).

As substâncias citadas no parágrafo acima possuem os mesmos valores do item anterior (fabricação do gesso com os resíduos que são encaminhados para o aterro), porém algumas substâncias tiveram um decréscimo em sua utilização, tais como dióxido de carbono (580,4 g), ferro (403,6), argila (98,2 g).

4.1.2 Inventário de emissões para o ar da produção do bloco de gesso.

A Tabela 5 apresenta os dados referentes ao compartimento de emissões de componentes para o ar durante a fabricação do bloco de gesso. Esta tabela elenca as substâncias que apresentam maior relevância para este processo, das quais podemos citar o vapor de água, dióxido de carbono de origem fóssil e material particulado (> 10 µm).

No processamento de calcário, nas indústrias de cimento ou cal é liberado CO durante a calcinação, que nesses casos ocorrem em altas temperaturas. Já, durante a

calcinação de gesso, somente algumas moléculas de água são liberadas para a atmosfera, pois o referido processo ocorre em temperaturas relativamente baixas (120 °C a 160 °C) (VENTA, GLASSER & ASSOCIATES, 1997).

Tabela 5 – Inventário de emissões para o ar no processo de fabricação do bloco de gesso com resíduos disposto em aterro sanitário.

Substância	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos
Dióxido de carbono	g	600,871	0	600,871
Dióxido de carbono, biogênico	g	942,702	942,702	0
Dióxido de carbono, fóssil	kg	8,95346	8,95346	0
Dióxido de carbono, transformação da terra	g	760,173	760,173	0
Calor, resíduo	mJ	1,08723	0,0209	1,06633
Hidrogênio-3, Trítio	Bq	162,912	162,912	0
Criptônio-85m	Bq	6,50336	6,50336	0
Particulados, > 10 µm	g	60,1412	60,1412	0
Uso do ar	kg	4,35355	0	4,35355
Água /m3 (estratosfera+troposfera)	kg	30	30	0
Água /m3	l	34,5369	34,5369	0
Hidrogênio	mg	681,773	1,20953	680,563
Hidrocarbonetos alifáticos, alcanos, cíclico	mg	1,17334	1,17334	0
Hidrocarbonetos, alifáticos, alcanos, não especificados	mg	61,657	61,657	
Hidrocarbonetos alifáticos insaturados	mg	29,9198	29,9198	0
Hidrocarbonetos Aromáticos	mg	25,7416	25,7416	0
Hidrocarbonetos clorados	g	4,97814	4,97814	0
Monóxido de carbono	g	2,37868	0	2,37868
Monóxido de carbono, biogênicos	g	18,0693	18,0693	0
Monóxido de carbono, fóssil	g	27,8766	27,8766	0

Conclusão

Substância	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos
Monóxido de carbono, transformação terra	mg	35,5078	35,5078	0
Cromo	mg	1,04362	1,03147	0,01215
Cobre	mg	46,7576	46,7528	0,00474
Metano, fóssil	g	21,6733	21,6733	0
Dióxido de enxofre	g	11,2514	11,2514	0
Óxido de nitrogênio	g	70,1299	70,1299	0
Zinco	mg	21,3502	21,3151	0,03507
Xenônio-133	Bq	341,249	341,249	0

Fonte: SimaPro[®], com dados do autor (2014).

Durante o processo de secagem do bloco de gesso, logo após a sua fabricação, ocorre uma reação exotérmica onde há liberação de calor e evaporação de, aproximadamente, 15% da água de hidratação que não reage com o gesso, reação inversa à que ocorre durante o momento de calcinação (retirada de moléculas de água e absorção de energia térmica). De acordo com o inventário da Tabela 5, o valor da água evaporada é de 30 kg.

O dióxido de carbono de origem fóssil, com liberação de 8,95 kg para o ar, está relacionado com o combustível utilizado para o transporte de materiais no local de beneficiamento/fabricação do gesso e deste à fábrica dos blocos de gesso, que distam um do outro 487 km.

A lenha, matéria-prima utilizada como combustível no processo de calcinação do gesso, apresenta um alto teor de materiais voláteis, que no processo de calefação, libera de 80 a 90% do peso de massa lenhosa seca sob a forma de gases, principalmente, monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H₂) e hidrocarbonetos (C_mH_n) (NUSSBAUMER, 1993 *apud* QUEIROGA; LIMA, 2011).

A energia consumida no processo de extração e transporte da matéria-prima, bem como a fabricação dos blocos de gesso, também resultará em emissões de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x),

metano (CH₄) e compostos orgânicos voláteis, como em qualquer processo onde a energia é utilizada (VENTA, GLASSER & ASSOCIATES, 1997).

A mineração de gesso, bem como a britagem, moagem e peneiramento, incluindo os processos da calcinação, emitem partículas para o ar. Da mesma forma ocorre para a extração de outras matérias-primas tais como a argila, calcita e carvão, presentes no inventário da Tabela 3 (página 52). A manipulação e mistura do gesso em pó para a fabricação dos blocos de gesso também resulta na libertação de partículas. A quantidade de material particulado, com o diâmetro menor que 10 µm, emitido durante o processo de fabricação do gesso, é de, aproximadamente, 60g.

De acordo com a Tabela 6, a seguir, é possível visualizar que as principais substâncias liberadas para a atmosfera, tais como o vapor de água, dióxido de carbono de origem fóssil e material particulado (> 10 µm), apresentam a mesma quantidade para os resíduos reciclados e os dispostos em aterro sanitário (Tabela 5). Porém, houve decréscimo em relação ao calor liberado para a atmosfera e nas substâncias hidrogênio e zinco.

Tabela 6 – Inventário de emissões para o ar no processo de fabricação do bloco de gesso com resíduos reciclados.

Substância	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos
Dióxido de carbono, biogênicos	g	942,703	942,703	0
Dióxido de carbono, fóssil	kg	8,95346	8,95346	0
Dióxido de carbono, transformação terra	g	760,173	760,173	0
Calor, resíduos	J	0,37296	0,37296	0
Criptônio-85m	Bq	6,50336	6,50336	0
Água (estratosfera+troposfera)	kg	30	30	0
Água / m ³	L	34,5369	34,5369	0
Hidrogênio	mg	53,9853	53,9853	0
Hidrogênio-3, Trítio	Bq	162,912	162,912	0
Particulados, > 10 µm	g	60,1412	60,1412	0
Hidrocarbonetos alifáticos, alcanos, cíclico	mg	1,17334	1,17334	0

Conclusão

Substância	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos
Hidrocarbonetos, alifáticos, alcanos, não especificados	mg	61,657	61,657	0
Hidrocarbonetos alifáticos insaturados	mg	29,9198	29,9198	0
Hidrocarbonetos Aromáticos	mg	25,7416	25,7416	0
Hidrocarbonetos clorados	mg	4,97814	4,97814	0
Monóxido de carbono, fóssil	g	27,8766	27,8766	0
Monóxido de carbono, biogênicos	g	18,0693	18,0693	0
Monóxido de carbono, transformação terra	mg	35,5078	35,5078	0
Cromo	mg	6,45803	6,45803	0
Cobre	mg	46,7528	46,7528	0
Metano, fóssil	g	21,6733	21,6733	0
Dióxido de enxofre	g	11,2514	11,2514	0
Óxido de nitrogênio	g	70,1299	70,1299	0
Zinco	mg	21,3151	21,3151	0
Xenônio-133	Bq	341,249	341,249	0

Fonte: SimaPro[®], com dados do autor (2014).

4.1.3 Inventário de emissões para a água da produção do bloco de gesso.

Em todas as etapas do ciclo de vida da fabricação dos blocos de gesso pouco efluente líquido é gerado. Embora uma grande quantidade de água seja misturada com o gesso em pó para a formação da pasta utilizada para a produção do bloco de gesso, esta água é parcialmente ligada quimicamente na rehidratação do sulfato de cálcio hemihidratado e durante a secagem dos blocos, o restante da água que não reagiu é evaporada. Entretanto, é utilizada água para a lavagem dos equipamentos e local de trabalho, que contém os resíduos de gesso em pó, desta forma esse material é carreado para os corpos aquáticos.

A Tabela 7 apresenta os dados referentes ao compartimento de emissões de componentes para a água. Esta tabela elenca as substâncias que se apresentam em maior quantidade para este processo, das quais podemos citar o sulfato, cloreto e cálcio.

O sulfato e o cálcio estão presentes na molécula do mineral gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e, após a calcinação ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), permanece na molécula do gesso, pois como pode ser visualizado, após o processo de transformação da matéria-prima, somente a molécula da água é retirada do composto.

O cálcio também faz parte da molécula da calcita (presente no inventário de matéria-prima, Tabela 03), uma das três modificações minerais do carbonato de cálcio (CaCO_3). A calcita é um dos minerais mais comuns, sendo o constituinte principal de vastas formações de rochas sedimentares de calcário (BESSLER; RODRIGUES, 2008).

De acordo com Venta, Glasser & Associates (1997), os componentes comuns de serem encontrados em efluentes das operações de mineração do gesso são: sólidos suspensos totais, alumínio, zinco, fenóis, sulfato, óleos e graxas, amônia, nitrato e nitrito, Compostos Orgânicos Dissolvidos (COD) e cloretos.

Tabela 7 – Inventário de emissões para a água no processo de fabricação do bloco de gesso com resíduos disposto em aterro sanitário.

Substância	Subcompartimento	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos
Alumínio	águas subterrâneas, a longo prazo	g	5,83767	5,83767	0
Barita	oceano	g	1,68707	1,68707	0
DBO5, Demanda Biológica de Oxigênio	águas subterrâneas, a longo prazo	g	2,40863	2,40863	0
Cálcio	águas subterrâneas, a longo prazo	g	57,5076	57,5076	0
Césio-137	oceano	Bq	1,18899	1,18899	0
cloreto	rio	g	33,8196	33,8196	0
DQO, Demanda Química de Oxigênio	águas subterrâneas, a longo prazo	g	7,33545	7,33545	0
COD, Carbono Orgânico Dissolvido	águas subterrâneas, a longo prazo	g	3,38981	3,38981	0
Calor, resíduo	águas subterrâneas	kJ	119,772	0	119,772
Ferro	águas subterrâneas, a longo prazo	g	8,97133	8,97133	0

Conclusão

Substância	Subcompartimento	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos
Magnésio	águas subterrâneas, a longo prazo	g	19,6758	19,6758	0
Manganês	águas subterrâneas, a longo prazo	g	1,86164	1,86164	0
Nitrato	águas subterrâneas, a longo prazo	g	1,4235	1,4235	0
Óleos, não especificado	oceano	g	1,65447	1,65447	0
Fosfato	águas subterrâneas, a longo prazo	g	4,55071	4,55071	0
Potássio	águas subterrâneas, a longo prazo	g	11,6892	11,6892	0
Rádio-226	rio	Bq	48,7799	48,7799	0
Espécies radioativas, nuclídeos, não especificado	rio	Bq	24,641	24,641	0
Silício	águas subterrâneas, a longo prazo	g	23,7366	23,7366	0
Sódio		g	2,34401	2,34401	0
Estrôncio-90	rio	Bq	6,58798	6,58798	0
Sulfato	águas subterrâneas, a longo prazo	g	130,196	130,196	0
Sólidos em suspensão, não especificado		g	11,0113	11,0113	0
Tório-230	rio	Bq	11,4132	11,4132	0
COT, carbono orgânico total	águas subterrâneas, a longo prazo	g	3,38981	3,38981	0
Zinco	águas subterrâneas, a longo prazo	g	1,03787	1,03787	0

Fonte: SimaPro[®], com dados do autor (2014).

Das principais substâncias emitidas para a água, pelos resíduos reciclados, têm-se os mesmos valores para sulfato e cálcio em relação aos dispostos em aterro sanitário, porém para o cloreto houve um decréscimo na quantidade dessa substância. Da mesma forma pode-se observar uma diminuição na quantidade emitida de calor (resíduo), como pode ser visualizado na Tabela 8, na página a seguir.

Tabela 8 – Inventário de emissões para a água no processo de fabricação do bloco de gesso com resíduos reciclados.

Substância	Subcompartimento	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos
Alumínio	águas subterrâneas, a longo prazo	g	5,8377	5,83767	0
Barita	oceano	g	1,6871	1,68707	0
DBO5, Demanda Biológica de Oxigênio	águas subterrâneas, a longo prazo	g	2,4086	2,40863	0
Cálcio	águas subterrâneas, a longo prazo	g	57,508	57,5076	0
Césio-137	oceano	Bq	1,189	1,18899	0
cloreto	rio	g	8,3162	8,31617	0
DQO, Demanda Química de Oxigênio	águas subterrâneas, a longo prazo	g	7,3354	7,33545	0
COD, Carbono Orgânico Dissolvido	águas subterrâneas, a longo prazo	g	3,3898	3,38981	0
Calor, resíduo	águas subterrâneas	kJ	5,2394	5,23942	0
Ferro	águas subterrâneas, a longo prazo	g	8,9713	8,97133	0
Magnésio	águas subterrâneas, a longo prazo	g	19,676	19,6758	0
Manganês	águas subterrâneas, a longo prazo	g	1,8616	1,86164	0
Nitrato	águas subterrâneas, a longo prazo	g	1,4235	1,4235	0

Conclusão

Substância	Subcompartimento	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos
Óleos, não especificado	oceano	g	1,6545	1,65447	0
Fosfato	águas subterrâneas, a longo prazo	g	4,5507	4,55071	0
Potássio	águas subterrâneas, a longo prazo	g	11,689	11,6892	0
Espécies radioativas, nuclídeos, não especificado	rio	Bq	24,641	24,641	0
Rádio-226	rio	Bq	48,78	48,7799	0
Silício	águas subterrâneas, a longo prazo	g	23,737	23,7366	0
Sódio		g	2,344	2,34401	0
Estrôncio-90	rio	Bq	6,588	6,58798	0
Sulfato	águas subterrâneas, a longo prazo	g	130,2	130,196	0
Sólidos em suspensão, não especificado		g	11,011	11,0113	0
Tório-230	rio	Bq	11,413	11,4132	0
COT, carbono orgânico total	águas subterrâneas, a longo prazo	g	3,3898	3,38981	0
Zinco	águas subterrâneas, a longo prazo	g	1,0379	1,03787	0

Fonte: SimaPro[®], com dados do autor (2014).

4.1.4 Inventário de resíduos da produção do bloco de gesso.

Durante a fase de mineração da gipsita, onde ocorre a fragmentação das rochas para a obtenção do minério e seleção das rochas aproveitáveis, alguns resíduos são gerados em relação ao material inerte que não é aproveitado. Desta forma esse material é disposto em áreas denominadas “bota-fora” (área para disposição dos resíduos), como apresentado na Figura 12. De acordo com o inventário da Tabela 9, o resíduo mineral possui 63 g.

Figura 12 – Fotografia dos resíduos durante a extração do minério de gipsita em Santana do Cariri/CE



Fonte: Silva (2012).

Outro resíduo gerado no momento de mineração, beneficiamento, produção do gesso e dos blocos de gesso é um material em forma de pó, disposto em todo o ambiente onde ocorre a produção do gesso: nos equipamentos, chão da fábrica e nos próprios operários. Na Figura 13 é possível visualizar esse material depositado no chão da fábrica beneficiadora desse material. De acordo com o inventário da Tabela 9 os resíduos desperdiçados, não especificados do gesso possuem 267 g.

Figura 13 – Fotografia do resíduo de gesso, usina de gipsita, em Santana do Cariri/CE.



Fonte: Silva (2012).

Tabela 9 – Inventário de resíduos no processo de fabricação do bloco de gesso com resíduos disposto em aterro sanitário.

Substância	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos
Resíduo mineral	g	62,69298	0	62,69298
Desperdiçado, não especificado	g	267,0364	0	267,0364

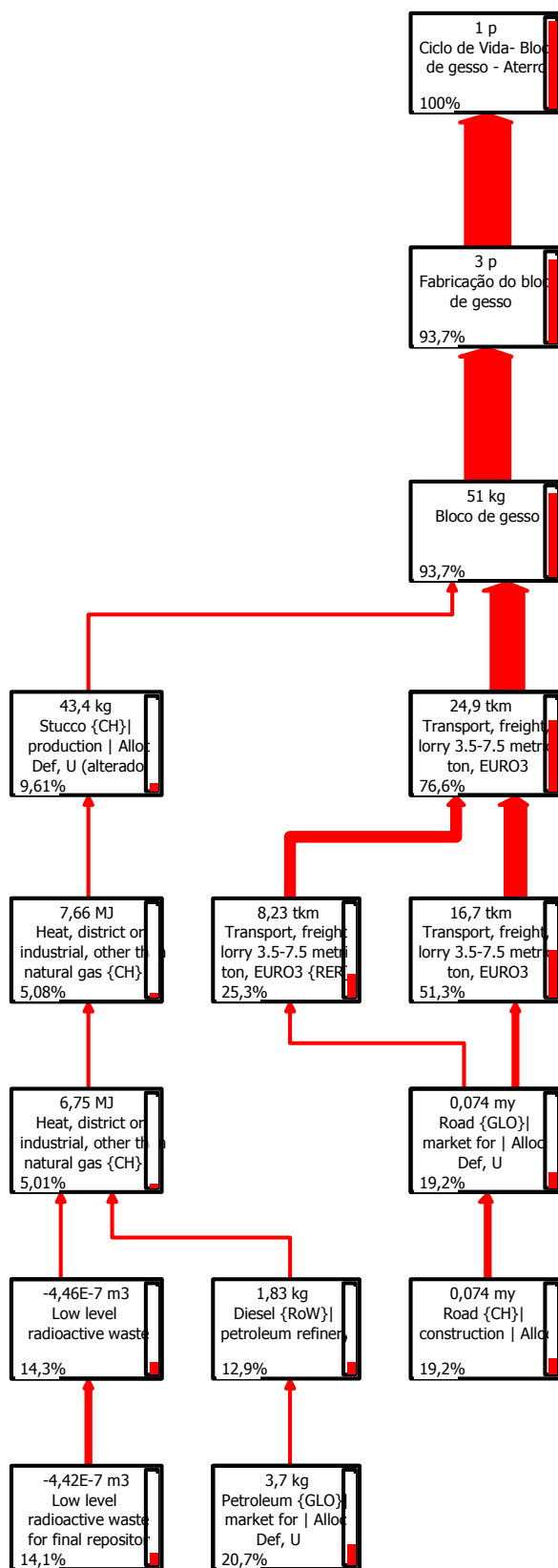
Fonte: SimaPro[®], com dados do autor (2014).

Nos fluxogramas, a seguir (Figura 14 e 15), são apresentadas as principais contribuições dos processos envolvidos na fabricação dos blocos de gesso. As barras vermelhas, no lado direito das caixas, representa a contribuição para a carga ambiental e a espessura das linhas indica a carga ambiental global que flui entre processos.

Na Figura 14 (página 67), que apresenta o fluxograma do ciclo de vida do bloco de gesso com os resíduos dispostos em aterro sanitário, é possível visualizar os processos destacados: o ciclo de vida do bloco de gesso, representando 100% do processo, dos quais 93,7% está relacionado com a fabricação do bloco de gesso, 76,6% com a soma do transporte de materiais (*Transport, freight, lorry 3,5-7,5 metric ton, EURO 3*), 20,7% com o uso do petróleo (*Petroleum*), 19,2% com a construção e uso da estrada (*Road market for/construction*), 14,3% com os resíduos radioativos de baixo nível (*Low level/radioactive waste*), 14,1% com resíduos radioativos de baixo nível para disposição final (*Low level/radioactive waste for final repositor*), 12,9% com o diesel (*Diesel/petroleum refinery*), 9,61% com o gesso calcinado (*Stucco*), 5,08% calor, distrito ou industrial, com exceção do gás natural (*Heat, district or industrial, other than natural gas*).

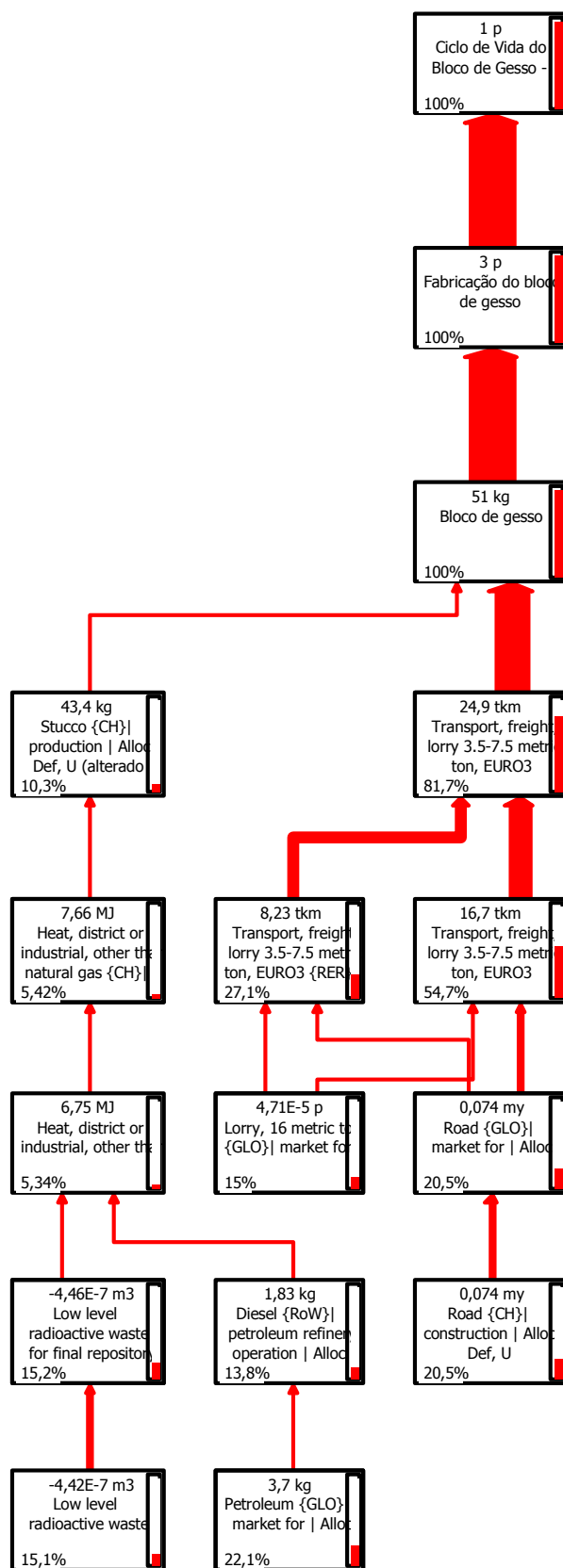
O fluxograma da Figura 15 (página 68), onde está representado o ciclo de vida do bloco de gesso com os resíduos reciclados, é possível visualizar os processos destacados: o ciclo de vida do bloco de gesso, representando 100% do processo, dos quais 100% está representado pela fabricação do bloco de gesso, 81,7% com a soma do transporte de materiais (*Transport, freight, lorry 3,5-7,5 metric ton, EURO 3*), 22,1% petróleo (*Petroleum*), 20,5% com a construção e uso da estrada (*Road market for/construction*), 15,2% com resíduos radioativos de baixo nível para disposição final (*Low level/radioactive waste for final repositor*), 15,1% com os resíduos radioativos de baixo nível (*Low level/radioactive waste*), 15% com caminhão (*Lorry*), 13,8% com o diesel (*Diesel/petroleum refinery*), 10,03% com o gesso calcinado (*Stucco*), 5,42% com o calor, distrito ou industrial, com exceção do gás natural (*Heat, district or industrial, other than natural gas*) e 5,34% com o calor, distrito ou industrial (*Heat, district or industrial*).

Figura 14 - Fluxograma do bloco de gesso - Aterro Sanitário.



Fonte: SimaPro[®], com dados do autor (2014).

Figura 15 - Fluxograma do bloco de gesso – Reciclagem.



Fonte: SimaPro[®], com dados do autor (2014).

4.2 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV).

Após a análise do inventário do ciclo de vida do bloco de gesso, foi realizada a avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV), com os dados do inventário. A metodologia de avaliação de impacto de ciclo de vida escolhida para o presente trabalho foi o EDIP 2003, por meio do software SimaPro 8.0.3.14[®], com a finalidade de se verificar quais os principais impactos gerados durante o ciclo de vida do bloco de gesso com os resíduos dispostos em aterro sanitário e os reciclados e comparar o desempenho ambiental das duas opções de tratamento e disposição dos resíduos.

O primeiro elemento obrigatório para a realização de uma avaliação de impacto do ciclo de vida é a seleção das categorias de impacto. O método EDIP 2003 apresenta 19 categorias de impacto diferentes, das quais foram selecionadas as cinco mais representativas após a fase de pontuação única dos resultados, no qual ocorre a ponderação destes nas categorias de impacto.

Na etapa de classificação, o método EDIP 2003 correlaciona os resultados dos inventários de consumo e emissão de materiais, apresentados no item 4.2 com suas categorias de impacto ambiental.

Para a etapa de caracterização, o método EDIP 2003 quantifica as contribuições para cada categoria de impacto, convertendo os resultados dos inventários para unidades indicadoras nas categorias de impacto. As substâncias que contribuem para uma categoria de impacto são multiplicadas por um fator de caracterização que expressa a contribuição relativa da substância. Por exemplo, o fator de caracterização de CO₂ na categoria Impacto das alterações climáticas pode ser igual a 1, enquanto o fator de caracterização de metano pode ser 25. Isto significa a liberação de 1 kg de metano faz com que a mesma quantidade de mudanças climáticas como 25 kg de CO₂. O resultado total é expresso como indicadores de categoria de impacto (PRé *et al.*, 2014).

A fase de ponderação entre as categorias de impacto não é obrigatória para uma AICV. Nesta fase os resultados dos indicadores das categorias de impacto são multiplicados por fatores de ponderação e são adicionados para criar uma pontuação total ou única (PRé *et al.*, 2014).

4.2.1 Comparação dos resultados do AICV para os diferentes destinos de resíduos

A seguir são apresentadas as categorias de impactos afetadas pela produção do bloco de gesso e a comparação do desempenho ambiental para as duas opções de disposição final dos resíduos: aterro sanitário e reciclagem. Para tanto foi utilizado o método EDIP 2003.

A primeira etapa analisada foi a caracterização, pois por meio desta existe a possibilidade da análise da contribuição relativa das múltiplas entradas e saídas de cada categoria para os determinados potenciais impactos, como pode ser visualizado na Tabela 10 e Tabela 11 (ROMEUE, 2013).

Tabela 10 – Contribuição da produção do bloco de gesso nas categorias de impacto dos resíduos dispostos em aterro sanitário (caracterização).

Categoria de impacto	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos de Bloco de Gesso - Aterro Sanitário
Aquecimento global (100a)	kg CO2 eq	16,6331	16,0044	0,62866
Depleção de ozônio	kg CFC11 eq	1,33E-06	1,31E-06	1,65E-08
Formação de ozônio (vegetação)	m².ppm.h	180,747	179,916	0,83145
Formação de ozônio (humana)	pessoa.ppm.h	0,01251	0,01244	6,70E-05
Acidificação	m²	1,24751	1,18116	0,06635
Eutrofização terrestre	m²	2,17572	2,17558	0,00015
Eutrofização aquática (N)	kg N	0,00885	0,0085	0,00035
Eutrofização aquática (P)	kg P	0,00245	0,00164	0,0008
Toxicidade humana - ar	Pessoa	350938	347715	3223,02
Toxicidade humana – água	m³	213,86	213,321	0,53943
Toxicidade humana – solo	m³	3,26541	3,20909	0,05632
Ecotoxicidade crônica de água	m³	9625,64	9611,12	14,5235

Conclusão

Categoria de impacto	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos de Bloco de Gesso - Aterro Sanitário
Ecotoxicidade aguda da água	m ³	1400,45	1398,99	1,46607
Ecotoxicidade crônica do solo	m ³	42,6778	42,5356	0,14217
Resíduos perigosos	Kg	0,00054	0,00055	0
Escórias/cinzas	Kg	0,03779	0,03775	4,31E-05
Resíduos em massa	Kg	8,60684	8,54415	0,06269
Resíduos radioativos	Kg	0,00114	0,00114	0

Fonte: SimaPro[®], com dados do autor (2014).

Analisando os dados das Tabelas 10 e 11 é possível visualizar que existe pouca diferença em relação à contribuição nas categorias de impacto dos resíduos que são dispostos em aterro sanitário e os reciclados.

Tabela 11 – Contribuição da produção do bloco de gesso nas categorias de impacto dos resíduos reciclados (caracterização).

Categoria de impacto	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos de Bloco de Gesso – Reciclagem
Aquecimento global (100a)	kg CO2 eq	16,0044	16,0044	0
Depleção de ozônio	kg CFC11 eq	1,31E-06	1,31E-06	0
Formação de ozônio (vegetação)	m ² .ppm.h	179,916	179,916	0
Formação de ozônio (humana)	pessoa.ppm.h	0,01244	0,01244	0
Acidificação	m ²	1,18116	1,18116	0
Eutrofização terrestre	m ²	2,17558	2,17558	0
Eutrofização aquática (N)	kg N	0,0085	0,0085	0

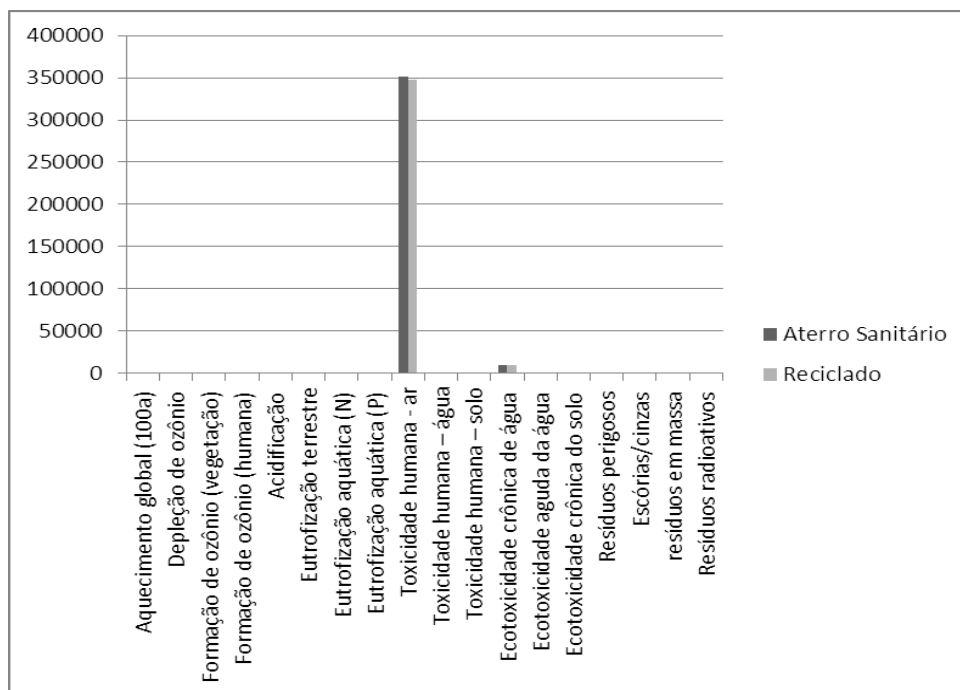
Conclusão

Categoria de impacto	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos de Bloco de Gesso – Reciclagem
Eutrofização aquática (P)	kg P	0,00164	0,00164	0
Toxicidade humana - ar	Pessoa	347715	347715	0
Toxicidade humana – água	m³	213,321	213,321	0
Toxicidade humana – solo	m³	3,20909	3,20909	0
Ecotoxicidade crônica de água	m³	9611,12	9611,12	0
Ecotoxicidade aguda da água	m³	1398,99	1398,99	0
Ecotoxicidade crônica do solo	m³	42,5356	42,5356	0
Resíduos perigosos	Kg	0,00055	0,00055	0
Escórias/cinzas	Kg	0,03775	0,03775	0
Resíduos em massa	Kg	8,54415	8,54415	0
Resíduos radioativos	Kg	0,00114	0,00114	0

Fonte: SimaPro[®], com dados do autor (2014).

Na Figura 16 é possível visualizar que, nesta fase de caracterização de impactos, a categoria mais afetada é a toxicidade humana causada pelo ar contaminado, sendo os resíduos dispostos em aterro sanitário que contribuem em maior quantidade.

Figura 16 – Contribuição da produção do bloco de gesso nas categorias de impacto dos resíduos dispostos em aterro sanitário e reciclados (caracterização).



Fonte: SimaPro®, com dados do autor (2014).

Nas Tabelas 12 e 13 são apresentadas a análise em pontuação única, que consiste nos dados ponderados das categorias de impacto das duas opções de tratamento em estudo. Com isso é possível visualizar a pontuação total dos resultados.

Tabela 12 - Contribuição da produção do bloco de gesso nas categorias de impacto dos resíduos dispostos em aterro sanitário (pontuação única).

Categoria de impacto	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos
Total	mPt	53,78042	50,38989	3,390536
Aquecimento global	mPt	2,360235	2,271029	0,089207
Depleção de ozônio	mPt	4,083257	4,032622	0,050635
Formação de ozônio	mPt	3,643865	3,627103	0,016762
Formação de ozônio (humana)	mPt	5,282731	5,254421	0,02831
Acidificação	mPt	4,119273	3,900191	0,219081
Eutrofização terrestre	mPt	1,905933	1,905804	0,000129
Eutrofização aquática EP(N)	mPt	1,487529	1,428427	0,059101

Conclusão

Categoria de impacto	Unidade	Total	Fabricação do bloco de gesso	Resíduos
Eutrofização aquática				
EP(P)	mPt	8,682673	5,837327	2,845346
Toxicidade humana – ar	mPt	0,814526	0,807045	0,007481
Toxicidade humana – água	mPt	5,893995	5,879128	0,014867
Toxicidade humana – solo	mPt	0,485893	0,477512	0,008381
Resíduos perigosos	mPt	0,028932	0,028932	0
Escórias/cinzas	mPt	0,118901	0,118765	0,000136
Resíduos em massa	mPt	7,015438	6,964337	0,051101
Resíduos radioativos	mPt	7,857244	7,857244	0

Fonte: SimaPro[®], com dados do autor (2014).

A categoria que apresenta o maior decréscimo nos impactos é a eutrofização aquática (P), que para o gesso disposto em aterro sanitário apresenta uma pontuação de 8,68 e para os resíduos reciclados passa a apresentar o valor de 5,84. Outra categoria que apresenta um decréscimo nos resultados para o gesso reciclado é a acidificação, que possui 3,9 e para os resíduos dispostos em aterro sanitário, 4,1. A pontuação total é de 53,7 para os resíduos dispostos em aterro e 50,4 para os reciclados.

Tabela 13 - Contribuição da produção do bloco de gesso nas categorias de impacto dos resíduos reciclados (pontuação única).

Categoria de impacto	Unidade	Total	Bloco de gesso
Total	MPt	50,389888	50,389888
Aquecimento global	MPt	2,2710285	2,2710285
Depleção de ozônio	MPt	4,0326221	4,0326221
Formação de ozônio	MPt	3,6271028	3,6271028
Formação de ozônio (humana)	MPt	5,2544205	5,2544205
Acidificação	MPt	3,9001914	3,9001914

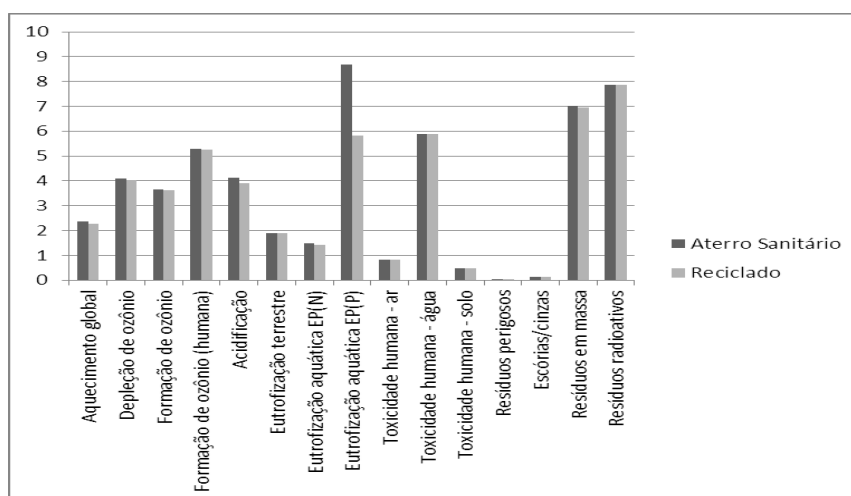
Conclusão

Categoria de impacto	Unidade	Total	Bloco de gesso
Eutrofização terrestre	MPt	1,905804	1,905804
Eutrofização aquática			
EP(N)	MPt	1,4284274	1,4284274
Eutrofização aquática			
EP(P)	MPt	5,8373271	5,8373271
Toxicidade humana - ar	M Pt	0,80704538	0,80704538
Toxicidade humana - água	MPt	5,8791278	5,8791278
Toxicidade humana - solo	MPt	0,47751233	0,47751233
Resíduos perigosos	MPt	0,028932216	0,028932216
Escórias/cinzas	MPt	0,11876543	0,11876543
Resíduos volumosos	MPt	6,9643367	6,9643367
Resíduos radioativos	MPt	7,857244	7,857244

Fonte: SimaPro[®], com dados do autor (2014).

Por meio da comparação em pontuação única, Figura 17 a seguir, é possível visualizar que em todas as categorias existe uma proximidade dos resultados, porém isso se diferencia nas fases de eutrofização aquática e acidificação, onde ocorre maior diferença nos resultados.

Figura 17 – Contribuição da produção do bloco de gesso nas categorias de impacto dos resíduos dispostos em aterro sanitário e reciclados (pontuação única).



Fonte: SimaPro[®], com dados do autor (2014).

5 CONCLUSÕES

De acordo com o inventário realizado do ciclo de vida da produção de bloco de gesso com duas alternativas para a destinação final dos resíduos: aterro sanitário e reciclagem, foi possível verificar que, as principais categorias de impactos afetadas por ambos, são: eutrofização aquática (fósforo - P), resíduos em massa, resíduos radioativos, toxicidade da água e a formação de ozônio (de origem humana).

A eutrofização aquática (P) é a categoria mais afetada no ciclo de vida do gesso. Esta recebe a contribuição de 4,55 g de fosfato (PQ) presente nas emissões para a água, conforme os inventários da Tabela 5 e 6 (página 56 e 58, respectivamente).

Os resíduos em massa gerados durante o ciclo de vida do bloco de gesso, que representam tanto os resíduos minerais quanto os desperdiçados, não especificados, apresentam um percentual de 13,04% do material.

De acordo com os fluxogramas apresentados nas páginas 67 e 68, onde estão apresentadas as principais substâncias e/ou processos utilizados durante o ciclo de vida do gesso, é possível visualizar que o transporte apresenta maior contribuição na carga ambiental tanto para os resíduos dispostos em aterro sanitário quanto para os reciclados, com 76,6% e 81,7%, respectivamente.

Em todas as categorias de impactos analisadas, o gesso reciclado apresenta um maior desempenho ambiental do que os que os resíduos dispostos em aterro sanitário, principalmente nas categorias de eutrofização da água (P) e acidificação, demonstrando, assim, a necessidade do cumprimento da legislação brasileira (Resolução CONAMA nº 431/2011) que trata o resíduo do gesso como passível de reciclagem.

Para que ocorra o aprimoramento dos estudos de ACV realizados no Brasil, é necessário o desenvolvimento de bancos de dados brasileiros para que se possa trabalhar com dados mais próximos da realidade brasileira, pois até o momento existem somente dados de fontes de energia.

Este trabalho traz uma contribuição local para a sistematização de dados e informações sobre o tema em estudo, o gesso. Apresenta, ainda, uma avaliação preliminar, o que estende oportunidades para outras pesquisas de aprimoramento dos impactos causados pelo ciclo de vida deste produto.

REFERÊNCIAS

- ABREU, E. M. X. **Estudo da influência de diferentes gessos produzidos na região Nordeste do Brasil para a fabricação de moldes utilizados na indústria de louças sanitárias**. 2005. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 2005.
- ALMEIDA, F. **O bom negócio da sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 2002. Disponível em: <<http://www.fernandoalmeida.com.br/livros/livro-fernando-almeida-sustentabilidade.pdf>> Acesso em: 02 dez. 2013.
- AMBIENTAL CONSULTORIA E PROJETOS. **Estudo de Impacto Ambiental - EIA: Extração de gipsita em Santana do Cariri, estado do Ceará**. Fortaleza, 2013.
- AMORIM NETO, A. A.; DANTAS, J. O. C. **Gipsita**. 2013. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral 2013. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=8988>. Acesso em: 16 fev. 2014.
- ANEEL, 2014. Matriz de energia elétrica. Empreendimentos em operação. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/operacaocapacidadebrasil.asp>>. Acesso em: 28 ago. 2014.
- AGOPYAN, V.; JOHN, V. M.; GOLDEMBERG, J. (Coord.) **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. Vol. 5. São Paulo: Blucher, 2011.
- ARAÚJO, S. M. S. de; MARTINS, L. A. M. A indústria extrativa mineral do pólo gesso de Araripe e seus impactos socioambientais. **Revista de Geografia**. Vol. 30, n. 1. 2013. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/downloadSuppFile/505/89>>. Acesso em: 14 mar. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12775**: Placas lisas de gesso para forro – determinação das dimensões e propriedades físicas. Rio de Janeiro, 1992.
- _____. **NBR 13207**: Gesso para construção civil. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- _____. **NBR 14001**: Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 27p.
- _____. **NBR 14004**: Sistemas de gestão ambiental – Diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 45p.
- _____. **NBR ISO 14040**. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2006.
- _____. **NBR ISO 14044**. Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009.
- BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. de F.; LUZ, A. B. da. Gipsita. In: LUZ, A. B. da; F.

A. F. LINS (Editores). **Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. p. 449 a 470.

BARBOSA, M. Z. S.; SILVA, A. C. da. Estudo da Reciclagem do Resíduo de Gesso da Construção Civil. In: **SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL – ENARC**, 2, 2011, Maceió. Anais.

BERNHOEFT, L. F. **Caracterização de propriedades físicas e mecânicas de argamassa com gesso reciclado**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado - Construção Civil), Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica. Recife: UPE. 2010.

BERNHOEFT, L. F.; GUSMÃO, A. D.; TAVARES, Y. V. P. **Influência da adição de resíduo de gesso no calor de hidratação da argamassa de revestimento interno**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 189-199, abr.-jun. 2011.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. Tradução: Leda Maria Marques Dias Beck. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

BESSLER, K. E.; RODRIGUES, L. C. **Os polimorfos de carbonato de cálcio – uma síntese fácil de aragonita**. Quim. Nova, Vol. 31, No. 1, 178-180, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v31n1/a32v31n1.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2014.

BEZERRA, M. S. **Perfil técnico da gipsita**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia/Banco Mundial. Relatório Técnico 34, 27 p., 2009. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P24_RT34_Profil_da_Gipsita.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2014.

BIANCHI, C.; BIANCHI, L.; FREIRE, J. M.; MENDONÇA, J. E.; **Estudo de Impacto Ambiental - EIA: Mineração de gipsita em Morro Redondo, Santana do Cariri, estado do Ceará**. Fortaleza, 2010.

BORGES, L. A. de F. **Gerenciamento ambiental de projetos de mineração: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral). Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

BRASIL. **Lei nº 6938, 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. DOU: Brasília, 31 de agosto de 1981.

_____. **Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. DOU: Brasília, 17 de fevereiro de 1986.

_____. **Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989**. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. DOU: Brasília, 12 de abril de 1989.

_____. **Resolução CONAMA nº 237, de 22 de dezembro de 1997**. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. DOU: Brasília, 22 de dezembro de 1997.

_____. **Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002.** Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências. DOU: Brasília, 10 de julho de 2002.

_____. **Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002.** Dispõe sobre gestão dos resíduos da construção civil. Brasília: DOU, 2002.

_____. **Resolução CONAMA nº 306, de 5 de julho de 2002.** Estabelece os requisitos mínimos e o termo de referência para realização de auditorias ambientais. DOU: Brasília, 19 de julho de 2002.

_____. **Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 431, de 24 de maio de 2011.** Altera o Art. 3º da Resolução nº 307/ 2002. Brasília: DOU, 2011.

CAMÕES, A.; CARDOSO, C.; CUNHA, S.; VASCONCELOS, G.; MEDEIROS, P.; EIRES, R.; JALALI, S.; LOURENÇO, P. Caracterização de materiais compósitos à base de gesso FGD. **Mecânica Experimental – Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões**, v. 20, p. 79-88, 2012.

CAMPOS, F. H. A. **Análise do ciclo de vida na construção civil:** um estudo comparativo entre vedações estruturais em painéis pré-moldados e alvenaria em blocos de concreto. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. 2012.

CANUT, M. M. C. **Estudo da viabilidade do uso do resíduo fosfogesso como material de construção.** 2006. 153p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

CHARLIER, F.; JÚNIOR, C. Q. O SIG como ferramenta para a gestão ambiental em uma ferrovia. **ENGEVISTA**, v. 6, n. 3, p. 25-35, 2004.

COLTRO, L. Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão. **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão.** Campinas: CETEA/ITAL, 2007.

COMISSÃO Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso futuro comum.** Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1988. 430p.

CRETA: **Tecnologias de Reciclagem Aplicadas a Construção Civil – Resíduos de Construção e Demolição.** Disponível em: <<http://www.cretatec.com.br>>. Acesso em: 18 junho. 2012.

EcoInvent Centre. Disponível em: <<http://www.ecoinvent.org/>>. Acesso em: 16 set. 2014.

FARIAS, T. Q. Aspectos gerais da política nacional do meio ambiente – comentários sobre a Lei nº 6.938/81. In: **Âmbito Jurídico**, Rio Grande, IX, n. 35, dez 2006. Disponível em: <http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=1544>. Acesso em: 29 out. 2013.

FONSECA, F. F. A. Mineração e ambiente. In: TAUKE-TORNISIELO, S. M.; GOBBI, N.; FOWLER, H. G. (Org.). **Análise ambiental**: uma visão multidisciplinar. 2ª Edição revista e ampliada. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1995. – (Natura Naturata).

GALENO, G. **COEMA aprova Resolução que atualiza critérios e parâmetros do processo de licenciamento ambiental**. Informativo da Superintendência Estadual do Meio Ambiente. Ano III, n. 12, p. 3, mar – abr. 2012. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/wp-content/uploads/2010/10/jornal12.pdf>>. Acesso em: 5 mar. 2014.

INSTITUTO Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **EIAs – Relatórios – Monitoramento disponíveis**. Sistema Informatizado de Licenciamento Ambiental Federal. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/licenciamento/>>. Acesso em: 4 mar. 2014.

INTERNATIONAL Association for Impact Assessment – IAIA. **O que é Avaliação de Impacto?** 2014. Disponível em: <http://www.iaia.org/publicdocuments/special-publications/What%20is%20IA_pt.pdf?AspxAutoDetectCookieSupport=1Z>. Acesso em: 1 mar. 2014.

KHALILI, N. R. **Practical Sustainability**: From Grounded Theory to Emerging Strategies. Palgrave MacMillan: New York. 2011.

KHALILI, N. R.; DUECKER, S. **Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework**. Journal of Cleaner Production, n. 47, p.188-198, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.044>>. Acesso em: 9 set. 2013.

KULAY, L. A.; SEO, E. S. M. **Orientações Conceituais para Elaboração de Inventários de Ciclo de Vida**. Revista Interfacehs – Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente. 2010

LEMOS, H. M. **As normas ISO 14000**. Instituto Brasil PNUMA. Comitê Brasileiro do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. 2014. Disponível em: <<http://www.brasilpnuma.org.br/saibamais/iso14000.html>>. Acesso em: 21 fev. 2014.

LUZ, A. B. da; CAMPOS, A. R. de; CARVALHO, E. A. de; BERTOLINO, L. C. Caulim. In: LUZ, A. B. da; LINS, F. A. F. (Editores) **Rochas & Minerais Industriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. p. 231-262.

LYRA SOBRINHO, A. C. P. de. et al. **Gipsita**. Balanço Mineral Brasileiro 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/gipsita.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2014.

LYRA SOBRINHO, A. C. P. de ; AMARAL, A. J. R. do; DANTAS, J. O. C. **Gipsita**. 2003. Departamento Nacional de Produção Mineral – Pernambuco. Disponível em: <http://www.dnpm-pe.gov.br/Trabalhos/Sumario_Gipsita_04.pdf> Acesso em: 19 fev. 2014.

LYRA SOBRINHO, A. C. P. de; AMORIM NETO, A. A.; DANTAS, J. O. C. **Gipsita**. 2010. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral 2010. Disponível em:

<https://sistemas.dnrm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=6377>. Acesso em: 16 fev. 2014.

MAHONEY, D.; MILLER, P.; ADAMS, M.; SURGI, R.; LYONS, C. Environmental, health, & safety impact of common water resistant additive technologies in gypsum wallboard production. In: 10TH GLOBAL GYPSUM CONFERENCE, 2010, Paris. **Anais...** Disponível em: <http://henry.com/pdf/whitepaper/EHS_Global_Gypsum_Conference.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2014.

MEGATECH International Private Limited. **Planta de gesso sintético**. 2014. Disponível em: <<http://www.cement-plant.com/portuguese/planta-acido-sulfurico.html#planta-de-gesso-sintetico>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

MENDES, N. C. **Métodos e modelos de caracterização para a avaliação de impacto do ciclo de vida**: análise e subsídios para a aplicação no Brasil. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos e Gestão de Operações. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

MOREIRA, I. V. D. **Avaliação de impacto ambiental**. Rio de Janeiro, FEEMA, 1985.

ARAUJO NETO, T. L. **Problemas gerados pela extração de rochas e propostas para mitigação do impacto sonoro**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica), COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

OMETTO, A. R. **Discussão sobre os fatores ambientais impactados pelo setor sucroalcooleiro e a certificação socioambiental**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

_____. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

_____, A. R.; TACHARD, A. L. Gestão Ambiental do Ciclo de Vida do Produto: A Ferramenta “Avaliação do Ciclo de Vida”. In: PIMENTA, H. C. D.; GOUVINHAS, R. P. (Org.) **Ferramentas de Gestão Ambiental**: Competitividade e Sustentabilidade. Natal: Editora do CEFET-RN, 2008. p. 49-80.

PEREIRA, T. C. B.; LIMA, L. M. R. Redução das emissões de monóxido de carbono em calcinadoras da Chapada do Araripe-PE. In: SOUSA, A. A. P. et al. (Org.). **Agenda ambiental**: gestão socioambiental. Campina Grande: EDUEPB, 2011.

PERES, W. R.; BAHADIAN, S. M.; VIEIRA, A. C.; SILVA, E. R. da. **As normas da série ISO 14000**: contexto histórico e análise crítica. In: VI CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO: Energia, Inovação, Tecnologia e Complexidade para a Gestão Sustentável. Niterói, RJ, Brasil, ago, 2010.

PIMENTEL, G; PIRES, S. H. **Metodologias de avaliação de impacto ambiental: aplicação e seus limites**. Revista de Administração Pública. Vol. 26, n. 1. 1992.

PINHEIRO, S. M. de M. **Gesso Reciclado: Avaliação de Propriedades para Uso em Componentes**. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2011. 352p. Tese (Doutorado). Departamento de Arquitetura e Construção, UNICAMP, 2011.

POMPÉIA, S. L. (Responsável técnico). **Estudo de Impacto Ambiental (EIA) – Santa Rita S.A. – Terminais Portuários**. Consultoria Paulista de Estudos Ambientais Ltda – CPEA. 2009. Disponível em:
<<http://licenciamento.ibama.gov.br/Porto/Terminal%20Portuario%20Brites/EIA/>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

PRÉ *et al.* **SimaPro Database Manual**: Methods library. Report version 2.6. May 2014. Disponível em: <<http://www.pre-sustainability.com/download/DatabaseManualMethods.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2014.

QUEIROGA, A. F. F.; LIMA, L. M. R. Emissões gasosas na combustão de lenha no processo de calcinação de gesso na Região do Araripe – PE. In: **Agenda ambiental: gestão socioambiental**. SOUZA, A. A. P de; OLIVEIRA, D. F. de; FARIAS, G. G. de; JORDÃO, M. T. (Organizadores). Campina Grande: EDUEPB, 2011.

RESÍDUOS de gesso na construção civil: coleta, armazenagem e reciclagem. Associação Brasileira do Drywall. 2012. Disponível em:
<<http://www.sindusconsp.com.br/img/meioambiente/22.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2014.

RIBEIRO, A. S. **Produção de gesso reciclado a partir de resíduos oriundos da construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006. 86 p.

ROMEY, C. C. **Aplicação da avaliação do ciclo de vida: um estudo de caso para sabonetes cosméticos**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química. São Paulo, 2013.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental**: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 495 p.

SANTANA, A.; CASTILHO, R.; FARIAS, T.; MARTINELLI, T. **O fruto da reciclagem**. GREEN Building. Ano I, n. 4, mar-abr. 2013.

SEVERO, E. F. **Impactos ambientais**: o grande desafio para o crescimento sustentável da indústria do gesso pernambucano. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, 2011.

SHARPE, R.; CORK, G. Gypsum and anhydrite. **Industrial minerals & rocks**. 7th edition: Littleton, Colo. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc, p. 519-540, 2006.

SILVA, A. C. da. **Registro fotográfico de visita técnica à mineradora e fabrica de gesso localizada em Santana do Cariri, Ceará**. 2012.

SOUZA, M. P. de. **Texto extraído do livro “Instrumentos de Gestão Ambiental: fundamentos e prática” de autoria de Marcelo Pereira de Souza.** São Carlos: Riani Costa. 2000. Disponível em: <http://www.eesc.usp.br/ppgshs/files/recursos_ambientais.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2013.

STROH, P. Y.; SANTOS, E. C.; TONET, H. C.; BOAS, M. V.; LOPES, R. G.; FARIA, S. C. **Avaliação de impacto ambiental: agentes sociais, procedimentos e Ferramentas.** ABSY, M. L.; ASSUNÇÃO, F. N. A.; FARIA, S. C. de (coordenação e adaptação). Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1995.

SUPERINTENDÊNCIA Estadual do Meio Ambiente – SEMACE. **Histórico.** 2014. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br/institucional/a-semace-2/historico/>>. Acesso em: 2 mar. 2014.

TAVARES, Y. V. P.; JÚNIOR, A. C. L.; SCHMITZ, I. B. T. A. JOHN, V. M. **Reaproveitamento do resíduo de gesso interno na execução de revestimento interno vertical.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 103-119, jan.-mar. 2010.

TROVÃO, A. P. M. **Pasta de gesso com incorporação de resíduo de gesso e aditivo retardador de pega.** 2012. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME-UNEP/ SWEDISH INTERNATIONAL DEVELOPMENT COOPERATION AGENCY-SIDA -Project. **Applying Cleaner Production to Multilateral Environmental Agreements.** Global Status Report. United Nations Environment Programme, Division of Technology, Industry and Economics.2006.

VENTA, GLASSER & ASSOCIATES. Life cycle analysis of gypsum board and associated finishing products. Ottawa, Canada. 1997.

VIANA, M. B. **Licenciamento Ambiental de Minerações em Minas Gerais: novas abordagens de gestão.** 2007. 305 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável), Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.