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

ELISABETH MARIA FERREIRA SEVERO

IMPACTOS AMBIENTAIS: O GRANDE DESAFIO PARA O CRESCIMENTO SUSTENTÁVEL DA INDÚSTRIA DO GESSO PERNAMBUCANO

Recife, PE
2011

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

ELISABETH MARIA FERREIRA SEVERO

IMPACTOS AMBIENTAIS: O GRANDE DESAFIO PARA O CRESCIMENTO SUSTENTÁVEL DA INDÚSTRIA DO GESSO PERNAMBUCANO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Área de concentração: Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Cardim Carvalho Filho
Co-Orientadora: Prof[a]. Dra. Fátima M. M. Brayner

Recife, PE
2011

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

Severo, Elisabeth Maria Ferreira
S247i Impactos ambientais: o grande desafio para o crescimento sustentável da indústria do gesso pernambucano/ Elisabeth Maria Ferreira Severo. – Recife: UPE, Escola Politécnica, 2011.
125 f.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Cardim Carvalho Filho
Co-Orientadora: Profa. Dra. Fátima Ma. Miranda Brayner
Dissertação (Mestrado - Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2011.

1.Sustentabilidade 2. Impactos Ambientais 3. Gesso 4. Modais 5.Avaliação do Ciclo de Vida. I. Construção Civil - Dissertação II. Cardim, Arnaldo Carvalho Filho (orient.) III. Brayner, Fátima Maria Miranda (Co-orient.) IV. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Mestrado em Construção Civil. IV. Título.

CDU 624.01

ELISABETH MARIA FERREIRA SEVERO

IMPACTOS AMBIENTAIS: O GRANDE DESAFIO PARA O CRESCIMENTO SUSTENTÁVEL DA INDÚSTRIA DO GESSO PERNAMBUCANO

BANCA EXAMINADORA:

Orientador:

_____

Prof. Dr. Arnaldo Cardim de Carvalho Filho
Universidade de Pernambuco

Co-Orientadora:

_____

Profa. Dra. Fátima Maria Miranda Brayner
Universidade de Pernambuco

Examinadora interna:

_____

Profa. Dra. Yêda Vieira Póvoas Tavares
Universidade de Pernambuco

Examinadores externos:

_____

Profa. Maria da Graça de Vasconcelos Xavier Ferreira, Ph.D
Universidade Católica de Pernambuco

_____

Prof. Dr. José Antonio Dominguez Lepe
Instituto Tecnológico de Chetumal, México

Recife, PE
2011

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Maria Alice (in memoriam) e Osvaldo pelo exemplo de vida, pelo amor, compreensão que sempre me deram.

A meu esposo, Selim, por estar sempre compartilhando de todos os momentos da minha vida e por ser o grande incentivador do meu crescimento acadêmico.

A minhas filhas, Alice e Letícia, por estarem no meu caminho.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, pai maior, criador de tudo e todos.

Ao Prof. Dr. Arnaldo Cardim Carvalho Filho pela orientação, pelos ensinamentos, pela liberdade e por me fazer sentir capaz.

Aos Profs. Alexandre Duarte Gusmão e Fátima Brayner por suas observações na qualificação do Projeto da minha dissertação.

À Profa. Stela Fucale pelo incentivo e conselhos sempre sábios.

À Profa. Yêda Póvoas Tavares pela paciência e pelo apoio na revisão do Projeto da minha dissertação.

À Lúcia Rosani, secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil-PEC que, incansavelmente e com muita paciência, orienta todos os alunos nas questões acadêmicas.

À Tereza Laranjeiras pelo apoio e conselhos no momento da qualificação do meu Projeto de Dissertação.

À todos colegas do PEC que compartilharam comigo o crescimento acadêmico.

À todos os profissionais que compõem o PEC.

À Antônio Christino P. de Lyra do DNPM/PE, maior conhecedor das questões envolvendo o Pólo Gesseiro do Araripe, gipsita e seus derivados, que disponibilizou seus inúmeros trabalhos para que fosse possível enriquecer a minha dissertação.

À Maria do Carmo Tavares da Silva do ITEP/PE por disponibilizar arquivo com informações levantadas sob sua coordenação no CPRH/PE nos anos 2003 e 2005.

À Lucinha por abrir às portas do CPRH/PE para obter dados e informações dos levantamentos ambientais do Pólo Gesseiro do Araripe.

À Alexandre Santos, presidente do Clube de Engenharia de Pernambuco, por ter me possibilitado conhecer a diversidade do Pólo Gesseiro do Araripe através da Rodada Araripe de 2010, na qual tive a grata satisfação de conhecer dois ícones do desenvolvimento de Pernambuco, os Drs. Leonardo Sampaio e Sebastião Campelo.

Ao empresário Engo. Josias Inojosa por ter aberto as portas das suas indústrias de mineração e calcinação para que pudesse conhecer todos os processos que envolvem a cadeia produtiva do gesso.

Às amigas Vera e Marisa da fiscalização do IBAMA-PE que, sempre estiveram disponíveis a colaborar com a minha pesquisa.

À todos que, diretamente ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho, meus agradecimentos.

EPÍGRAFE

“A coisa mais indispensável a um homem é reconhecer o uso que deve fazer do seu próprio conhecimento”.

Platão

IMPACTOS AMBIENTAIS: O GRANDE DESAFIO PARA O CRESCIMENTO SUSTENTÁVEL DA INDÚSTRIA DO GESSO PERNAMBUCANO

Elisabeth Maria Ferreira Severo – esevero@hotlink.com.br
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil
Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco

RESUMO

Um dos maiores obstáculos ao crescimento industrial nacional reside nos impactos ambientais que acarretam redução do potencial competitivo das empresas brasileiras. Sendo o mercado internacional altamente competitivo e com critérios rigorosos principalmente nas importações de matérias-primas e bens acabados, verifica-se a grande importância de produtos que diminuam os impactos e danos ao meio ambiente. Nesse contexto, destaca-se a indústria brasileira do gesso, que na última década vem apresentando uma crescente expansão comercial, grande geradora de empregos diretos e indiretos. Por outro lado, de um modo geral, a indústria gesseira nacional ainda não utiliza plenamente recursos tecnológicos e modais adequados que permitam a minimização dos impactos ambientais em toda cadeia produtiva. O objetivo principal deste trabalho é detectar os impactos ambientais envolvidos no processo produtivo e no transporte da gipsita e seus derivados do Pólo Gesseiro de Pernambuco. Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dados e informações disponíveis em órgãos governamentais e empresas relacionadas ao tema, com o intuito de se avaliar o ciclo de vida, trazendo uma nova proposta para o transporte e para a cadeia produtiva do gesso pernambucano.

Palavras-chave: Sustentabilidade, impactos ambientais, gesso, modais, avaliação do ciclo de vida.

ENVIRONMENTAL IMPACTS: THE BIG CHALLENGE FOR SUSTAINABLE GROWTH GYPSUM OF PERNAMBUCO

Elisabeth Maria Ferreira Severo – esevero@hotlink.com.br
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil
Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco

ABSTRACT

One of the biggest obstacles to the national industrial growth inhabits in the ambient impacts that cause reduction of the competitive potential of the Brazilian companies. Considering that the international market is highly competitive and that imposes rigorous criteria, mainly in the importations of raw materials and finished goods, it becames essential to the manufacture of products that reduce the impacts and damages to the environment. In this context, it is distinguished Brazilian industry of the plaster, that in the last decade comes presenting an increasing commercial expansion, consolidating in a major generator of direct and indirect Jobs. On the other hand, in a general way, the national gypsum industry has not fully utilize technological and modal resources that allow the minimization of the environment impacts throughout the productive chain. The main objective of this work is to detect environmental impacts involved in the productive process and transport gypsum from the Plasterer Pole of Pernambuco. For the development of the work it was used data and information available to governnment agencies and companies related to the subject in order to assess the life cycle, bringing a new proposal for the transportation and supply chain for the gypsum of Pernambuco.

Keywords: Sustainability, environmental impacts, plaster, modal, life cycle assessment.

LISTA DE SIGLAS

ABNT	- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ACV	- AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA
ANAC	- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL
ANTF	- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES FERROVIÁRIOS
ANTT	- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES
APL	- ARRANJO PRODUTIVO LOCAL
BPF	- BAIXO PONTO DE FLUIDEZ
CIB	- CONSEIL INTERNATIONAL DU BÀTIMENT
CIC	- CÂMARA INTERNACIONAL DO COMÉRCIO
CIDB	- CONSTRUCTION INDUSTRY DEVELOPMENT BOARD
CEE	- CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA
CETEM	- CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL
CEU	- CONSUMO ESPECÍFICO UNITÁRIO
CFEM	- COMPENSAÇÃO FINANCEIRA PELA EXPLORAÇÃO DE RECURSOS MINERAIS
CETESB	- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
CLT	- CONSOLIDAÇÃO DAS LEIS DO TRABALHO
CNI	- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS
CNT	- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES
CNUMAD	- CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E O DESENVOLVIMENTO
CONAMA	- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
CONFEA	- CONSELHO FEDERAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA
CPRH	- AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS
CSIR	- CONCIL FOR SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH
DEM	- DIVISÃO DE ECONOMIA MINERAL DO DNPM
DIDEM	- DIRETORIA DE DESENV. E ECONOMIA MINERAL DO DNPM
DIPAR	- DIVISÃO DE PLANEJAMENTO E ARRECADAÇÃO DO DNPM
DOT	- US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
DNPM	- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL
EIA	- ESTUDO DO IMPACTO AMBIENTAL
EUA	- ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA
GLP	- GÁS DE PÉTROLEO LIQUEFEITO
GPS	- GLOBAL POSITIONING SYSTEM
IBAMA	- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
IBGE	- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
IDHm	- ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO MÉDIO
IPCC	- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE
ISO	- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION
ITEP	- INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO
MDIC-SECEX	- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR
MERCOSUL	- MERCADO COMUM DO SUL
MF – SRF	- MINISTÉRIO DA FAZENDA – SUPERINTENDÊNCIA DA RECEITA FEDERAL
MME	- MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA
MT	- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

NBR	- NORMA BRASILEIRA
OMC	- ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DO COMÉRCIO
PIB	- PRODUTO INTERNO BRUTO
PNMA	- PROGRAMA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
PROCONVE	- PROGRAMA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR POR VEÍCULOS AUTOMOTORES.
RIMA	- RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL
SEBRAE/NA	- SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICROS E PEQUENAS EMPRESAS- NACIONAL
SECTMA	- SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE
SENAI	- SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL
SETAC	- SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY
SINDIBRITA	- SINDICATO DA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO DE BRITA
SINDUSCON	- SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONTRUÇÃO CIVIL
SINDUSGESSO	- SINDICATO DA INDÚSTRIA DO GESSO
SISNAMA	- SISTEMA NACIONAL DE MEIO AMBIENTE
UE	- UNIÃO EUROPÉIA
UFPE	- UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
UNCED	- UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT
UNEP	- UNITED NATION ENVIRONMENT PROGRAMME
UPE	- UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - CONSUMO PER-CAPITA 2000 a 2005(kg/Hab./Ano)..... 27
Figura 2 - FATURAMENTO DO GESSO NO BRASIL – 1999 A 2006 27
Figura 3 - MATRIZ DE TRANSPORTE DE CARGAS BRASILEIRAS – 2006..... 33
Figura 4 - EMISSÃO DE CO_2 38
Figura 5 - EMISSÕES DE NOx.....38
Figura 6 - ESTÁGIOS DO CICLO DE VIDA.....42
Figura 7 - FASES DA ACV 44
Figura 8 - TRIPLE BOTTOM LINE..... 60
Figura 9 - MAPA DO PROGRAMA DE SUSTENTABILIDADE DOS PEQUENOS.....63
Figura 10 - LOCALIZAÇÃO DO PÓLO DO ARARIPE 67
Figura 11 - VISTA DE SATÉLITE DO CENTRO URBANO DE ARARIPINA.....68
Figura 12 - VISTA DE SATÉLITE DO DESMATAMENTO DO POLO GESSEIRO..... 68
Figura 13 - DESMONTE DE ROCHOSO COM DINAMITE..... 70
Figura 14 - PROCESSO RUDIMENTAR DE COMINUIÇÃO..... 71
Figura 15 - CALCINADORA UTILIZANDO LENHA COMO ENERGÉTICO..... 73
Figura 16 - POLUIÇÃO NO AMBIENTE DA CALCINADORA.....73
Figura 17 - TRANSPORTE RODOVIÁRIO DO GESSO.....76
Figura 18 - CONDIÇÕES PRECÁRIAS DE TRANSPORTE DO GESSO.....77
Figura 19 - FLUXOGRAMA DO CICLO DE VIDA DO GESSO.....80
Figura 20 - ENERGÉTICOS X EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POLUENTES NA CALCINAÇÃO.....86
Figura 21 - EMISSÕES ATMOSFÉRICAS TOTAIS X SUBST. MATRIZES ENERGÉTICAS 90
Figura 22 - FLUXOGRAMA DO TRANSPORTE DO GESSO-NORDESTE – ATUAL..... 96
Figura 23 - FLUXOGRAMA DO TRANSPORTE DO GESSO-SUL/SUDESTE-ATUAL..... 96
Figura 24 - FLUXOGRAMA DO TRANSP. DO GESSO-NORDESTE-PROPOSTA..... 97
Figura 25 - FLUXOGRAMA DO TRANSP. DO GESSO-SUL/SUDESTE-PROPOSTA.....97
Figura 26 - FLUXOGRAMA DO TRANSPORTE DO GESSO-EXPORTAÇÃO-ATUAL..... 97
Figura 27 - FLUXOGRAMA DO TRANSP. DO GESSO-EXPORTAÇÃO-PROPOSTA.....98

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - PIB-MINERAL: EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO PIB – BRASIL 21

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA TEÓRICA DA GIPSITA 22
Quadro 2 - PROPRIEDADES FÍSICAS DO MINERAL GIPSITA 23
Quadro 3 - RESERVAS DE GIPSITA NO BRASIL – 2008 25
Quadro 4 - MINAS DE GIPSITAS NO BRASIL – 2000 e 2008..... 26
Quadro 5 - PRODUÇÃO DO GESSO NO BRASIL de 1999 a 2006 em 10^3 ton 26
Quadro 6 - MATRIZ DE TRANSPORTE DE CARGA – 1993 e 2010..... 37
Quadro 7 - PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS..... 56
Quadro 8 - PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS (CONTINUAÇÃO)..... 57
Quadro 9 - PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS (CONTINUAÇÃO)..... 58
Quadro 10 - PRINCIPAIS LEIS E RESOLUÇÕES AMBIENTAIS BRASILEIRAS..... 64
Quadro 11 - GESTÃO SUSTENTÁVEL DAS MATÉRIAS-PRIMAS – EU 66
Quadro 12 - PRINCIPAIS ESTATÍSTICAS-SETOR DO GESSO-BRASIL-2005A 2007..... 69
Quadro 13 - COMPARATIVO DAS CARACTERÍSTICAS DO POLO GESSEIRO..... 74
Quadro 14 - TIPOLOGIA DAS EMPRESAS DO POLO GESSEIRO 81
Quadro 15 - EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR ATIVIDADE X MUNICÍPIO..... 82
Quadro 16 - EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR ATIVIDADE IND.X MUNICÍPIO..... 83
Quadro 17 - EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR MUNICÍPIO-TONELADA-HORA..... 84
Quadro 18 - MATRIZ ENERGÉTICA DAS CALCINADORAS DO POLO GESSEIRO..... 84
Quadro 19 - EMISSÕES MÉDIAS DE MATERIAL PARTICULADO..... 85
Quadro 20 - EMISSÕES MÉDIAS DE ÓXIDO DE NITROGÊNIO..... 85
Quadro 21 - EMISSÕES MÉDIAS DE DIÓXIDO DE ENXOFRE..... 86
Quadro 22 - EMISSÕES DE MP EM KG/H – SITUAÇÃO ATUAL 87
Quadro 23 - EMISSÕES DE MP EM KG/H–SUBSTITUIÇÃO DE 30% DOS ENERGÉTICOS.... 87
Quadro 24 - EMISSÕES DE MP EM KG/H–SUBSTITUIÇÃO DE 50% DOS ENERGÉTICOS..... 87
Quadro 25 - EMISSÕES DE NO_X EM KG/H–SITUAÇÃO ATUAL..... 88
Quadro 26 - EMISSÕES DE NO_X EM KG/H–SUBST. DE 30% DOS ENERGÉTICOS..... 88
Quadro 27 - EMISSÕES DE NO_X EM KG/H–SUBST. DE 50% DOS ENERGÉTICOS..... 88
Quadro 28 - EMISSÕES DE SO_2 EM KG/H–SITUAÇÃO ATUAL..... 89
Quadro 29 - EMISSÕES DE SO_2 EM KG/H–SUBST. DE 30% DOS ENERGÉTICOS..... 89
Quadro 30 - EMISSÕES DE SO_2 EM KG/H–SUBST. DE 50% DOS ENERGÉTICOS..... 89
Quadro 31 - EMISSÕES TOTAIS-FUNÇÃO SUBST. DAS MATRIZES ENERGÉTICAS.....90
Quadro 32 - EMPRESAS COM ÍNDICE DE EMISSÕES SUPERIORES-CPRH-PE..... 92
Quadro 33 - EMPRESAS COM ÍNDICE DE EMISSÕES SUPERIORES-POR ATIV..... 93
Quadro 34 - PERCENTUAL DE EMPRESAS QUE EXCEDEM EMISSÕES DE MP..... 93
Quadro 35 - COMPONENTES E SUBSTÂNCIAS LIBERADOS - TRANSPORTE..... 99
Quadro 36 - FATOR DE CARACTERÍZAÇÃO PARA CATEGORIA DE IMPACTO 99
Quadro 37 - COMPONENTE FATOR DE PESO PARA CATEGORIA DE IMPACTO.....100
Quadro 38 - CAPACIDADE DE CARGA DOS MODAIS 100
Quadro 39 - DISTÂNCIAS ENTRE PONTOS DOS TRAJETOS 101
Quadro 40 - CONSUMO DE COMBUSTÍVEL POR CENÁRIO 101
Quadro 41 - POTENCIAL DE IMPACTO CENÁRIO I – TRECHO ÚNICO..... 102
Quadro 42 - POTENCIAL DE IMPACTO CENÁRIO II – TRECHO ÚNICO..... 102
Quadro 43 - POTENCIAL DE IMPACTO CENÁRIO III-TRECHO 1:FERROVIÁRIO..... 103
Quadro 44 - POTENCIAL DE IMPACTO CENÁRIO III-TRECHO 2:RODOVIÁRIO..... 103
Quadro 45 - POTENCIAL DE IMPACTO CENÁRIO III..... 103
Quadro 46 - POTENCIAL DE IMPACTO CENÁRIO IV-TRECHO 1:FERROVIÁRIO..... 104
Quadro 47 - POTENCIAL DE IMPACTO CENÁRIO IV-TRECHO 2:AQUAVIÁRIO..... 104
Quadro 48 - POTENCIAL DE IMPACTO CENÁRIO IV-TRECHO 3:RODOVIÁRIO..... 104
Quadro 49 - POTENCIAL DE IMPACTO CENÁRIO IV..... 105
Quadro 50 - POTENCIAL DE IMPACTO CENÁRIO V-TRECHO 1:RODOVIÁRIO..... 105
Quadro 51 - POTENCIAL DE IMPACTO CENÁRIO V-TRECHO 2:AQUAVIÁRIO..... 105

Quadro 52 - POTENCIAL DE IMPACTO CENÁRIO V..... 106
Quadro 53 - POTENCIAL DE IMPACTO CENÁRIO VI-TRECHO 1:FERROVIÁRIO..... 106
Quadro 54 - POTENCIAL DE IMPACTO CENÁRIO VI-TRECHO 2:AQUAVIÁRIO..... 106
Quadro 55 - POTENCIAL DE IMPACTO CENÁRIO VI..... 107
Quadro 56 - CÁLCULO DO ÍNDICE DE DESTRUIÇÃO AMBIENTAL(CEN. I/III)..... 107
Quadro 57 - CÁLCULO DO ÍNDICE DE DESTRUIÇÃO AMBIENTAL(CEN. II/ IV)..... 107
Quadro 58 - CÁLCULO DO ÍNDICE DE DESTRUIÇÃO AMBIENTAL(CEN. V/VI)..... 108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - RESERVA E PRODUÇÃO MUNDIAL DE GIPSITA EM 2008-2009 24
Tabela 2 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DOS MODAIS 37
Tabela 3 – COMPARATIVO ENTRE OS MODAIS 39
Tabela 4 – DIFERENTES SOFTWARES PARA ACV 47
Tabela 5 – PRINCIPAIS FONTES DE ENERGIA POR ATIVIDADE..... 54
Tabela 6 – PARTICIPAÇÃO DO CONSUMO DE PETRÓLEO- PRINCIPAIS SETORES.....54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 17

1.1 JUSTIFICATIVA 18
1.2. OBJETIVOS 19
1.2.1 OBJETIVO GERAL 19
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 19
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO 19

2. CADEIA PRODUTIVA DO GESSO 21

2.1 A IMPORTÂNCIA DOS RECURSOS MINERAIS BRASILEIROS 21
2.2 MINERAL GIPSITA 22
2.3 RESERVAS, PRODUÇÃO E CONSUMO DE GIPSITA 23
2.3.1 CONTEXTO INTERNACIONAL 23
2.3.2 CONTEXTO NACIONAL 24
2.4 GESSO 27
2.5 TIPOS DE GESSO 29
2.5.1 GESSO ALFA 29
2.5.2 GESSO BETA 29
2.6 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO GESSO 30
2.6.1 MINERAÇÃO 30
2.6.2 EXTRAÇÃO DA GIPSITA 31
2.6.3 CALCINAÇÃO 31
2.7 TRANSPORTE DE CARGAS 32
- *MODAL RODOVIÁRIO 33*
- *MODAL FERROVIÁRIO 33*
- *MODAL AQUAVIÁRIO 35*
- *MODAL DUTOVIÁRIO 35*
- *MODAL AÉREO 36*

2.7.1 COMPARATIVO ENTRE OS PRINCIPAIS MODAIS 37
2.7.2 TRANSPORTE MULTIMODAL 40

3. A VISÃO DA SUSTENTABILIDADE 42

3.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA 42
3.1.1 ETAPAS BÁSICAS DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA 43
3.1.2 PRINCIPAIS BENEFÍCIOS DA ACV 45
3.1.3 SISTEMAS COMPUTACIONAIS PARA ACV 46
3.1.4 A IMPORTÂNCIA E LIMITAÇÃO DA ACV 51
3.2 IMPACTOS AMBIENTAIS 52
3.2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS E SUAS CONSEQUÊNCIAS 53
3.2.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E SUAS CONSEQUÊNCIAS 54
3.2.3 EMISSÕES POLUENTES E SEUS EFEITOS 55
3.3 SUSTENTABILIDADE 58
3.3.1 AGENDA 21 BRASILEIRA E DO SETOR MINERAL 60
3.3.2 LEGISLAÇÃO E NORMAS AMBIENTAIS BRASILEIRAS 63
3.3.3 LEGISLAÇÃO E NORMAS AMBIENTAIS INTERNACIONAIS 64

4. ESTUDO DE CASO 67

4.1 PÓLO GESSEIRO DE PERNAMBUCO 67
4.2 QUADRO ATUAL DO PÓLO GESSEIRO DE PERNAMBUCO 70

5. MÉTODOS 78

6. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO GESSO PERNAMBUCANO 79

6.1 ACV DA CADEIA PRODUTIVA DO GESSO 79

6.1.1 DADOS PARA A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA 81

6.1.2 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DO PROCESSO PRODUTIVO 82

6.1.3 MATRIZ ENERGÉTICA E EMISSÕES DAS CALCINADORAS 84

6.1.4 PROPOSTA PARA MINIMIZAÇÃO DAS EMISSÕES NA CADEIA PRODUTIVA DO GESSO 86

6.2 INDICADORES DOS IMPACTOS NA SAÚDE DA POPULAÇÃO 91

6.3 AVALIAÇAO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DO TRANSPORTE DOS PRODUTOS DO POLO GESSEIRO PERNAMBUCANO 94

6.3.1 APRESENTAÇÃO DO MODELO DE AVALIAÇÃO 94

6.3.2 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS 96

6.3.3 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS 98

6.4 INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE 108

6.4.1 PROCESSO PRODUTIVO 108

6.4.2 IMPACTOS NA SAÚDE DA POPULAÇÃO 109

6.4.3 MELHORIAS PARA O TRANSPORTE 109

7. CONCLUSÕES 111

REFERÊNCIAS 114

ANEXO I – TABELA A1 - INDÚSTRIAS E EMISSÕES DE RESÍDUOS ATMOSFÉRICOS 121

1. INTRODUÇÃO

O homem utiliza os recursos naturais como fonte de matéria prima com a finalidade única de satisfazer suas necessidades produtivas. A partir da década de 80, com o crescimento econômico internacional e com o maior intercâmbio de informações, um dado alarmante surgiu: o Planeta Terra estava sendo explorado e degradado sem nenhum critério, resultando em vários e violentos impactos ambientais (CHEHEBE, 1998). Com a constatação desses problemas, a sociedade começou a ter uma maior preocupação ambiental, o meio empresarial que antes só se preocupava com a produção e os lucros, começou a sentir que sua sobrevivência empresarial estava sendo seriamente ameaçada, sendo que nessa ocasião começou a implementar projetos de gestão ambiental e social, envolvendo a melhoria das condições gerais de trabalho, reduzindo os níveis de poluição e resíduos (JÖHR, 1994).

Apesar dessa problemática o mercado internacional tornou-se cada vez mais competitivo e exigente no quesito ambiental.

Hoje, além das barreiras tarifárias, técnicas e sanitárias, existem também as questões relacionadas com o cumprimento das legislações trabalhistas, que visam proteger o emprego e as condições do trabalhador, as legislações ambientais que tem o objetivo de preservar e proteger o meio ambiente das agressões da produção sem controle ambiental (MAIA, 2000).

O Brasil é um país com dimensões continentais e com abundantes reservas naturais de qualidade, dentre as quais se destaca a gipsita, de onde deriva o gesso.

O gesso pode ser aplicado de diversas formas na construção civil (na indústria de porcelanas, na indústria de produtos cerâmicos (louças e sanitários), na indústria do cimento), na agricultura, na odontologia e na ortopedia, entre outras.

A indústria gesseira nacional encontra-se em franca expansão, mas ainda existem deficiências em seu processo produtivo e na gestão de transportes acarretando impactos que podem diminuir suas vantagens competitivas (NASCIMENTO *et al*, 2006). Observa-se que algumas ações vêm sendo implementadas tais como: a Ferrovia Transnordestina, Adutora do Oeste e a fiscalização para controle predatório da caatinga, porém, ainda são insuficientes para assegurar a sustentabilidade do setor gesseiro brasileiro.

1.1 JUSTIFICATIVA

No contexto internacional, o Brasil é conhecido por sua grande extensão territorial e pelas inúmeras riquezas naturais. O Araripe pernambucano possuiu uma gipsita com alto teor de pureza e no Brasil é a mais viável economicamente devido a sua forma a céu aberto. Segundo o Sindusgesso (2009), atualmente o Pólo Gesseiro do Araripe gera 13,2 mil empregos diretos e 66 mil empregos indiretos e sua matéria prima é muito empregada na agricultura, na odontologia e na construção civil. Na construção civil, o gesso utilizado em revestimento de paredes, placas, blocos, painéis, pode perfeitamente substituir a cal, o cimento, a madeira e blocos cerâmicos.

As indústrias de calcinação e de pré-moldados são compostas de 93% de micros e pequenas empresas, com um faturamento anual de cerca de R$1,2 bilhão /ano sendo indiscutível a importância desse arranjo produtivo para o desenvolvimento do estado de Pernambuco (SINDUSGESSO, 2007).

O gesso que tinha classificação “C” (Resolução CONAMA 307/2002), ou seja, produto sem processo ou tecnologia de reciclagem viável, passa através da Resolução CONAMA 431 de 24/05/2011 a ser classificado como “B” passível de reciclagem, reforçando a necessidade de se ampliarem os estudos da aplicabilidade deste versátil produto (CONAMA, 2011).

Na cadeia produtiva da construção civil um dos elementos utilizados é o gesso, por ser um material mais leve, econômico, resistente ao fogo, de fácil trabalhabilidade. Seus principais subprodutos aplicados na construção civil são: blocos divisórios, gesso para revestimento, placas de gesso, na fabricação do cimento entre outros.

Verifica-se através de vários estudos realizados no Pólo Gesseiro de Pernambuco que os processos de exploração, produção e logística do gesso, ainda não são os mais adequados, resultando em emissões tóxicas na atmosfera causando impactos ao meio ambiente e problemas à saúde humana.

Sendo assim se fez necessário um levantamento dos pontos críticos ambientais da indústria gesseira do Polo do Araripe com a finalidade de propor um novo Quadro que disponibilize às autoridades governamentais e privadas informações para a melhoria do sistema.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Detectar os impactos ambientais e propor um novo quadro para o processo produtivo e de transporte do Gesso Pernambucano que venha a colaborar com a sustentabilidade do Polo Gesseiro de Pernambuco.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar e analisar os principais impactos ambientais relacionados à produção e o transporte do gesso do Pólo Gesseiro de Pernambuco.
- Avaliar e interpretar os impactos ambientais relacionados à produção e ao transporte, ou seja, emissões de poluentes e de materiais particulados, utilizando o ciclo de vida do gesso e inventários da CPRH-PE.
- Propor um novo Quadro que contemple medidas para a minimização das emissões atmosféricas e de materiais particulados que possa contribuir para a melhoria do sistema colaborando com a sustentabilidade da cadeia produtiva do Pólo Gesseiro de Pernambuco.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho esta dividido em 7 capítulos.

Capítulo 1 – “INTRODUÇÃO” contendo justificativa, objetivos e a estruturação do trabalho.

Capítulo 2 – “CADEIA PRODUTIVA DO GESSO” – Trata dos principais temas relacionados com o produto gesso: reservas, produção e consumo nos contextos nacional e internacional; tipos de gesso e suas aplicações; processo de produção (mineração e calcinação) e os principais modais de carga com comparativo.

Capítulo 3 – “A VISÃO DE SUSTENTABILIDADE” – Apresenta a avaliação do ciclo de vida (ACV) conforme NBR ISO 14040 (ABNT, 2009): etapas básicas, principais benefício; sistemas computacionais; importância e limitações; impactos ambientais, poluição atmosférica e suas consequências; emissão de poluentes e seus efeitos; sustentabilidade;

Agenda 21 Brasileira e do Setor Mineral; Legislações e Normas Ambientais Brasileiras e Internacionais.

Capítulo 4 – “ESTUDO DE CASO” – Apresenta diagnóstico do Quadro atual do processo produtivo: mineração, calcinação e produtos derivados do Pólo Gesseiro de Pernambuco, bem como os modais utilizados no transporte do gesso.

Capítulo 5 – “MÉTODOS”- Traz os métodos utilizados no trabalho: construção de um arcabouço teórico; pesquisa exploratória de inventários da CPRH; utilização da ferramenta ACV conforme NBR ISO 14040 (ABNT, 2009) e do método de Iqbal & Hasegawa (2001) utilizado como modelo comparativo entre modais.

Capítulo 6 – “AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO GESSO PERNAMBUCANO” – onde consta a ACV da cadeia produtiva do gesso incluindo: levantamento de dados dos inventários da CPRH (emissões atmosféricas, matriz energética e emissões das calcinadoras); proposta de melhoria da cadeia produtiva; indicadores dos impactos na saúde da população; e avaliação dos impactos ambientais no transporte dos produtos do Pólo Gesseiro de Pernambuco com a utilização do método de Iqbal & Hasegawa (2001); definição dos cenários, avaliação dos impactos ambientais, com interpretação, análise e proposição de melhorias dos processos: produtivo; impactos ambientais da saúde; e no transporte.

Capítulo 7 – “CONCLUSÕES” - Traz a síntese da ACV do gesso pernambucano, com as principais propostas de melhorias aos sistemas: produtivo e do transporte. Por fim traz recomendações para a melhoria da cadeia produtiva do gesso pernambucano.

2. CADEIA PRODUTIVA DO GESSO

2.1 A IMPORTÂNCIA DOS RECURSOS MINERAIS BRASILEIROS

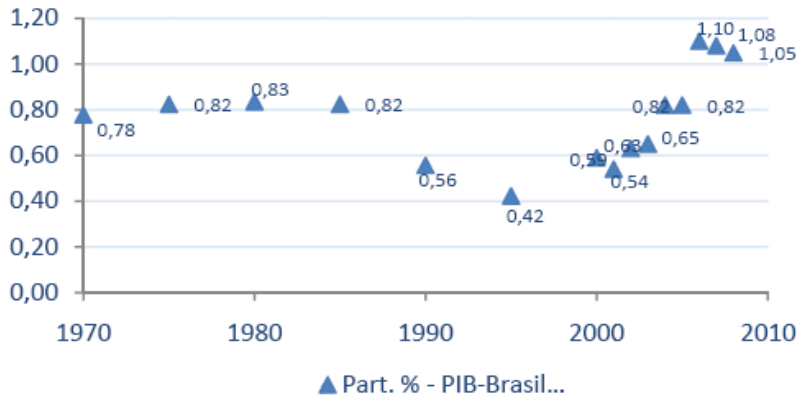
Os recursos líticos são originados de processos geológicos podendo ser esgotáveis e não renováveis.

São de grande importância para toda a cadeia de suprimentos da construção civil, sendo que um dos indicadores do grau de desenvolvimento de um país é o *per capita* de agregados, que reflete a real intensidade de desenvolvimento da infraestrutura de uma cidade, ou seja, pelas vias de escoamento, viadutos e pontes, saneamento básico, hospitais, indústrias, residências e todos os outros elementos necessários ao desenvolvimento econômico e social de uma nação (SINDIBRITA, 2010).

A exploração dos recursos minerais tem grande relevância para o Produto Interno Bruto -PIB, sendo que até o momento só foram prospectadas cerca de 30 a 40% de todas as riquezas minerais do Brasil (SINDIBRITA, 2010).

No Gráfico 1 – A evolução histórica PIB-Mineral-Brasil que mostra o crescimento constante de 2000 à 2010 da participação do PIB Mineral brasileiro.

Gráfico 1 – PIB-MINERAL: EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO PIB-BRASIL



Fonte: IBGE- MME / DNPM, 2009

2.2 MINERAL GIPSITA

A gipsita se origina em bacias sedimentares, através de um processo de 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 Paleozóico ao Cenozóico (DNPM, 2001).

A gipsita pode ser encontrada em regiões vulcânicas, onde o calcário sofreu as ações de vapores de enxofre, sendo que, nesse caso a gipsita aparece como mineral de ganga, nos veios metálicos, podendo estar associada a diversos minerais tais como: halita, anidrita, dolomita, calcita, enxofre, pirita e quartzo (CETEM, 2008).

A gipsita é um Sulfato de Cálcio di-hidratado ($CaSO_4.2H_2O$), abundante em várias regiões da Terra e que possui uma característica bem peculiar que é a facilidade de desidratação e rehidratação.

O mineral gipsita na forma natural é compacto e muito empregado na agricultura e na indústria do cimento; calcinado, tendo seu maior emprego na construção civil.

No Quadro 1 tem-se a composição química teórica da gipsita e no Quadro 2 verificam-se as propriedades físicas desse mineral, sendo que pela escala de Mohs possui pouca resistência ao risco, ou seja, pouca resistência a retirada de partículas de sua superfície e também é pouco solúvel em água e muito solúvel em ácido clorídrico.

Quadro 1 – Composição química teórica da Gipsita - Média Mundial

Composto	**Composição (%)**
Ca	32,5
SO_2	46,6
H_2O	20,9

Fonte: CETEM (2008)

Quadro 2 – Propriedades físicas do mineral gipsita

Propriedades Físicas	Características
Cor	Variável, podendo ser incolor, branca e outras (dependendo das impurezas)
Brilho	Vítreo, nacarado ou sedoso
Dureza (Escala Mohs)	2
Densidade	2,3 g/cm^3
Hábito	Prismático
Clivagem	Em 4 direções
Morfologia e tamanho dos cristais	Varia de acordo com as condições e ambiente de formação

Fonte: DANA (1976) *apud* CETEM (2008).

2.3 RESERVAS, PRODUÇÃO E CONSUMO DE GIPSITA

A gipsita por ser um minério abundante na Terra, é comercializado em grandes volumes e a baixos preços, resultando em um produto altamente competitivo no comércio exterior (BALAZIK et al, 1998 *apud* DNPM, 2001).

2.3.1 CONTEXTO INTERNACIONAL

Em 2009 a produção anual mundial de gipsita foi de 152 Mt. Com os reflexos da crise financeira mundial de 2008, os Estados Unidos que entre 1999-2007 detinha o primeiro lugar como produtor sofreu uma queda de 37,7% passando em 2009 para o 4º produtor no mundial. O maior produtor mundial de gipsita em 2008-2009 foi a China, que em 2009 produziu 42 Mt cerca de 27,63% da produção mundial, seguido pelo Irã, Espanha e Estados Unidos que respectivamente produziram 12, 11,5 e 9,4 milhões de toneladas (DNPM, 2010).

Apesar de o Brasil ter obtido nos últimos anos uma produção crescente de gipsita, ainda é pouco expressiva no comércio exterior. Em 2009 a produção brasileira atingiu 2,35 milhões de toneladas/ano correspondendo a 1,55% da produção mundial conforme se pode observar na Tabela 1.

Nos países desenvolvidos a indústria do gesso e seus derivados de maior valor agregado absorve a maior parte da gipsita; a nível mundial, a indústria cimenteira ainda é a maior consumidora (DNPM, 2010).

Tabela 1 - Reserva e Produção Mundial de gipsita em 2008-2009

DISCRIMINAÇÃO	**RESERVAS LAVRÁVEIS (10^3t)**		**Produção (10^3t)**		
PAÍSES	**2008**	**(%)**	**2008**	**2009**	**(%)**
Brasil	**228.411**	-	**2.200**	**2.350**	1,55
China	Nd	-	46.000	42.000	27,63
Irã	Nd	-	12.000	12.000	7,89
Espanha	Nd	-	11.500	11.500	7,57
Estados Unidos	700.000	-	14.400	9.400	6,18
Tailândia	Nd	-	8.000	8.000	5,26
Japão	Nd	-	5.800	5.800	3,82
Canadá	450.000	-	5.740	5.500	3,62
Itália	Nd	-	5.400	5.400	3,55
França	Nd	-	4.800	4.800	3,16
Outros Países	Nd	-	43.760	45.250	29,80
Total	Nd	-	159.600	152.000	100,00

Fonte: DNPM\DIPLAM; USGS: Mineral Commodity Summaries - 2010 apud DNPM (2010)

Segundo o Presidente do Sindusgesso, Josias Inojosa Filho, em 2009, o consumo nacional per capita de gesso foi de apenas 18 kg/hab/ano, enquanto que na Argentina o consumo foi de 30 , no Chile foi de 46, na Europa foi de 83 e nos EUA, maior consumidor mundial, foi de 107 Kg/hab/ano (SINDUSGESSO, 2009).

Observa-se que países, com a finalidade de melhorar a competitividade de seus produtos, criaram políticas, tais como: a redução da taxa de juros, subsídios, margens especiais de depreciação e financiamento de exportações (FERRAZ *et al.*, 1995).

2.3.2 CONTEXTO NACIONAL

O potencial brasileiro do minério de gipsita que até 2008 tinha como referência 1,22 bilhões de toneladas, passou no final de 2009 para 228.410.716 toneladas de reservas efetivamente lavráveis, das quais 93% se concentram em Pernambuco (DNPM, 2010).

No Brasil as principais jazidas de gipsita estão associadas às bacias sedimentares conhecidas como Bacia Amazônica (Amazonas e Pará); Bacia do Meio Norte ou Bacia do Paraíba (Maranhão e Tocantins); Bacia Potiguar (Rio Grande do Norte); **Bacia Sedimentar do Araripe (Piauí, Ceará e Pernambuco)**; e a Bacia do Recôncavo (Bahia).

Como se pode observar no Quadro 3, as maiores reservas medidas estão nos estados da Bahia (53,3%), Pernambuco (22,4%) e Pará (21,9%), sendo que em termos econômicos Pernambuco é o mais viável economicamente, com minas a céu aberto de geologia uniforme, o que propicia a maior produção nacional (DNPM, 2001 e 2009).

Quadro 3 – RESERVAS DE GIPSITA NO BRASIL – 2008

BRASIL: RECURSOS E RESERVAS DE GIPSITA – 2008

Estados	RECURSOS & RESERVAS DE GIPSITA – 2008[p]				
	Medida (t)	Partic. Δ% – UFs	Indicada (t)	Total (t)	Partic. Δ% -UFs
Brasil	865.804.446	100,0	364.413.078	1.230.217.524	100,0
Bahia	461.343.861	53,3	93.997.000	555.340.861	45,1
Pernambuco	194.060.024	22,4	61.946.204	256.006.228	20,8
Pará	189.619.891	21,9	204.119.355	393.739.246	32,0
Maranhão	15.822.954	1,8	2.007.437	17.830.391	1,4
Ceará	3.755.895	0,4	0	3.755.895	0,3
Tocantins	671.581	0,1	186.211	857.792	0,1
Outros	530.240	0,1	2.156.871	2.687.111	0,2

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro – AMB – DIDEM-DNPM, 2009.
Nota: [p]Dados preliminares.

O Brasil que em 2000 possuía 65 minas de gipsita, sendo 36 ativas e 29 inativas, passou em 2008 para um total de 78 minas de gipsita, sendo 44 ativas e 34 inativas. O estado de Pernambuco se destaca pelo maior número de minas ativas com crescimento de 32% e diminuição na ordem de 5,3% das minas inativas no período 2000-2008, conforme Quadro 4:

Quadro 4 – Minas de Gipsita no Brasil – 2000 e 2008

ESTADO	NÚMERO DE MINAS					
	ATIVAS		INATIVAS		TOTAL	
	2008	2000	2008	2000	2008	2000
PERNAMBUCO	**37**	**28**	**18**	**19**	**55**	**47**
CEARÁ	2	2	2	2	4	4
MARANHÃO	3	1	8	7	11	8
AMAZONAS	1	1	0	0	1	1
TOCANTINS	1	1	1	0	2	1
BAHIA	0	3	3	0	3	3
PIAUÍ	0	0	2	1	2	1
TOTAL BRASIL	**44**	**36**	**34**	**29**	**78**	**65**

Fonte: DNPM (2001 e 2009)

O Brasil é detentor de uma das maiores reservas de gipsita do mundo, sendo sua produção anual inferior a 2% da mundial, o que traz em muitos períodos a necessidade de importação.

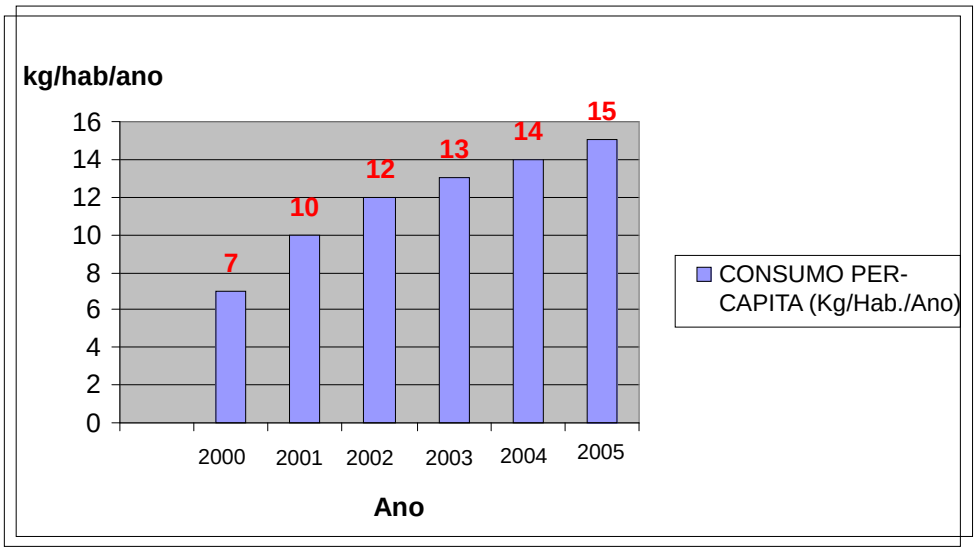
A crise econômica mundial de 2008 não afetou de maneira significativa o segmento gesseiro, que continuou crescendo 6,8%, atingindo 2.200 mil toneladas de 2008-2009. A capacidade produtiva do Brasil é da ordem de 5.800 mil toneladas existindo, uma capacidade ociosa de aproximadamente 64% em toda a cadeia produtiva gesseiro (DNPM, 2010).

No Quadro 5 e nas Figuras 1 e 2 observa-se respectivamente a produção, o crescimento *per capita* e o faturamento do gesso no Brasil no período de 1999 à 2006. Através do Quadro 5 verifica-se que a produção tem se mantido crescente, com destaque para o acartonado que obteve o maior percentual de crescimento, reforçando a tendência da utilização cada vez maior do *dry-wall* na construção civil devido sua praticidade.

Quadro 5 - PRODUÇÃO DO GESSO NO BRASIL de 1999 a 2006 em 10^3 ton

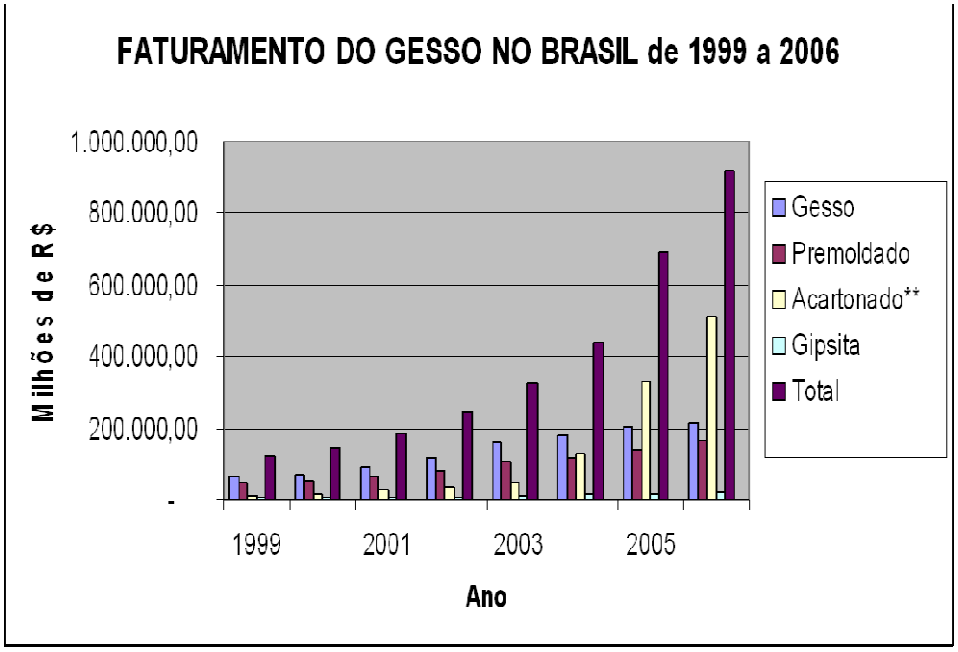
Ano	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**
Gesso	960	1.080	1.240	1.400	1.680	1.920	2.123	2.130
Pré-moldado	396	420	480	590	730	782	928	1.120
Acartonado	8	13	29	41	53	126	315	452
Gipsita	420	480	600	680	765	1.230	1.214	1.438
Total	**1.784**	**1.993**	**2.349**	**2.711**	**3.228**	**4.058**	**4.580**	**5.140**
Crescimento %		12%	18%	15%	19%	26%	13%	12%

Fonte: DNPM, 2007



Fonte: DNPM, 2007 *apud* Sindusgesso, 2007

Figura 1 - CONSUMO PER CAPITA 2000 a 2005 (Kg/Hab./Ano)



Fonte: DNPM, 2007 *apud* Sindusgesso, 2007

Figura 2- FATURAMENTO DO GESSO NO BRASIL – 1999 a 2006

2.4 GESSO

A gipsita é um sulfato de cálcio dihidratado ($CaSO_4.2H_2O$) que quando é submetido a temperaturas entre 150ºC a 350ºC, desidrata-se parcialmente e se transforma em um hemidrato denominado gesso ($CaSO_4.½\ H_2O$).

Conforme Brodkom (2000), por volta de 5000 a.C. os egípcios começaram a utilizar as propriedades versáteis do gesso, ou seja, a rocha de gipsita que era reduzida a um pó fino quando exposta ao fogo. Quando se adicionava água, esta mistura se transformava em uma pasta de secagem rápida, dando um acabamento regular às superfícies de pedras brutas e tijolos. Sendo um dos materiais mais antigos utilizados pelo homem, foi encontrado em ruínas do IX milênio a.C na Turquia, em ruínas do VI milênio a.C em Jericó e na Pirâmide de Keops (2800 anos a.C). No ano de 1755, na França, os processos químicos de produção do gesso tornaram-se conhecidos e passaram a ser muito utilizados na construção civil e na agricultura, como corretivo de solos.

Diferentemente dos outros ligantes inorgânicos (cimento e cal), o gesso não necessita de adição de um agregado. Com a finalidade de retardar o tempo de pega e facilitar a aplicação do gesso, recomenda-se a adição de uma certa quantidade de cal (PETRUCCI, 1998).

O gesso pode ser aplicado, entre outros: na confecção de moldes para a indústria cerâmica, metalúrgica e de plásticos; em moldes artísticos, ortopédicos e dentários; como agente desidratante; como na briquetagem do carvão e na indústria da construção civil, sendo essa última a de maior aplicação (DNPM, 2001).

O gesso é um material de construção versátil, de rápida aplicação, um excelente isolante térmico e acústico, incombustível, hidro-ativo, leve, estável, com precisão dimensional, de qualidade e com baixo custo (SEBRAE/NA, 2010).

Para Ciarlini (2001), "... as paredes divisórias com blocos de gesso reduzem em 2/3 o peso das paredes internas de vedação, quando comparadas com as alvenarias convencionais de blocos cerâmicos vazados. Pois, enquanto as alvenarias convencionais pesam 180 Kg/m^2, as alvenarias de blocos de gesso pesam 60 Kg/m^2 e as divisórias com gesso acartonado 25 Kg/m^2."

O sistema interno de gesso acartonado além de diminuir a sobrecarga, sua aplicação é mais rápida, racionalizada, resultando numa maior produtividade da obra.

2.5 TIPOS DE GESSO

Segundo o tipo de calcinação a que a gipsita está sujeita, resultam dois tipos de gesso, o Alfa e o Beta, sendo que o Alfa é calcinado por via úmida e o Beta por via seca (CETEM, 2008).

2.5.1 GESSO ALFA

Produzido em equipamentos fechados sob pressão maior que a atmosférica, o gesso alfa (gesso-pedra) é calcinado em uma autoclave, com injeção de vapor, ou por desidratação da gipsita em meio aquoso, passando por uma modificação na estrutura cristalina de maior homogeneidade que, quando misturado com a água, resulta em um produto de maior resistência mecânica e menor consistência, sendo que, quanto mais sofisticado o processo, mais nobre será o produto final, alcançando preços mais elevados no mercado. O gesso alfa é utilizado nas indústrias cerâmicas, de vidro, farmacêutica, de decoração, automobilística, de cerveja, eletrônica e principalmente na odontologia e na medicina (CETEM, 2008).

2.5.2 GESSO BETA

O gesso beta (pasta de Paris) é produzido em diversos tipos de fornos sob pressão atmosférica, sendo que a variação da temperatura resulta em gessos beta de diferentes características, ou seja: Tipo A - o gesso rápido (fundição) e o Tipo B - gesso lento (revestimento). Sua principal característica é a má formação dos cristais e a heterogeneidade, com uma maior tendência a gerar produtos de menor resistência e menor tempo de pega (CETEM, 2008).

Conforme Rocha (2007), é na construção civil onde o gesso tem a sua aplicação definida a seguir:

- projeção, com a aplicação mecanizada em revestimento de parede;
- revestimento de aplicação manual com pega retardada, gesso com pega retardada, utilizado em paredes e tetos, substituindo reboco e/ou massas de acabamento;
- blocos ou placas para paredes divisórias;
- pré-moldados diversos;
- placas para rebaixamento de tetos;
- isolamento térmico e acústico (adicionando Vermiculita ou perlita);
- como enchimento de portas corta fogo;

- como cola para rejunte de pré-moldados de gesso.

2.6 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO GESSO

São várias as etapas iniciais até a obtenção do gesso. Todo o processo tem seu início com a extração da gipsita, depois o beneficiamento (moagem ou britagem) e por último a calcinação.

2.6.1 MINERAÇÃO

Conforme Tavieira (2003) apud Curi (2001), para se extrair um minério se faz necessário um projeto de mineração que é constituído por quatro etapas distintas, porém dependentes umas das outras, que são: planejamento, implantação, operação e fechamento da mina, conforme a seguir:

- PLANEJAMENTO - Engloba a prospecção (exploração) e a pesquisa mineral, com investigações de campo, de laboratório e com o diagnóstico das rochas e dos recursos minerais que são elaborados com auxílio de bases cartográficas, sondagens, modelos empíricos e genéricos para a avaliação da concentração mineral. Os depósitos minerais economicamente viáveis são estudados e estimados para futura mineração.

- IMPLANTAÇÃO – Etapa onde são projetados e construídos (mina e moinho), implantação da jazida para lavra, bem como assegurado, o financiamento e a infraestrutura necessários ao projeto de mineração.

- OPERAÇÃO – Essa etapa contempla a explotação, ou seja, a extração, produção e o processamento do bem mineral, onde os depósitos minerais são extraídos e destinados às usinas de tratamento e beneficiamento.

- FECHAMENTO DA MINA – Sendo a última etapa do processo de mineração, quando os recursos minerais são esgotados, ou a mina é inviável economicamente, ou por diversos motivos é abandonada. Nessa fase há a desativação e a recuperação da mina para outros fins de acordo com a legislação ambiental vigente.

2.6.2 EXTRAÇÃO DA GIPSITA

As reservas minerais podem estar no subterrâneo ou mais próximas da superfície, chamada de mineração a céu aberto.

A extração da gipsita é similar às outras rochas, que se resume ao desmonte da rocha e beneficiamento posterior com a fragmentação dos blocos, pelo carregamento e transporte do minério por caminhões.

No processo de lavra, o processo de produção se inicia com a remoção do capeamento ou solo residual que cobre a rocha.

Depois da limpeza do terreno, o material estéril é depositado em locais onde inexistem rochas aproveitáveis, ou seja, nos " bota fora".

Em seguida procede-se à perfuração (tamanho e profundidade variados) em diversos locais da rocha utilizando perfuratrizes ou marteletes pneumáticos. Como a gipsita absorve a maior parte da força do explosivo dificultando o desmonte da rocha, se faz necessário que o diâmetro dos furos esteja 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 1 Kg/t de material desmontado facilitando o processo de desmonte (JORGENSEN, 1994).

2.6.3 CALCINAÇÃO

Após o desmonte e seleção, o minério de gipsita é transportado para as calcinadoras, que após o processo de britagem, rebritagem, moagem e peneiramento é enviada para os fornos.

A calcinação é um processo no qual há a remoção da água, CO_2 e de outros gases que estão fortemente ligados quimicamente a uma substância, que tipicamente se trata de hidratos ou carbonatos, podendo ser por via seca ou úmida.

As temperaturas para transformar a gipsita em gesso são baixas, entre 150 ºC a 350 ºC, sendo um dos produtos da construção que consome menor quantidade de energia. Para se calcinar a gipsita é necessário assegurar uma distribuição e desidratação regular do material que pode

ser pelo processo direto (quando os gases de combustão entram em contato com a gipsita) ou pelo indireto (por fornos tubulares com cilindros concêntricos, na qual os gases quentes circulam no cilindro interno e o minério no cilindro externo), de funcionamento intermitente ou contínuo (CETEM, 2008).

2.7 TRANSPORTE DE CARGAS

O transporte de cargas é essencial para que produtos cheguem aos consumidores, sendo um serviço horizontalizado que viabiliza os outros setores e afeta diretamente a qualidade de vida, a segurança e o desenvolvimento econômico, isto é, sem um sistema de transportes eficiente um país se torna menos competitivo.

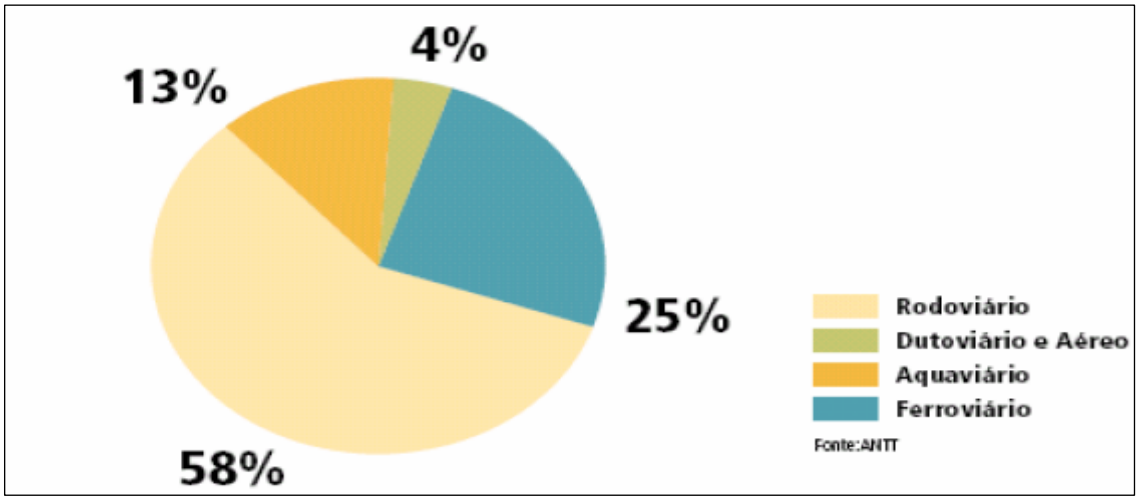
Os principais fatores que influenciam na escolha de um determinado modal são as características da carga (peso, volume, formato, dimensão, periculosidade, valor agregado, cuidados especiais, refrigeração, etc.), pontos de embarque, custos, urgência de entrega, possibilidade e necessidade do uso de mais de um modal (exigências legais, disponibilidade, frequência, etc.).

Por outro lado, os problemas ambientais são agravados com o uso crescente de veículos, principalmente os movidos a derivados de petróleo: automóveis, caminhões, ônibus, motocicletas e todo tipo de embarcações, entre outros foram responsáveis por 13,1% das emissões de gases estufa, segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2007).

Conforme Penna (2010), a poluição não se limita aos componentes químicos que aquecem a atmosfera, mas também inclui os materiais particulados em suspensão e variados gases, todos danosos à saúde humana e ambiental.

A atividade de transporte responde por 80% do oléo diesel consumido no Brasil, sendo 90% desse consumo para transporte rodoviário de produtos e pessoas.

Conforme pode ser observado na Figura 3, no Brasil há uma sobrecarga do modal rodoviário devido seus baixos preços de frete, ocasionando ineficiência e uso inadequado dos outros modais.



Fonte: ANTT (2006)

Figura 3 - Matriz de Transporte de Cargas Brasileira -2006

Existem 5 tipos básicos de transportes de carga: rodoviário, ferroviário, aquaviário, dutoviário e aéreo.

- MODAL RODOVIÁRIO

Para Sucena (2008), o modal rodoviário possui as seguintes características:

- custos fixos baixos (terminais, manutenção de rodovias públicas e privadas);
- curta distância (até 500 Km);
- ideal para carga de pequeno volume;
- maior flexibilidade operacional (rotas), quando comparado com os outros modais;
- entrega das cargas porta-a-porta;
- custos variáveis altos (combustível, pneus, reparos, etc.);
- utilização intensiva de combustíveis de fontes energéticas esgotáveis com alto custo fnanceiro e ambiental;
- grandes impactos ambientais (poluição atmosférica, ruído, alto número de acidentes, congestionamentos, etc.).

- MODAL FERROVIÁRIO

Para Novaes (2006), o modal ferroviário é o mais eficiente no transporte de grandes volumes, possui elevada eficiência energética, apropriado, principalmente para deslocamentos de médias e grandes distâncias, possui terminais de carga e descarga bastante ágeis e eficientes,

o que permite o barateamento do custo.

Conforme a Agência Nacional de Transportes Terrestres - ANTT (2007), o modal ferroviário transporta qualquer tipo de produto, líquido ou sólido, principalmente os produtos siderúrgicos; minérios; grãos; cimento; cal; adubos; fertilizantes; derivados de petróleo; calcário; etc.

O modal ferroviário é mais seguro que o rodoviário, com menor índice de acidentes, furtos e roubos (ANTT, 2007).

Conforme Fleury (2006), a ANTT continuamente controla os índices de acidentes ferroviários. De 1997 a 2005 houve uma redução de 56%, passando de 75 para 33 acidentes/milhão de trem/Km.

A maior limitação do modal ferroviário é que os trens só andam nos trilhos e não param fora dos terminais, sendo necessário a integração com outro modal, que em geral é o rodoviário.

Sucena (2008), cita as principais características do modal ferroviário.

- Alto custo fixo (via segregada, equipamentos, pátios de manobras e terminais caros);
- Longa distância;
- Capacidade de transporte para carga de grande peso;
- Ideal para cargas com baixo valor agregado (a granel, carvão, minérios, produtos químicos, etc.);
- Composição com rodovias (convênios entre empresas ferroviárias e rodoviárias);
- Devido a utilização de trens unitários os custos operacionais ficam mais baixos que as composições tradicionais, mais rápidos e não precisam de pátios para manobras;
- Ligação com hidrovias (facilitando o comércio exterior);
- Menos avarias aos produtos pela utilização de contêineres;
- Menor consumo de combustíveis quando comparado com o rodoviário e aéreo;
- Menores impactos ambientais que o modal rodoviário;
- Necessita de bitolas padronizadas para a integração regional e internacional.

Com a privatização, o setor ferroviário tem tido grande expansão na sua capacidade de transportar, com o desenvolvimento e o emprego de novas tecnologias para reduzir seu peso

próprio e aumentar a velocidade de transporte, vagões com amortecedores especiais e articulados, para aumentar a capacidade de carregamento e facilitar o intercâmbio com outros modais (BOWERSOX *et al*, 2006).

- MODAL AQUAVIÁRIO

Sucena (2008) enumera as principais características do modal aquaviário:

- custo fixo mais elevado que o rodoviário e menor que o ferroviário;
- menor custo para longas distâncias;
- capacidade para transportar cargas de grande volume e peso;
- elevado custo portuário (taxas);
- maior prazo de entrega devido a baixa velocidade e possui alcance de operação limitado devido a necessidade de um outro modal para completar o transporte;
- maior vida útil da infraestrutura (portos), equipamentos e navios;
- maior eficiência energética;
- menor emissão de poluentes, menor impacto ambiental, pouca emissão de ruídos.

- MODAL DUTOVIÁRIO

Conforme Terzian (2005) apud Sucena (2008), a dutovia possui as seguintes características :

- o material de constituição do duto pode ser de aço, materiais não metálicos, etc.;
- a localização em relação ao meio pode ser: aéreo, enterrado, flutuante ou submarino;
- pode ser rígido ou flexível;
- pode operar em temperaturas normais ou aquecidas. Existem dutovias para cada tipo de produto, sendo: oleoduto, gasoduto e mineroduto para transporte de minérios em geral;
- maior custo fixo (construção, controle das estações e bombeamento);
- menor custo variável e menor mão-de-obra em relação aos outros modais;
- operação contínua, só havendo parada para manutenção e para troca de produtos a transportar;
- maior segurança operacional e proteção ambiental;
- diferentemente dos outros modais só transporta produtos.

Para Dias (2011), o sistema de dutos é o mais econômico, seguro e ambientalmente correto entre todos os modais para se transportar o petróleo e seus derivados interligando regiões produtoras, plataformas, refinarias, terminais marítimos, parques de estocagem e centros consumidores. O modal dutoviário contribui para aumentar a segurança nas estradas e diminuir a poluição atmosférica pelo tráfego pesado do modal rodoviário (carretas).

- MODAL AÉREO

De acordo com Ballou (2004), as principais características do modal aéreo são:

- mais recente e menos utilizado meio de transporte;
- maior velocidade, sendo que seu custo é, algumas vezes, compensado pela redução dos custos de estocagem e armazenagem;
- custo fixo baixo quando comparado ao ferroviário, dutoviário e aquaviário;
- aeroportos e vias aéreas são mantidos por órgãos públicos;
- custo variável alto: combustível, taxas aéreas, manutenção com materiais e mão de obra (tripulação a bordo e pessoal em terra);
- difícil integração com outros modais, sendo a exceção o rodoviário;
- ideal para produtos de alto valor agregado ou perecíveis, sendo que o frete é, no mínimo, 2 vezes maior que o rodoviário, e 16 vezes maior que o ferroviário;
- os impactos ambientais podem ser classificados como de efeito local ou global. Os de efeito local são principalmente o alto índice de ruídos nas zonas próximas aos aeroportos e os de efeito global são as emissões prejudiciais à qualidade do ar devido ao combustível utilizado (o querosene), que produz na combustão uma série de materiais perigosos aos seres vivos, ou seja: o monóxido de carbono, os hiodrocarburetos gasosos não queimados, os óxidos de nitrogênio e as partículas sólidas visíveis (ANAC, 2009).

2.7.1 COMPARATIVO ENTRE OS PRINCIPAIS MODAIS

Na comparação dos principais modais apresentados na Tabela 2, elaborada por Nazário (2000), foram destacadas cinco características para classificar o melhor transporte quanto a: velocidade, disponibilidade, confiabilidade, capacidade e frequência. No comparativo a pontuação menor, implica na excelência da característica do modal, resultando numa performance melhor para o modal rodoviário.

Tabela 2 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DOS MODAIS

Características operacionais	Ferroviário	Rodoviário	Aquaviário	Dutoviário	Aéreo
Velocidade	3	2	4	5	1
Disponibilidade	2	1	4	5	3
Confiabilidade	3	2	4	1	5
Capacidade	2	3	1	5	4
Freqüência	4	2	5	1	3
Resultado	**14**	**10**	**18**	**17**	**16**

Fonte: Nazário (2000)

Se na Tabela 2 fossem considerados o consumo de energia e os impactos ambientais no transporte de carga, conforme preconizam D'Agosto (2004), Pereira (2008) e Curi (2009), o resultado seria diferente: "Ferroviário= 18; Aquáviario= 20; Dutoviário= 20; Rodoviário= 26 e Aeroviário= 36", ou seja, o modal ferroviário apresentaria o melhor resultado, seguido do aquaviário e do dutoviário.

Por outro lado, embora os estudos mostrem que os modais ferroviário e hidroviário são os melhores para as grandes cargas e longas distâncias, Alban (2002) e a Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT (2010) demonstram que no Brasil e nos países em desenvolvimento ainda há uma predominância do modal rodoviário, conforme Quadro 6.

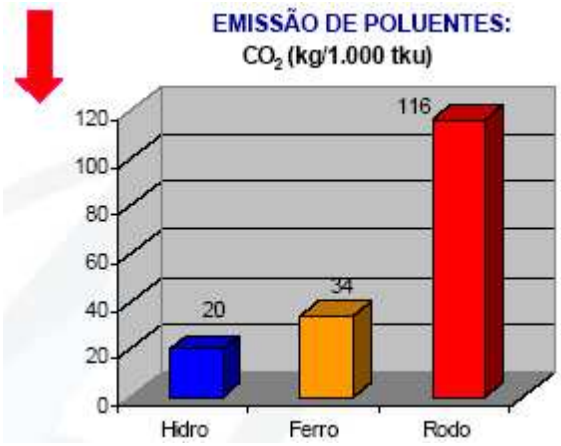
Quadro 6 - MATRIZ DE TRANSPORTE DE CARGAS: COMPARAÇÃO INTERNACIONAL 1993 E 2010 (Valores em %)

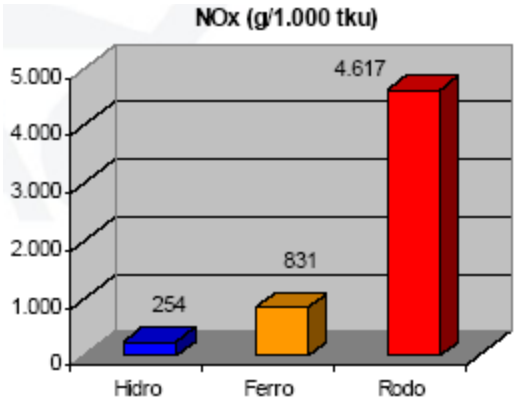
MODAL	PAISES DESENVOLVIDOS 1993	PAISES EM DESENVOLVIMENTO 1993	BRASIL 1993	BRASIL 2010
RODOVIÁRIO	30,00	42,30	58,70	61,10
FERROVIÁRIO	40,00	38,50	20,60	21,00
HIDROVIÁRIO	16,00	10,90	17,20	14,00
OUTROS	14,00	8,30	3,40	3,90

Fonte: Alban (2002) e ANTT (2010).

Pereira (2008), na análise comparativa do impacto econômico e ambiental entre os modais rodoviário e hidroviário concluiu que o transporte fluvial é mais vantajoso que o rodoviário em dois aspectos, o econômico e o ambiental. Em termos econômicos, o fluvial é aproximadamente oito vezes menor que o rodoviário (frota de caminhões) e relativo aos impactos ambientais, o rodoviário é em média três vezes maior que o fluvial. O mesmo estudo trouxe dados extraídos do perfil sócio-econômico e aspirações dos caminhoneiros no Brasil, da Confederação Nacional do Transporte (CNT), onde apresentaram que o motorista em média trabalha 15hs/dia e que conforme legislação da Consolidação das Leis Trabalhistas (CLT) determina o período de 8hs/dia, e que o aumento da incidência de acidentes rodoviários é diretamente proporcional as distâncias percorridas.

Nos comparativos apresentados nas Figuras 4 e 5, se observa a pouca eficiência energética, o alto consumo de combustível e a grande emissão de CO_2 e NO_X do modal rodoviário em relação aos modais hidroviário (aquaviário) e ferroviário. Na tabela 3 observa-se que o modal menos impactante ao meio ambiente é o hidroviário.





Fonte: DOT / Maritime Administration e TCL *apud* ANTAQ (2008)

Figura 4 - Emissão de CO_2

Figura 5 - Emissões de NOx

Tabela 3 - Comparativo entre os modais

MODOS DE TRANSPORTE		***RODOVIÁRIO***	***FERROVIÁRIO***	***HIDROVIÁRIO***
Custo Médio de Implantação (US$/Km)		440.000	1.400.000	34.000
Custo Médio de Operação (US$/TON/Km)		34	21	12
Custos Sociais (*) (US$/100 TON/Km)		3.2	0.74	0.23
Consumo de Combustível (Litros/TON/1.000Km)		96	10	5
Emissão de Poluentes (Kg/TON/1.000Km)	Hidróxido de Carbono	0,178	0,129	0,025
	Monóxido de Carbono	0,536	0,180	0,056
	Dióxido de Carbono	2,866	0,516	0,149
Vida Útil da Infraestrutura		Baixa	Alta	Alta
Custo de Manutenção das Vias		Alto	Baixo	Baixo

(*) Inclui acidentes, poluição atmosférica e sonora, consumo de espaço e água

Fonte: AHSFRA, 2007 adaptado por SINAY *et al.*,2007

Na Tabela 3 observa-se claramente que hidroviário é o modal com maior eficiência energética e vida útil da infraestrutura, bem como o de menor custo médio de implantação, manutenção e de operação; menor consumo de combustível, custo social e o que emite menos poluentes na atmosfera (hidróxido de carbono, monóxido de carbono, óxido de carbono e o óxido de azoto). O modal ferroviário ocupa a segunda colocação, apesar do custo médio de implantação ser mais alto. Já o rodoviário é o que possui menor custo de implantação, mas, o que consome proporcionalmente mais energia e é o maior poluidor atmosférico.

Bovolenta (2007) em sua dissertação concluiu que o modal rodoviário apresentou maior participação no consumo específico de energia (CEE) com 0,50Mj/Km/t e maior custo específico unitário (CEU) com 0,034 US$/Km/t, seguido pelo modal ferroviário (CEE=0,42 Mj/Km/t e CEU= 0,013 US$/Km/t) e hidroviário (CEE=0,22 Mj/Km/t e CEU=0,010 US$/Km/t).

Curi (2009) apresentou um comparativo completo entre os modais rodoviário e ferroviário do período de 1999-2008, englobando os custos de implantação, manutenção e operação das

rodovias; custos com a aquisição e manutenção do material rodante (caminhões, locomotivas e vagões) e os custos ambientais, concluindo que 74% e 66% do custo total, respectivamente, do modal rodoviário e ferroviário são provenientes do custo ambiental. A conclusão mais importante na comparação geral dos modais foi que os custos gerais e ambientais do modal rodoviário foram respectivamente 4,4 e 5 vezes maiores que no modal ferroviário. O mineroduto (dutoviário) que não aparece nos comparativos anteriores é o de menor custo de construção, sendo o mais viável econômica e ambientalmente, porém existe o inconveniente de após se esgotarem as reservas minerais, não servir para transporte de pessoas, como os outros modais.

Bovolenta (2007) constatou que a unimodalidade do transporte rodoviário foi responsável por um maior gasto energético, de 47%, superior da rota multimodal. O estudo apresenta a necessidade da adoção da multimodalidade, o que trará uma maior sustentabilidade do sistema ponto de vista energético e ambiental, racionalização dos recursos naturais não renováveis, principalmente os subprodutos do petróleo (óleo diesel e outros).

2.7.2 TRANSPORTE MULTIMODAL

Como já verificado anteriormente, a escolha do modal depende de muitas variáveis tais como: capacidade, volume e tipo de carga (maior ou menor valor agregado do produto a ser transportado), custo do frete, distância, velocidade, disponibilidade, confiabilidade, frequência, consumo de energia, impactos sociais e ambientais.

A multimodalidade é a utilização em série de dois ou mais modais, cujo principal objetivo é fazer com que o transporte seja mais eficiente, utilizando o maior número de variáveis, quando comparado a um único modal, em especial o rodoviário.

Em países com grandes distâncias entre os centros consumidores, como o Brasil, o transporte multimodal é o mais adequado, pois, em geral, é a alternativa que utiliza de forma mais eficiente a energia no deslocamento de cargas e traz menor impacto ambiental.

No comércio exterior as distâncias entre produtores, em geral, são maiores do que no transporte nacional (interno). Consequentemente, a escolha do modo de transporte não deve ser baseada exclusivamente na comparação de tarifas de frete, mas sim em uma análise que

considere de forma ampla as variáveis representativas de cada modal que possibilitem um adequado planejamento dos transportes (DEMARIA, 2004).

No transporte de cargas, em geral, para distâncias inferiores a 500 Km, recomenda-se o modal rodoviário; para distâncias entre 500 e 1200 Km o mais indicado é o modal ferroviário; e o hidroviário para distâncias superiores a 1200 Km (CAIXETA FILHO e MARTINS, 2001).

A Associação Nacional de Transporte Ferroviário – ANTF (2011), cita alguns benefícios resultantes da integração dos vários modais de transporte.

- Melhor aproveitamento dos investimentos em infraestrutura;
- Maior eficiência, produtividade, segurança, agilidade e qualidade nos serviços de transporte;
- Redução do custo Brasil: aumento das exportações e maior competitividade para os produtos brasileiros; e
- Sustentabilidade: redução do consumo de energia e de emissões de CO_2 entre outras vantagens ambientais.

3. A VISÃO DA SUSTENTABILIDADE

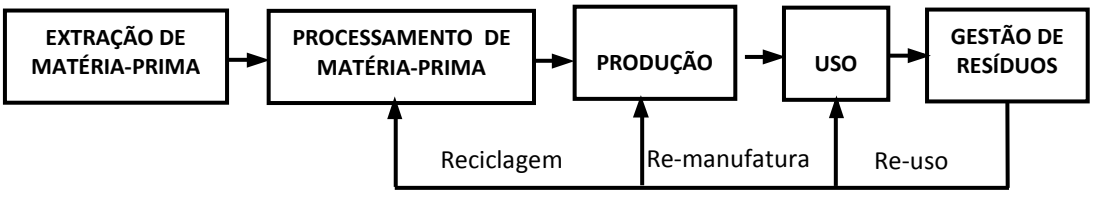
3.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Conforme Carvalho Filho *et al.* (1997), a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) surgiu na década de 70 em plena crise do petróleo, sua metodologia começou a ser desenvolvida na década de 80 e muito utilizada na década de 90 nos processos industriais.

Para Carvalho Filho (2001), entre as várias metodologias científicas, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é a que tem se apresentado como uma ferramenta eficaz para analisar e avaliar os potenciais impactos ambientais durante o ciclo de vida, como também comparar sistemas e indicar as melhorias ambientais necessárias aos processos e produtos.

De acordo com a Society of Environmental Toxicology and Chemistry - SETAC (1993), uma ACV é um processo que tem o objetivo de avaliar as cargas ambientais decorrentes de uma atividade, processo ou produto na qual identifica e quantifica todos os impactos sobre o meio ambiente, ou seja, contaminações, degradações e geração de resíduos, medindo os impactos através de indicadores; e por fim analisa-se as possíveis melhorias do ciclo como um todo, do início (berço) até o final (túmulo), incluindo a reutilização ou reciclagem.

Na Figura 06 pode-se verificar os cinco estágios do ciclo de vida de um produto, que vai da extração de matéria-prima até a gestão de resíduos, indicando um fluxo direto do processo. A reciclagem, a re-manufatura e o reuso estão inseridos no fluxo ciclíco de parte dos recursos aplicados no produto.



Fonte: RUBIN (2001)

Figura 06 - Estágios do Ciclo de Vida

3.1.1 ETAPAS BÁSICAS DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Uma avaliação do ciclo de vida de um produto ou serviço consiste da definição do seu objetivo e escopo; da realização de um levantamento quantificado de dados de todas as entradas e saídas durante todo o ciclo de vida; da identificação dos impactos ambientais ao longo do ciclo; e da interpretação dos resultados do estudo.

As Normas ISO, reconhecidas internacionalmente, trazem a série NBR ISO 14001 (ABNT, 2004) que definem e estabelecem como deve ser feito um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) efetivo. O principal objetivo dessa série de normas é de criar o equilíbrio entre a manutenção da rentabilidade e a redução do impacto ambiental, resultando em um comprometimento de toda organização envolvida.

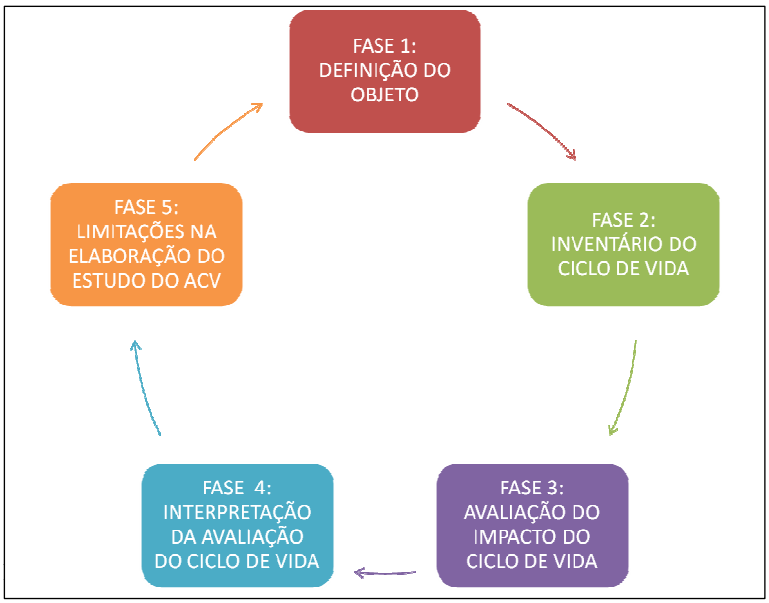
Na série NBR ISO 14040 (ABNT, 2009) de Gestão Ambiental pode-se destacar a NBR ISO 14044 (ABNT, 2009), que específica os requisitos e provê orientações para a estruturação do processo de avaliação do ciclo de vida, incluindo as seguintes etapas:

- seleção e definição das categorias: as categorias devem ser estabelecidas com base no conhecimento científico;
- classificação: os dados são classificados e apurados nas diversas categorias selecionadas;
- caracterização: os dados são modelados por categoria de forma que cada um possa ter o seu indicador numérico;
- interpretação do ciclo de vida, com um procedimento sistemático para identificar, conferir e avaliar as informações obtidas no inventário;
- análise da base de dados que resultará o relatório final com as conclusões e recomendações para a melhoria do sistema.

Para Gibson (1997); L Canot (2000b) *apud* Gricoletti (2001), a ACV possui cinco etapas básicas, conforme descritas e observadas na Figura 07.

- Definição dos objetivos e abrangência;
- Análise de inventário;

- Avaliação dos impactos;
- Interpretação; e
- Análise de melhorias.



Fonte: ABNT NBR ISO 14.040:2009

Figura 07 – Fases da ACV

A fase de definição determina o limite do sistema a ser estudado, considerando-se a qualidade dos dados necessários para a aplicação da ACV (REIS, 1995; CARVALHO FILHO *et al* 1997; GRIGOLETTI, 2001).

Na fase de Análise de Inventário são feitas as compilações e quantificações das entradas e saídas, sendo essas representadas por um fluxograma onde são determinados os limites do sistema a ser estudado (UNEP, 1996 *apud* GRIGOLETTI, 2001).

Na Avaliação dos Impactos que abrange a Classificação, a Caracterização e a Valoração; tem a finalidade de analisar os resultados através da classificação, caracterização e avaliação dos impactos ambientais dentro de limites definidos nos objetivos e abrangência (REIS,1995).

A classificação é composta de:

– recursos: energia, materiais, água e solo;

- danos ao ecossistema: aquecimento global, redução da camada de ozônio, chuva ácida, formação de foto-oxidantes, impactos ecotoxicológicos, alterações de habitat e impactos a biodiversidade;
- saúde humana: impactos tóxicos e não tóxicos.

A caracterização é a quantificação por categorias das entradas e saídas.

A valoração procura comparar a importância relativa das diferentes categorias de impactos individuais para o sistema em estudo onde são refletidos os valores sociais e preferências.

Na fase da interpretação há a interpretação de forma contínua, permitindo assim, a tomada de decisões.

Na fase da análise de melhorias, conforme Reis (1995), os principais benefícios são:

- identificar as melhores oportunidades para o aprimoramento ambiental do sistema;
- evitar decisões que apenas transfiram o ônus ou impactos ambientais de um sistema para outro; e
- realizar comparações entre sistemas similares.

3.1.2 PRINCIPAIS BENEFÍCIOS DA ACV

A utilização da ACV possibilita a análise dos impactos ambientais causados pelos produtos, processos ou atividades e consequentemente:

a. influencia na regulação relacionada com o meio ambiente;
b. identifica e soluciona problemas para a melhoria do produto, processo ou atividade, bem como gera informações ao consumidor;
c. desenvolve o planejamento estratégico do projeto do produto e do processo;
d. identifica oportunidades de melhorias ambientais, visando a redução de impactos;
e. dá suporte para a auditoria ambiental;

f. promove a minimização de resíduo;

g. desenvolve o marketing ecológico;

h. viabiliza os chamados selos ecológicos e a certificação de produtos e serviços;

i. ecodesign - permite a incorporação da ACV no projeto dos produtos incluindo a seleção de materiais, de processos de produção e de embalagens, processos de distribuição e nas etapas pós-uso (desativação, reaproveitamento e disposição final); e auxilia na previsão de desempenho ambiental durante a vida útil;

j. auxilia na definição de políticas e procedimentos relativos ao processo de especificação, de comparação e compra de produtos e serviços;

k. rótulo tipo III da ISO 14025 adquirido pelo estudo de ACV de acordo com as Normas da série 14001;

l. no comércio internacional pode evitar a imposição de barreiras técnicas (processo produtivo) e permite o cumprimento de normas internacionais.

3.1.3 SISTEMAS COMPUTACIONAIS PARA ACV

No estudo de ACV é grande a quantidade de dados necessários para se obter o processamento da análise, sendo que um inventário de ciclo de vida é composto de vários inventários de diversos sistemas e subsistemas do ciclo de vida. É uma técnica que ainda tem certas limitações operacionais devido a grande massa de dados para ser executada (RODRIGUES *et al.*, 2008).

Ao se avaliar o ciclo de vida de um produto é necessário ter acesso a informações sobre os impactos ambientais de etapas que estão fora do seu controle, e ao mesmo tempo, de obter dados e informações sobre impactos na extração e produção das matérias-primas ou energias utilizadas no processo.

Com a finalidade de auxiliar e agilizar os estudos de ACV foram desenvolvidos softwares que permitem a trabalhabilidade de processamento de uma grande massa de dados, dando assim uma maior confiabilidade das informações geradas através de cálculos e relatórios. A utilização de um software é imprescindível pela minimização do tempo para a tomada de decisão.

Os softwares de um modo geral permitem a simulação acerca do ACV de produtos e processos, prevendo ainda os impactos ambientais, de modo que podem embasar o planejamento e tomada de decisão necessários ao desenvolvimento /implantação de produtos e processos.

Existe uma quantidade razoável de softwares disponíveis, dentre os quais destacam-se os relacionados na Tabela 4 a seguir, sendo na maior parte licenciado de forma onerosa.

Tabela 4 – Diferentes softwares para ACV

Software	Produtor	Licenças	Database Modulares
GaBi 4.0	IKP PE	220	2500
Team 4.0	Ecobilan	90	7000
Umberto 6.1	Ifu Hamburg GmH	120	200
SimaPro 6.0	Pre Consultant	300	300
LCA it	Ekologiks	100	106

Fonte: Andrade (2003) adaptado por Rodrigues (2008)

A maioria dos softwares são comercializado para instalação no equipamento dos usuários, existindo porém, alguns softwares cujo acesso é feito exclusivamente na forma *online*, diretamente através de acesso ao site do titular do software.

De um modo geral a obtenção de cópia desses softwares para conhecimento e avaliação só é permitida através de *download* de versão "demonstração", que implica, quase sempre, em restrições quanto ao uso, amplitude ou funcionalidade, dificultando uma análise mais consistente de suas virtudes ou limitações. Destarte, serão apresentadas de forma superficial as principais características e funcionalidade dos softwares relacionados na Tabela 3, sem que se tenha efetivamente utilizados os mesmos, pela dificuldade de sua aquisição.

Considerando o dinamismo e constante evolução dos softwares, não se considerará uma determinada versão ou *release*, mas, o enfoque e principais características de cada um deles.

a) Software GaBi

O software foi produzido pela empresa PE International e possui uma série de versões (Profissional, educacional, desktop, Web, etc) e Bases de Dados, dentre as quais destaca-se o GaBi 4.

O GaBi 4 tem um conjunto padrão de funcionalidades, de forma independente de qual banco de dados for escolhido, de tal modo que permite a utilização do software com qualquer conjunto de base de dados. A abordagem de visualização permite que você construa seus produtos e modelos de sistemas tal qual se faria desenhando-as em papel, utilizando uma interface de usuário intuitiva, funcionalidade “drag-and-drop”; gerenciamento hierárquico de banco de dados; além da função de pesquisa avançada, que permite de forma flexível a complementação do modelo em desenvolvimento, tanto com dados próprios do software, quanto com dados elaborados pelo próprio usuário.

O software suporta a avaliação do Ciclo de Vida de produtos de acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009) e a NBR ISO 14044 (ABNT, 2009).

A empresa disponibiliza em sua página uma versão de demonstração gratuita para teste do software através do endereço http://www.gabi-software.com/international/downloads/.

De acordo com informações divulgadas no site do produtor do software, o desenvolvimento das bases de dados iniciou há cerca de 20 anos e continua até hoje, e que mais de 60 especialistas em ciclo de vida contribuem para o desenvolvimento de bancos de dados do software GaBi, fazendo com que a PE International se torne o maior provedor de bases de ACV de todo mundo. A PE Internacional possui cerca de 4000 bases de dados de ACV que podem ser fornecidas de imediato pela empresa ou serem customizadas, sob encomenda, de acordo com a necessidade do cliente.

b) Team

O Team é um software de Avaliação do Ciclo de Vida da empresa Ecobilan. O nome Team é uma abreviação de “Tool for Environment Analisys and Management”, ou seja, Ferramenta para análise e gerenciamento ambiental.

De acordo com a Ecobilan (ECOBILAN, 2011), o Team permite ao usuário criar e usar um grande banco de dados e modelo de qualquer sistema que represente as operações associadas a produtos, processos e atividades. Permite descrever qualquer sistema industrial e calcular os inventários de ciclo de vida associados, e os potenciais impactos ambientais de acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009), agilizando o processo de avaliação de ciclo de vida.

Dentre outras funcionalidades, o Team permite:

- analisar inventários de ciclo de vida usando tanto dados Ecobilan, quanto dados próprios do usuário, ou ainda a combinação dos mesmos;
- realizar análises de sensibilidade de forma automatizada para identificar *hot spots* [1];
- investigar cenários "what-if" via Painés de Controles amigáveis;
- determinar condutas na ACV, através dos protocolos incorporados ao software;
- registrar ensaios através de opções gráficas.

O Team foi projetado para ser capaz de lidar com uma variedade de regras metodológicas, permitindo que o usuário faça livremente sua escolha, podendo ainda alterá-las durante o curso de um projeto e até mesmo avaliar a sua influência nos resultados finais.

c) Umberto

O Umberto é um software da IFU Hamburg GmBH.

Dentre outras funcionalidades, o Umberto permite:

- modelagem de processos de produção e fluxo de materiais, energia e trabalho;
- tratamento específico por região, de forma a alcaçar maior eficiência nos recursos e energia;
- cálculo do balanço de materiais e energia, determinando os custos associados;
- análise de produtos/processos sob as perspectivas ambientais e econômicas;
- visualização de processos e avaliações do ciclo de vida com diagramas ilustrativos (Utiliza o diagrama Sankey);
- simulações prévias para embasar o planejamento;
- criação pelo próprio usuário de suas próprias bibliotecas de dados, além dos mais de

[1] Toda área prioritária para conservação, isto é, de alta biodiversidade e ameaçada no mais alto grau. É considerada Hotspot uma área com pelo menos 1.500 espécies endêmicas de plantas e que tenha perdido mais de 3/4 de sua vegetação original. (http://www.conservation.org.br/como/index.php?id=8).

4000 modelos do software, e de centena de outros obtidas por outras fontes através do processo de importação;

- determinação do impacto da produção de um produto através do ACV.

.

O Umberto possui suporte “multilingual” que possibilita o acesso direto por usuários de vários países.

Possui mais de 20 indicadores e sistemas de medição para o ACV.

O produtor do software disponibiliza, na página http://www.ifu.com/en/news-events/umberto-webcast/, o download de uma versão de demonstração do produto.

d) SimaPro

O SimaPro é um dos softwares desenvolvidos pela empresa PRé Consultants que atua a cerca de 20 anos na área de Avaliação de Ciclo de Vida através dos serviços de consultoria e desenvolvendo métodos e ferramentas de softwares.

O software pode ser licenciado nas versões profissional e educacional. Na versão profissional possui três opções: Compacta (oferece resultados rápidos, indicada para usuários principiantes, já que possui assistentes para auxiliá-lo, tornando transparente certas tarefas), Analista (permite modelar estudos detalhados e é adequada para usuários experts em ACV) e Desenvolvedor (versão apropriada para a criação de ferramentas dedicadas de ACV, possuindo recursos avançados tais como link para Excel/ASP e interface COM).

As principais funcionalidades do SimaPro são:

- interface de usuário intuitiva que guia o usuário para um ACV simplificado ou NBR ISO 14040 (ABNT, 2009);
- possibilidade de ecolha de várias bases de dados de inventário e vários métodos de avaliação de impacto;
- alocação de processos de múltiplas saídas;
- possibilidade de rastreamento dos recultados;
- análise de “pontos fracos” e dos “hot spots” do ACV, através da árvore de processos;
- opções de filtragem de resultados;

- análise de tratamento de resíduos complexos e cenários de reciclagem;

O SimaPro possui os seguintes ecoinvent v.2, US LCI, ELCD, US Input Output, EU and Danish Input Output, Dutch Input Output, LCA Food, Industry data v.2. Possui ainda os métodos de avaliação de impacto ReCiPe, Eco-indicator 99, USEtox, IPCC 2007, EPD, Impact2002+, CML-IA, Traci 2, BEES, Ecological Footprint, EDIP 2003, Ecological scarcity 2006, EPS 2000, Greenhouse Gas Protocol, entre outros.

e) Software LCA iT

LCAiT é um software da empresa Ekologiks.

De acordo com Ferreira (2004), as principais características do LCA iT são:

- dados de ACV QUE são documentados com formato SPINE;
- fluxos do processo e fatores de análise de impacto que podem ser importados de qualquer folha de cálculo ou programa de processamento de texto;
- análise de impacto incluindo fatores de caracterização e de ponderação;
- possibilidade de definição das fases do ciclo de vida (p.ex:, fase de produção, utilização, gestão de resíduo, produção de energia e transporte), sendo útil para apresentação dos resultados;
- possibilidade de comparação de sistemas de ACV distintos;
- possibilidade de exportação e importação de dados de/para outro software.

3.1.4 A IMPORTÂNCIA E LIMITAÇÃO DA ACV

A avaliação do ciclo de vida é uma ferramenta de gestão ambiental que avalia o desempenho de produtos no meio ambiente, incluindo todas as etapas (atividades humanas) para que um produto cumpra sua função, desde a obtenção dos recursos naturais (berço) utilizados no processo de fabricação, até a disposição final (túmulo) (SILVA, 2007).

De acordo com Martins (2008) *apud* Mateus (2008), para se obter uma gestão eficaz de recursos minerais, deve-se compatibilizar todas as etapas, ou seja, da extração (mineração) até a transformação com as preocupações voltadas para o ambiental e a responsabilidade social. Faz-se necessário construir políticas que impulsionem a sustentabilidade, ou seja, uma

abordagem global do ciclo de vida, incluindo inventário, prospecção e valorização dos recursos minerais.

As limitações da ACV são a falta de modelos para a avaliação de impactos, critérios subjetivos para a tomada de decisão, a carência de banco de dados de carácter regional e o grande número de dados a serem trabalhados. Por fim, a ACV é uma ferramenta de apoio à tomada de decisões que gera informações, mas por si só, não resolve os problemas (SILVA, 2007).

3.2 IMPACTOS AMBIENTAIS

O impacto ambiental é provocado pelo desequilíbrio ecológico, podendo ser resultado de eventos naturais (vulcão, terremotos, raios, etc.) ou antrópicos sobre o meio ambiente.

Os antrópicos são produzidos pela ação dos seres humanos em seus processos produtivos. Trazem uma série de impactos ambientais que podem ter efeito local, regional e global. Também é fato que um impacto local pode ter consequências regionais e globais, como por exemplo: a devastação de florestas tropicais por queimadas, para a introdução de pastagens que poderá resultar em um desequilíbrio do ecossistema natural e consequentemente extinguir espécies da fauna e flora, empobrecer o solo, trazer o assoreamento dos rios, diminuir o índice pluviométrico, aumentar a emissão de gases tóxicos na atmosfera, principalmente o gás carbônico, agravando o “efeito estufa”.

Conforme Ribeiro (2001), os impactos ambientais podem surgir nas infraestruturas e nas operações industriais e de transporte.

- Infraestruturas: Traz efeito da segregação espacial, intrusão visual, modificações no uso e ocupação do solo.
- Operações: Traz efeito sobre a qualidade de vida da população, derivado dos ruídos, vibrações, acidentes, poluição do ar e da água provocados pelos processos industriais e pela movimentação dos veículos.

Os impactos mais significativos para as sociedades são:

- frequência da temporalidade: contínuos e permanentes;
- extensão: espacial;

- reversibilidade: irreversível ou de difícil reversão;
- magnitude: grande;
- acumulação: exponencial.

3.2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS E SUAS CONSEQUÊNCIAS

Sendo o impacto ambiental a alteração no meio e nos seus componentes por determinada ação ou atividade, se faz necessária a qualificação e quantificação dessas alterações para que se possa avaliar e prevenir os impactos ambientais.

Para Ferreira (2007) os impactos ambientais e suas consequências são os seguintes:

- poluição por derramamento de óleo por petroleiros que degrada o meio ambiente e causa a destruição do ecossistema marinho;

- poluição atmosférica com a emissão de gases poluentes e metais pesados por atividades industriais e por veículos que consequentemente aumentam o aquecimento global, doenças na população, derretimento das calotas polares e geleiras, aumento do nível dos oceanos, alagamento das cidades litorâneas e terras agrícolas, e alterações climáticas;

- poluição hídrica (rios e bacias) causadas pelo lançamento de esgoto industrial e doméstico in natura nos rios, pela atividade de garimpo, pelo desmatamento das margens dos rios e lagos trazendo consequências como a destruição da fauna e flora, perda da biodiversidade pelo comprometimento do abastecimento de água;

- poluição dos solos pelos lixões que também poluem o ar e os lençóis freáticos causando transmissão de diversas doenças;

- desmatamento pelo uso da madeira (consumo interno e para exportação) e para processos produtivos diversos, inclusive na mineração trazendo a destruição da fauna e da flora, perda de biodiversidade, impactos no ciclo hidrológico, assoreamento dos rios e impacto na atmosfera;

- poluição por usinas nucleares, lixo tóxico e riscos de vazamentos de radiações resultando no comprometimento da biodiversidade.

3.2.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA E SUAS CONSEQUÊNCIAS

Ribeiro (2001) comenta que alteração da composição de determinado meio provoca a degradação e a poluição.

A poluição atmosférica é originada da geração de energia e dos combustíveis que são utilizados principalmente nas indústrias e nos transportes conforme a Tabela 5 :

Tabela 5 – Principais Fontes de Energia por Atividade

Atividade	***Principais fontes de energia***
Indústrias em geral	Eletricidade, Fontes de Carbono
Modal Rodoviário	Humana, Animal, Fontes de Carbono
Modal Ferroviário	Eletricidade, Fontes de Carbono
Modal Hidroviário	Fontes de Carbono
Modal Aéreo	Fontes de Carbono

Fonte: Ribeiro (2001)

As fontes de carbono provém da madeira, lenha, biomassa (álcoois, bio-gás, bio-diesel) e dos combustíveis fósseis (petróleo, carvão, gás natural, xisto).

A combustão do carbono e dos combustíveis fósseis das máquinas e dos modais produz CO_2 + energia térmica + material particulado (MP), que provocam tanto problemas respiratórios na população (asma e bronquite) como também a chuva ácida que provoca a acidificação de lagos, rios e solos.

Na Tabela 6, pode verifica-se que nos anos de 1973 e 1997 os transportes e a indústria são as atividade que mais consomem petróleo.

Tabela 6 – Participação do Consumo de Petróleo nos Principais Setores

Atividade	***1973***	***1997***
Transportes	43%	55%
Indústria	26%	20%
Outros Setores	25%	18%
Uso não energético	6%	7%

Fonte: Ribeiro (2001)

3.2.3 EMISSÕES POLUENTES E SEUS EFEITOS

Os setores da indústria e dos transportes utilizam principalmente a energia não renovável como energético. Na queima ou na combustão desses recursos, principalmente os de origem fóssil há a emissão de gases poluentes.

Os gases poluentes geram os impactos ambientais: aquecimento global, aquecimento local, poluição do ar, eutrofização e chuva ácida, conforme descrito a seguir.

Aquecimento Global

O efeito estufa é causado pelo acúmulo de vários gases na troposfera. Os gases de efeito estufa (GEE): o vapor d´água (H_2O), o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e o ozônio (O_3) ocorrem naturalmente na atmosfera. Quando atividades econômicas provocam emissões de GEE, em excesso, potencializam o efeito estufa, dificultando a saída das radiações infravermelhas, ocasionando o aquecimento global. Com o aumento da temperatura da superfície global, em cerca de 0,75^oC, algumas regiões podem ter efeito benéfico com o aumento de produtividade agrícola nos países de latitudes elevadas, mas a maior parte do nosso planeta sentirá os seguintes efeitos negativos: variações na produção agrícola, extinção de plantas e animais, mudanças nos padrões das enchentes e secas, redução da oferta de água potável, aumento do nível do mar, inundação das áreas costeiras e da proliferação de várias doenças infecciosas (BARTHOLOMEU, 2006).

Aquecimento Local

Também denominado de ilhas de calor, é um fenômeno climático que em geral ocorre em cidades com elevado grau de urbanização. Os principais fatores que ocasionam o aquecimento local são a pouca densidade de verde (plantas e árvores) e o alto índice de poluição atmosférica, que elevam a temperatura, propiciando e intensificando o aquecimento global.

Eutrofização

É quando há um aumento da quantidade de nutrientes e matéria orgânica em um sistema aquático, resultando na diminuição do mesmo. Fenômeno resultante da deposição em excesso de poluentes atmosféricos que contém o azoto como o óxido de nitrogênio (NO_X) e o gás amoníaco (NH_3), resultando em grande proliferação de algas verdes e cianobactérias que,

dependendo do volume, podem ser nocivas ao ambiente e a população.

Chuva Ácida

Formada pela reação da água com os poluentes atmosféricos, gera ácido nítrico e ácido sulfúrico, provoca danos nas plantas, no solo, nos meios marinhos e terrestres causando descontrole de ecossistemas com o extermínio de animais e vegetais.

Poluição do Ar

Para a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (2007), os poluentes podem ser primários e secundários. Os primários são emitidos diretamente pelas fontes de emissão, principalmente resultantes da indústria e do transporte. Os secundários são os formados na atmosfera pela reação química entre poluentes primários e os elementos naturais na atmosfera. No Quadro 07 são apresentados os principais poluentes atmosféricos juntamente com as características, fontes e efeitos.

Quadro 07 – Principais poluentes atmosféricos

POLUENTE	CARACTERÍSTICAS	FONTES	EFEITOS
Monóxido de Carbono CO	Incolor Inodoro Insípido Muito tóxico	Resulta da queima incompleta de combustível	Reduz a oxigenação do sangue e afeta o sistema nervoso. Altos níveis de CO estão associados a prejuízo dos reflexos, da capacidade de estimar intervalos de tempo, no aprendizado, no trabalho e visual. Agrava doenças cardíacas e respiratórias, dores de cabeça, podendo levar à morte. Em grandes quantidades pode levar o indivíduo a morte por asfixia.
Hidrocarbono HC	Odor desagradável	Resulta da queima incompleta e evaporação de combustível	Câncer no pulmão, irritação nos olhos, pele e aparelho respiratório.

Fonte: Adaptado de CETESB (2007).

Quadro 08 – Principais poluentes atmosféricos (continuação)

Óxido de Nitrogênio NOx	Sob a ação da luz solar, transforma-se em NO_2, contribuindo na formação de fumaça, reduzindo a visibilidade Gás sufocante , irritante, cor marrom escuro avermelhado e forte agente oxidante. O NO_2 também participa de boa parte das reações atmosféricas que produzem o ozônio (ou smog).	Durante o processo industrial (fornos) e sistema de exaustão do motor (combustão)	A exposição continuada ao NO_2 pode irritar os pulmões e coração. Pode também reduzir a resistência às infecções respiratórias entre elas a gripe, bronquite, tosse, asma e insuficiência respiratória. O NO_2 pode ter efeitos adversos no ecossistema terrestre e aquático através da chuva ácida e da eutrofização.
Òxido de Enxofre SOx	Incolor com forte odor. Altamente irritante, não é inflamável.	Através de processos industriais (fundição, calcinação e outros) que utilizam a queima de óleo combustível, carvão, refinarias de petróleo, veículos à diesel, polpa e papel.	Desconforto na respiração, doenças respiratórias, agravamento de doenças cardiovasculares, pessoas com asma, doenças crônicas de coração e pulmão são mais sensíveis ao SO_2. Além disso o SO_2, é precursor dos sulfatos e sulfitos causando doenças na pele. Pode acelerar a formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos a vegetação.
Ozônio O3	Gás incolor Inodoro	Radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e de orgânicos voláteis	Danos às vegetação natural, às plantações Agrícolas e às plantas em geral.
Partículas Totais em Suspensão (MP)	Material particulado, irritante, pulverulento, de cor predominantemente cinza ou negras, tais como poeira, neblina, fumaça e fuligem com diâmetro de 11 à <100 micra. Por serem originadas de fontes estacionárias ou móveis, sua composição físico-química pode ter uma enorme variação.	Poeira de rua e de processos industriais (fornos) de combustão de combustíveis nos transportes	Afeta o sistema respiratório, o tecido do coração e pode ocasionar câncer e mortes prematuras. Danos à vegetação, contaminação do solo deterioração da visibilidade nas estradas e vias urbanas .

Fonte: Adaptado de CETESB (2007).

Quadro 09 – Principais poluentes atmosféricos (continuação)

Micro partículas inaláveis (MP)	Partículas de material que ficam suspensos no ar, tais como poeira, neblina, fumaça e fuligem com diâmetro <10 micra	Através dos processos industriais (fornos) de combustão de combustíveis nos transportes	Afeta o sistema respiratório, o tecido do coração e pode ocasionar câncer e mortes prematuras. Danos à vegetação, contaminação do solo, deterioração da visibilidade nas estradas e vias urbanas .

Fonte: Adaptado de CETESB (2007).

3.3 SUSTENTABILIDADE

De acordo com Brundtland (1987) “desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades presentes sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades”.

Já a definição elaborada na Agenda 21 for Sustainable construction in developing countries (UNEP/CIB/CSIR/CIDB [2009]) - “Desenvolvimento sustentável é um processo contínuo de manutenção de um equilíbrio dinâmico entre as necessidades e demandas das pessoas por igualdade, prosperidade e qualidade de vida, e o que é ecologicamente viável’’.

Para Indriunas (2007), o tripé é perfeito para entender a sustentabilidade. O tripé contém os aspectos econômicos, ambientais e sociais, que devem interagir de maneira a formarem uma unidade única.

O Triple Bottom Line apresentado na Figura 8, foi definido por Elkington (1994) como os 3Ps (People, Planet and Profit) que em português é o Tripé Sustentável com a sigla PPL (Pessoas, Planeta e Lucro). Cada um desses aspectos pode ser aplicado tanto de maneira macro (planeta, continente ou país) como de maneira micro (casa, pequeno comércio, etc.), como detalhado a seguir:

- **People** - capital humano de uma empresa ou sociedade com salários justos de acordo com a legislação trabalhistas e propiciar o bem ser estar através de um

ambiente agradável, saudável e seguro dos funcionários e da sua família. Além de dar assistência às comunidades do entorno da indústria ou empreendimento pois, a vizinhança é afetada social, econômica, ambiental e em casos específicos culturalmente, como as comunidades indígenas;.

- **Planet** – capital natural de uma empresa ou sociedade, ou seja, a perna ambiental do tripé. Praticamente toda atividade econômica traz impacto ambiental negativo, então a empresa e/ou a sociedade devem criar mecanismos de amenizar e compensar o impacto que não pode ser amenizado. A indústria que usa uma determinada matéria-prima deve planejar formas de repor os recursos ou de diminuir ao máximo o consumo desse material e estar de conformidade com a legislação ambiental, resultando em menor impactos ambientais como, por exemplo, na redução de quantidade de CO_2 na atmosfera;

- **Profit** – capital econômico positivo de uma empresa, ou seja, o lucro. Quando se leva em conta a triple bottom line, essa perna deve levar em conta os aspectos ambientais e sociais, pois caso contrário a sustentabilidade ficará comprometida capital natural de uma empresa ou sociedade, ou seja, a perna ambiental do tripé. Praticamente toda atividade econômica traz impacto ambiental negativo, então a empresa e/ou a sociedade devem criar mecanismos de amenizar e compensar o impacto que não pode ser amenizado.

Outros aspectos como as questões políticas e culturais são importante para uma melhor interligação do tripé. Os aspectos políticos trazem a coerência esperada entre o desenvolvimento sustentável e a prática para adotá-las em uma determinada empresa ou sociedade. Os aspectos culturais devem ser levados em conta o tempo todo. A harmoniosa relação da empresa com as comunidades ao seu redor pode ser de grande valia no entendimento melhor da dinâmica da biodiversidade local.

Fonte:Stephan (2010)

Figura 08 – Triple Bottom Line

3.3.1 AGENDA 21 BRASILEIRA E DO SETOR MINERAL

Vários países assumiram um compromisso ético e político na ECO-92 -Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD/UNCED), realizada no Rio de Janeiro.

Logo após a ECO 92 começou uma mobilização da Confederação Nacional da Indústria - CNI no sentido de contribuir com o processo de desenvolvimento sustentável nacional. Foi elaborado um documento que expressa a posição empresarial sobre o tema com o objetivo de estabelecer um conjunto de princípios e recomendações do setor industrial para conciliar o crescimento econômico com o equilíbrio ecológico, baseados na Agenda 21 Global, envolvendo os recursos florestais, a gestão de recursos hídricos, o desenvolvimento sustentável e a responsabilidade social, a proteção a atmosfera e mudanças climáticas, diversidade biológica e gestão da biotecnologia, produtos tóxicos e resíduos perigosos, comércio e meio ambiente , energia e transporte, sendo seus principais princípios:

- promover a competitividade da indústria, respeitados os conceitos de desenvolvimento sustentável e o uso racional de recursos naturais e de energias;

- assegurar a participação pró-ativa do setor industrial, em conjunto com o governo e organizações não governamentais no sentido de desenvolver e aperfeiçoar leis, regulamentos e padrões ambientais, nas negociações nacionais e internacionais;
- fomentar a capacitação técnica e incentivar a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias com o objetivo de reduzir ou eliminar impactos adversos ao meio ambiente e à saúde; e
- promover a máxima divulgação e conhecimento da Agenda 21, estimulando sua implementação.

Com o compromisso da sustentabilidade, foi criada a Agenda 21 Brasileira, formada por membros do governo e da sociedade civil, que conta com seis temáticas básicas:

- agricultura sustentável;
- cidades sustentáveis;
- infraestrutura e integração regional;
- gestão dos recursos naturais;
- redução das desigualdades sociais; e
- ciência e tecnologia para o desenvolvimento sustentável.

Entre as várias ações propostas pelo Programa Agenda 21, pode-se destacar:

- Agendas municipais em parceria com planos diretores;
- Agenda 21 na empresa;
- Agenda 21 no setor mineral.

A Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral -SGM (2007) realizou o IV Seminário Nacional de APLs de Base Mineral cujo tema principal foi a sustentabilidade ambiental da pequena mineração.

Na ocasião verificou-se que a mineração sustentável seria um grande desafio por ela ser uma atividade que lida com recursos naturais não renováveis e cuja inserção no desenvolvimento local tem período limitado.

Foi verificada a necessidade de um planejamento conjunto de empreendedores da mineração com a sociedade para se obter o desenvolvimento sustentável local, principalmente para os anos que sucedem o encerramento das atividades.

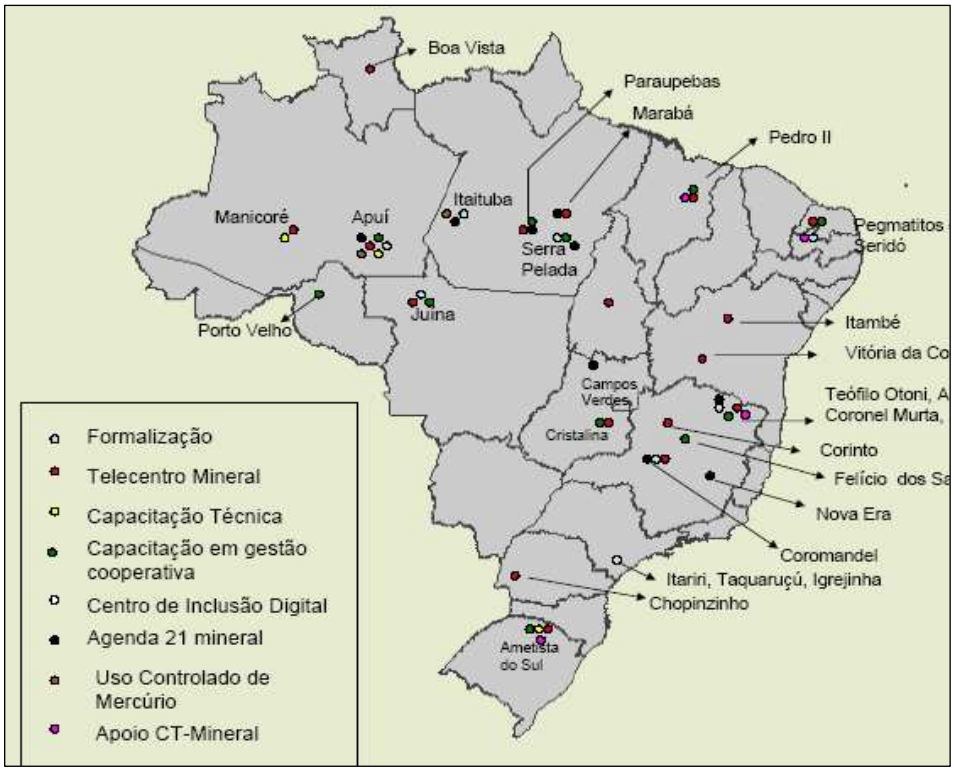
A seguir estão relacionados todos os programas implementados de apoio à sustentabilidade dos pequenos empreendimentos:

- Programação Nacional de Formalização da Produção Mineral;
- Programa de Cooperativismo na Mineração;
- Programa de Saúde e Segurança nas Minas;
- Programa de Capacitação Técnica e Gerencial do Pequeno Produtor Mineral;
- Portal do Pequeno Produtor Mineral;
- Telecentros Minerais;
- Centro de Inclusão Digital do Pequeno Produtor Mineral;
- Agenda 21 Mineral;
- Incentivo a agregação de valor, com formação de APLs;e
- Extensionismo Mineral.

De acordo com a SGM (2007), o IV Seminário Nacional de APLs Base Mineral trouxe mobilizações que resultaram na montagem e consolidação das seguintes cooperativas.

- Gemas e minerais industriais: Araçuai, Coronel Murta e Itinga;
- Diamante: Coromandel;
- Ouro: Serra Pelada;
- Pedra Sabão: Mariana e Catas Altas de Noruega;
- Rochas Ornamentais – São Tomé das Letras;
- Cristal de Rocha (Quartzo): Joaquim Felício, Cristalina;
- Opala em Pedro II;
- Calcário do Cariri.

Na Figura 09 observa-se que Pernambuco é um dos poucos estados brasileiros que não foi contemplado pelo programa de apoio à sustentabilidade dos pequenos empreendimentos e que ainda não está cadastrado para usufruir dos benefícios da Rede no Portal de Apoio ao Pequeno Produtor Mineral acessado pelo site http://www.pormim.gov.br.



Fonte: IV Seminário Nacional APLs Base Mineral, 2007

Figura 09 - Mapa do Programa de Sustentabilidade dos Pequenos Empreendimentos

3.3.2 LEGISLAÇÃO E NORMAS AMBIENTAIS BRASILEIRAS

A eficácia da legislação com seus regulamentos e normas é extremamente eficiente para delimitar e coibir ações externas de impacto ambiental.

A legislação ambiental é composta de leis e regulamentos ambientais, sendo um instrumento de comando e controle da política ambiental.

As políticas ambientais são a base para um nível mais elevado de desenvolvimento econômico e social de uma nação.

Os países desenvolvidos, como é o caso da Noruega, da França e Canadá, já possuem uma política de desenvolvimento sustentável ao ponto de apresentarem contas de estoques naturais (CAIRNCROSS, 1992).

No Quadro 10, de acordo com Sales (2001), apresenta as principais leis e resoluções brasileiras quanto ao meio ambiente.

Quadro 10 - Principais Leis e Resoluções ambientais brasileiras

LEIS E RESOLUÇÕES	PRINCIPAIS DISPOSITIVOS
Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) – Lei Nº 5.938 de 1981	- Instrumentos de controle e zoneamento, licenciamentos, estudo de impacto ambiental, avaliações técnicas (EIA/RIMA) - Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) para implementação de políticas, objetivos e legislação ambiental. - Regime de responsabilidade civil por dano ambiental. - Direito outorgado a qualquer cidadão de obter informações sobre questões ambientais inclusive certidões
Lei da Ação Civil Pública – Lei Nº 7.347 de 1995 e Código de Defesa do Consumidor (Lei Nº 88.078 de 1990)	- Autorização do poder público no âmbito federal, estadual e municipal, organizações não governamentais de propor ações judiciais de responsabilidade ambiental e determinação de reparação e/ou indenização por danos ambientais.
Constituição 1988	- Capítulo especial de proteção ambiental.
Resoluções do CONAMA	- Série de regulamentos ambientais que estabelecem regras para a PNMA.
Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei Nº 9.433 de 1997	- Princípio que estabelece a água como bem público e recurso natural limitado e com valor econômico, regras para outorga de direitos de uso, previsão de cobrança pela captação e descarte.
Lei dos Crimes Ambientais – Lei Nº 9.605 publicada em 1998 e regulamentada em 1999	- Responsabilização criminal com pesadas multas para pessoa jurídica. - Responsabilização penal dos agentes governamentais pela emissão de autorizações ou licenças ambientais em desacordo com a lei.
Lei sobre educação ambiental – Lei Nº 9.795 de 1999	- Acesso a qualquer interessado às informações e conhecimento sobre impactos ambientais negativos

Fonte: Sales (2001).

3.3.3 LEGISLAÇÃO E NORMAS AMBIENTAIS INTERNACIONAIS

Conforme Cicaré e Mussio (2001), as ações comerciais entre países podem ser afetadas por políticas ambientais inadequadas, restringindo importações de matérias primas e produtos, como exemplo: nos acordos firmados no Mercosul há uma preocupação de que a internacionalização de custos ambientais necessita acontecer de forma harmônica.

Hoje, não há restrições somente tarifárias, fitossanitárias e técnicas, mas em destaque surgem as restrições ecológicas (dumping ambiental) com novos padrões ambientais que regulam o ciclo de vida do produto, trazendo à tona a responsabilidade e precaução de danos ambientais e suas consequências.

Conforme Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (2001), os maiores compradores da gipsita brasileira são em ordem decrescente: Argentina, Paraguai, Venezuela, Uruguai, Equador, Chile, Alemanha, EUA e Reino Unido, que juntos correspondem a 97,9% das toneladas exportadas em 2000.

Apesar da abundância da gipsita e da crescente produção nacional, verifica-se conforme esclarece Mateus (2008), por exemplo, que a União Européia (UE) em 2008 começou a promover a Política de comércio e de regulamentação da UE de matérias-primas com novas regras visando a aquisição e acesso sustentável de matérias-primas, assegurando o cumprimento dos compromissos internacionais de acordo com a Organização Mundial do Comércio (OMC), promovendo assim a gestão sustentável das matérias-primas. Entre várias medidas pode-se destacar as seguintes:

- desenvolver uma política européia que permita preservar o balanço crítico entre uma exploração racional de recursos e a conservação da natureza e da biodiversidade (com códigos de boas práticas);
- fomentar políticas que impeçam a importação maciça, desnecessária e por vezes com altos custos;
- promover políticas que permitam avaliar, em situação de conflito, a melhor alternativa econômica, ambiental e social para uso do solo de onde se pretende extrair a matéria-prima.

O Quadro 11 mostra as principais diretrizes do programa europeu para a gestão sustentável das matérias primas.

Quadro 11 - Gestão sustentável das matérias-primas da União Européia - UE

	Diretrizes	Nível de Atuação		
		EU	**Estados-Membros**	**Indústria**
1	Definir matérias-primas	X	X	X
2	Lançar uma diplomacia estratégica comunitária das matérias-primas junto dos principais países industrializados e dos países ricos em recursos	X	X	
3	Introduzir disposição sobre acesso e gestão sustentável das matérias-primas em todos os acordos comerciais bilaterais e multilaterais e em negociações em matéria de regulação, consoante os casos	X	X	
4	Identificar e contestar as medidas de distorção do comércio adotadas por países terceiros, recorrendo a todos os mecanismos e instrumentos disponíveis, incluindo negociações da OMC, resolução de litígios e parcerias de acesso ao mercado, dando prioridade às medidas que mais subvertam a abertura dos mercados internacionais em prejuízo da UE. Acompanhar os progressos emitindo relatórios intercalares anuais sobre a aplicação dos aspectos comerciais, com base nos elementos fornecidos pelas partes interessadas, consoante os casos.	X	X	X
5	Promover o acesso sustentável às matérias-primas no domínio da política de desenvolvimento, recorrendo ao apoio orçamental, às estratégias de cooperação e a outros instrumentos	X	X	
6	Melhorar o quadro normativo relacionando com o acesso aos solos: - promovendo o intercâmbio de boas práticas no domínio do planejamento do uso dos solos e das condições administrativas para exploração e extração; e - desenvolvendo as atividades de extração no interior ou nas proximidades das zonas Natura 2000 com a proteção do ambiente	X	X	
7	Fomentar uma melhor ligação em rede dos inquéritos geológicos nacionais tendo em vista melhorar a base de conhecimento da UE.		X	
8	Promover a aquisição de competências e a investigação centrada nas tecnologias inovadoras de exploração e extração, na reciclagem, nos materiais de substituição e na eficiência dos recursos	X	X	X
9	Aumentar a eficiência dos recursos e promover a substituição de matérias-primas	X	X	X
10	Promover a reciclagem e facilitar a utilização de matérias-primas secundárias na EU	X	X	X

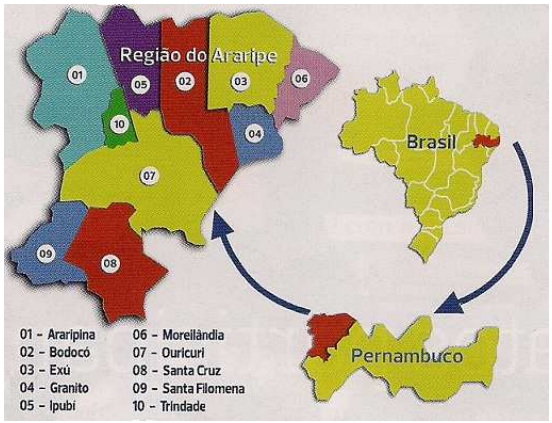
Fonte: Adaptado de Mateus (2008)

4. ESTUDO DE CASO

4.1 PÓLO GESSEIRO DE PERNAMBUCO

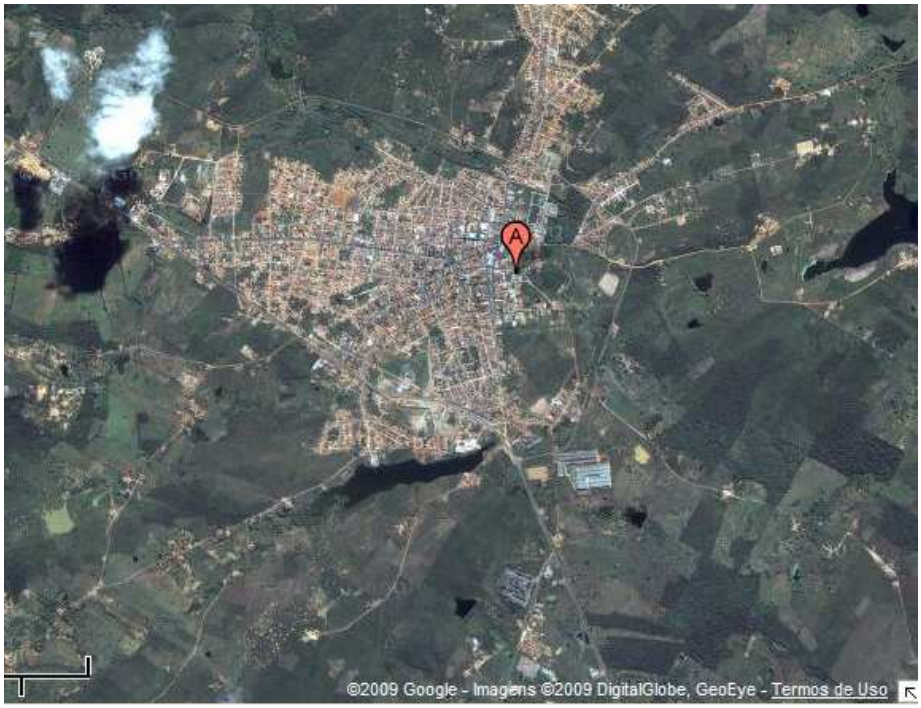
A Chapada do Araripe possui altitudes entre 850 e 1000m, com vegetação típica da Caatinga e desde 1997 está incluída na Área de Proteção Ambiental da Chapada do Araripe. Seu clima é semi-árido, com temperaturas médias anuais entre 24ºC e 29ºC e com precipitações pluviométricas médias entre 521,9 e 1.426,8 milímetros. O Pólo Gesseiro de Pernambuco está localizado no extremo oeste do Estado, a aproximadamente 700 Km da capital Recife, conforme Figura 10, com uma área total de 7.074,60 Km2 e com 235.446 habitantes, sendo composto pelos municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade, responsável por aproximadamente 90% da produção nacional de gipsita e 81% da produção de gesso (LYRA SOBRINHO *et al.*, 2006).

A exploração de gipsita é sua principal atividade econômica, seguida das culturas de subsistência nas áreas de sequeiro, da pecuária, da agricultura, da apicultura e na exploração dos recursos florestais utilizados como matriz energética. Observa-se que ainda persiste uma grande pressão sobre os recursos naturais, em especial os florestais, devido ao grande consumo de lenha nativa para atender aos diferentes setores econômicos, ocasionando a degradação de várias áreas. As florestas devastadas deram lugar a campos de culturas e pastagens, conforme se verifica nas Figuras 11 a 12 (PERNAMBUCO, 2007).



Fonte: ENGENHAR (2010)

Figura 10 - Localização do Pólo do Araripe



Fonte: Google Maps (2009)

Figura 11 – Vista de satélite do centro urbano da cidade de Araripina

Fonte: Google Maps (2009)

Figura 12 – Vista de satélite do desmatamento do Polo Gesseiro do Araripe

Outro dado importante dos munícipios que compõem o Pólo Gesseiro do Araripe é que apesar do Índice de desenvolvimento humano médio (IDHm) desses municípios entre 1990 a 2000 ter crescido em torno de 22,72%, o índice de 2000 foi de 0,6232, abaixo da média pernambucana e brasileira, respectivamente, de 0,691 e 0,789 (IBGE, 2009).

Em 2007, o Araripe contava com 37 mineradoras em produção, cerca de 100 calcinadoras e 300 pequenas unidades produtoras de pré-moldados. Sendo que neste mesmo ano a produção nacional de gipsita bruta alcançou 1.923.119 toneladas, correspondente a 1,5% da produção mundial (PERNAMBUCO, 2007).

Segundo DNPM (2010), 58% da produção de gipsita de Pernambuco, em 2009, foi destinada para as calcinadoras, 29% para o setor cimenteiro e 13% para a produção de gesso agrícola e outros.

As 10 maiores minas são operadas por cinco grandes empresas que geraram o equivalente a 72% da produção nacional em 2007, cerca de 59% da gipsita foi para o segmento de calcinação, 30% foi para o segmento cimenteiro e 11% foi destinado para o gesso agrícola (DNPM, 2007).

No Quadro 12 pode-se verificar as principais estatísticas do setor gesseiro brasileiro no período de 2005 a 2007.

Quadro 12 - Principais Estatísticas do Setor do Gesso- Brasil – 2005 a 2007

DISCRIMINAÇÃO			**2005** (r)	**2006** (r)	**2007** (p)
PRODUÇÃO	Gipsita (ROM)	(t)	1.582.248	1.771.671	1.923.119
	Gesso	(t)	731.921	881.052	907.178
	Fosfogesso	(t)	8.216.000	. . . .	. . . .
IMPORTAÇÃO	Gipsita+manufaturados	(t 10^3 US$-CIF)	3.055	1899	16.883
			1.233	1455	4.277
EXPORTAÇÃO	Gipsita+manufaturados	(t 10^3 US$-FOB)	16.436	37752	17.382
			3.072	8.882	3.777
CONSUMO APARENTE (1)	Gipsita+manufaturados	(t)	1.568.867	1.701.367	1.922.620
PREÇOS (2)	Gipsita (ROM)	(R$/t)	11,57	13,37	12

Fontes: DNPM-DIDEM, MF-SRF, MDIC-SECEX, Mineral Commodity Summaries - 2008

Notas:

(1) Produção + Importação – Exportação
(2) Preço médio anual na boca da mina
(p) Dados preliminares passíveis de modificação
(r) Revisado
(....) Não Disponível

4.2 QUADRO ATUAL DO PÓLO GESSEIRO DE PERNAMBUCO

- MINERAÇÃO DA GIPSITA

As minas pernambucanas possuem geologia muito semelhante, todas são de lavra a céu aberto, em cava *open pit*, com frente em forma de anfiteatro e com bancadas com alturas entre 5 e 10 metros (DNPM, 2001).

No Pólo Gesseiro do Araripe, em geral, as mineradoras trabalham de forma similar às outras, na qual o desmonte dos bancos de gipsita é a fogo, ou seja, explosivos na forma granulada ou gelatinosa, sendo a dinamite a mais utilizada, conforme mostra a Figura 13.

Fonte: CPRH (2003)

Figura 13 - Desmonte de rochoso com dinamite.

A maior parte das mineradoras, por serem de pequeno porte, utilizam a cominuição manual (Figura 14), enquanto as de maior porte utilizam a mecânica com a utilização de tratores de esteira, pás carregadeiras, marteletes pneumáticos e *wagon-drills* na perfuração, com caminhões basculantes para a limpeza, o decapeamento e posterior carregamento e transporte do minério de gipsita (DNPM, 2001).

Figura 14 – Processo rudimentar de cominuição

Como a exploração da gipsita é feita por empresas de vários portes, se observam acentuadas diferenças quanto a linha e a escala de produção. Nas empresas que contam com uma tecnologia mais avançada pode-se chegar a uma produção superior a 100.000 tpa ROM (toneladas por ano de minério *run off mine*) (DNPM, 2001).

A melhoria tecnológica que se observa na extração da gipsita no Araripe está na otimização dos planos de fogo; a implantação do rompedor hidráulico após o desmonte (mineradoras de grande porte), eliminando o fogacho (fogo secundário), resultando numa fragmentação mais homogênea e em maior segurança no trabalho. Algumas mineradoras, para atender as indústrias cimenteiras, instalaram unidades de britagem, rebritagem e de peneiramento.

Ainda hoje, muitos empreendimentos de mineração não dispõem de recursos financeiros e de pessoal capacitado para utilizar as tecnologias que reduzem os impactos ambientais, persistindo a produção artesanal e informal do setor, impactando negativamente o meio ambiente, a saúde e a segurança dos trabalhadores.

Para Silva (2003), os impactos ambientais mais relevantes na fase de extração da gipsita são:

- degradação ambiental das áreas de lavra, através da retirada de material e do acúmulo do material estéril;
- emissão de poluentes atmosféricos, provenientes do desmonte a fogo dos bancos, da movimentação de materiais fragmentados e do tráfego de veículos e da erosão eólica da áreas expostas a ação do vento.

- **CALCINAÇÃO**

Conforme CPRH (2006), o processo da calcinação varia conforme o tipo de forno utilizado. Os principais fornos utilizados na calcinação da gipsita no Araripe são os seguintes:

- panela – É o forno mais rudimentar, pás agitadoras homogenizam a calcinação, e a temperatura e o tempo são controlados de forma empírica, dependendo exclusivamente da experiência do operador; utiliza a lenha como combustível e está em extinção;
- marmita – É o forno com formato de panelão fechado, um sistema de palhetas internas garante a homogenização do material, e a temperatura pode ser controlada por pirômetro; utiliza a lenha ou óleo BPF como combustível;
- rotativo tubular (rotativo contínuo) - É um tubo de aço e material refratário de grande extensão e com pequena inclinação. A gipsita moída entra em contato direto com a chama do maçarico ao lado da alimentação, a calcinação se dá à proporção que o material se desloca, por gravidade, ao longo da extensão do forno, o tempo de resistência é controlado pela velocidade de rotação do tubo;
- marmita rotativo (rotativo batelada) - Tem a forma tubular e são de aço e refratário, algumas dispõem de controles automatizados por computadores, enquanto que em outros o controle é feito de maneira empírica. Nesse tipo de forno o minério não entra em contato direto com a chama do forno; em alguns equipamentos há o controle de tempo de residência, de temperatura, de perda de massa e da pressão interna, sendo que o material permanece no tubo e a descarga é intermitente.

O comparativo entre os fornos rotativo, marmita e panela pode ser observado no Quadro 13. Verifica-se que o forno mais adequado para a calcinação é o rotativo, com um único inconveniente do alto custo de implantação quando comparado com os outros, em seguida, o marmita e o menos indicado é o panela que, além ter uma pequena capacidade produtiva, utiliza exclusivamente a lenha como energético (Figura 15), produzindo muita quantidade de poluente no processo produtivo (Figura 16).

Figura 15 – Calcinadora utilizando a lenha como energético.

Figura 16 – Poluição no ambiente da calcinadora

Quadro 13 - Comparativo das características dos Fornos do Pólo Gesseiro de Pernambuco

Características	Fornos		
	Rotativo	Marmita	Panela
Tipo de Gesso produzido	Fundição	Fundição e revestimento	Fundição e revestimento
Poluente do ambiente interno	Pouco	Pouco	Muito
Combustível consumido	Óleo BPF	Lenha e óleo BPF	Lenha
Consumo de combustível (1.000 kcal/t de gesso)	332	1.096 e 440	1.643
Investimento	Grande	Médio	Pequeno
Capacidade produtiva (t/h)	2,5 a 3,5	0,6 a 0,8	0,1 a 0,2
Manutenção	Média	Média	Grande
Tendência a formar supercalcinado ou cru	Sim	Não	Não
Facilidade do controle de tempo de pega	Não	Sim	Sim
Durabilidade (em anos)	Indefinida	Indefinida	0,5 a 0,6

Fonte: Peres et al (2001).

No Araripe, as calcinadoras de médio porte utilizam energéticos florestais e apresentam níveis semelhantes de produção; diferenciam-se pelo grau de mecanização, estrutura organizacional e capacidade produtiva.

Quanto a questão ambiental, é importante ressaltar que as empresas produtoras de maior porte, devido ao maior grau de sofisticação e automação no processo industrial, apresentaram um pequeno índice de poluição no interior da fábrica; nas de menor porte, verificou-se que o nível de poluição era bastante elevado; e em ambas (menor e maior porte) foram detectados o lançamento externo, na atmosfera, de gases danosos ao meio ambiente, em todo o entorno do perímetro urbano de Trindade, Araripina, Ipubi e Ouricuri (DNPM, 2001).

Os principais impactos na fase de calcinação são:

- emissão de poluentes atmosféricos, provenientes: da movimentação e beneficiamento de materiais; do consumo de combustíveis; do forno de calcinação; do tráfego de veículos e erosão eólica das áreas expostas a ação do vento;

- geração de resíduos sólidos provenientes das instalações administrativas (papel, embalagens, dentre outros) e do processo produtivo, principalmente matérias primas e gesso contaminado com estéreis.

- PRODUTOS DERIVADOS DA INDÚSTRIA GESSEIRA

De acordo com o CPRH (2006), os principais produtos são o sulfato de cálcio dihidratado (DH) – gipsita para emprego na agricultura; que por desidratação resulta o sulfato de cálcio semi-hidratado (SH), a anidrita III (AnIII); por transformação exotérmica produz a anidrita II (AnII) e a anidrita I (AnI).

Do processo de calcinação pode resultar o gesso alfa que é utilizado em aplicações nobres (odontologia e medicina) e alcançam preços mais elevados; ou o gesso beta que é utilizado na construção, na fundição, em revestimentos, na indústria cimenteira e na indústria cerâmica.

No Araripe a produção de pré-moldados ainda tem uma baixa produtividade, pelo fato do processo ser basicamente manual, contando com alguns equipamentos rudimentares, tais como: misturadores de gesso e água, mesas e réguas.

Os principais produtos da indústria de pré-moldados para a construção são as placas (60 e 65) cm^2 utilizadas em geral para forros; para paredes e divisórias internas são utilizados os blocos para vedação vertical ou chapas e painéis acartonados; bloquetes de gesso, entre outros (CPRH, 2006).

Os principais impactos na fase de Fabricação de Pré-Moldados são:

- pequena emissão de poluentes atmosféricos, provenientes do tráfego de veículos e da erosão eólica das áreas expostas a ação do vento;
- geração de resíduos sólidos, em geral, provenientes das instalações administrativas (papel, embalagens, dentre outros) e do processo produtivo, principalmente, fragmentos de gesso, embalagens metálicas (latas vazias de querosene utilizado na lubrificação dos moldes).

- MODAIS UTILIZADOS NA ATUAL CADEIA PRODUTIVA DO GESSO

Pernambuco possui uma rede diversificada com diversos modais, sendo que o predominante, como no restante do Brasil, é o rodoviário. Como já apresentado na seção 2.7 deste trabalho, o modal rodoviário é indicado para distâncias de até 500 Km.

No território pernambucano existem ferrovias pouco conservadas e em alguns trechos desativadas, precisando de manutenção e ampliação para que possam escoar a produção gesseira de forma adequada.

No Seminário sobre meio ambiente da Volvo (14/07/08, 2008) a especialista Prof.ª Márcia Valle, em palestra, esclareceu que a maioria da frota de caminhões no Brasil é formada por veículos autônomos de meados dos anos 80, com idade média de 22,4 anos e que não atendem às exigências de controle do PROCONVE (Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores) que estabeleceu critérios técnicos para os veículos fabricados a partir de 1993. Por outro lado, esses caminhões possuem manutenção precária, o que aumenta o nível de emissões atmosféricas.

Grande parte da produção, destinada para o país, é escoada pelo modal rodoviário (Figuras 17 e 18) e para as exportações, em geral, se utiliza a multimodalidade rodoviário para o trecho nacional e aquaviário (marítimo) para o trecho internacional.

Figura 17 – Transporte rodoviário do gesso

Figura 18 – Condições precárias do transporte rodoviário do gesso

5. MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho adotou os seguintes métodos:

- Construção de um arcabouço teórico através de pesquisas aos órgãos: CPRH-PE, ITEP, IBAMA, OMC, MDIC, DNPM, SECTMA, UPE, UFPE, SINDUGESSO, SINDUSCON-PE .
- Pesquisa exploratória de documentos e levantamentos tanto a nível estadual (em especial da CPRH) quanto a nível federal e visita a mineradora e calcinadora do Pólo Gesseiro de Pernambuco com registro visual e fotográfico , gerando um diagnóstico atual do perfil das empresas do Pólo Gesseiro.
- Utilização da ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) conforme norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2009) e inventários CPRH (Projeto de Reestruturação e Aperfeiçoamento do Licenciamento Ambiental da Região do Araripe; Roteiro Complementar de Licenciamento e Fiscalização da Cadeia Produtiva do Gesso; Estudo exploratório preliminar de causa e efeito e hierarquização dos problemas ambientais da Região do Araripe – PE do Programa Nacional do Meio Ambiente II (PNMA II TOR 349) com o diagnóstico atual e novas propostas que resultaram em menos impactos ambientais da indústria gesseira no Araripe. O estudo abordou as etapas: extração, calcinação e a produção de pré-moldados, não sendo considerada a etapa de gestão de resíduos e sua abrangência geográfica foi dos municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi. Ouricuri e Trindade.
- Utilização do método baseado na ACV, desenvolvido por Iqbal & Hasegawa (2001) para o comparativo dos tipos de transporte (modais), obtidos à partir de um banco de dados denominado Eco-Indicador95, e propor novos cenários: regional, nacional e internacional, que resultem em menor impacto ambiental.

6. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO GESSO PERNAMBUCANO

Para a avaliação do ciclo de vida (ACV) do gesso pernambucano foram considerados dois aspectos:

- ACV da cadeia produtiva do gesso (da mineração até a produção de pré-moldados, incluindo máquinas e equipamentos de mobilidade dentro do Pólo Gesseiro de Pernambuco);
- avaliação dos impactos da produção na saúde da população;
- avaliação dos impactos do transporte na cadeia produtiva do gesso para os mercados nacional e internacional.

6.1 ACV DA CADEIA PRODUTIVA DO GESSO

Com a finalidade de se visualizar adequadamente o ciclo de vida do gesso criou-se um fluxograma conforme Figura 19, delimitando-se o estudo (extração da gipsita, calcinação e indústrias de pré-moldados) onde são determinadas as entradas do processo produtivo e de transporte: energias, água, ar e as saídas: desperdícios, emissões, gipsita, gesso em pó e pré-moldados.

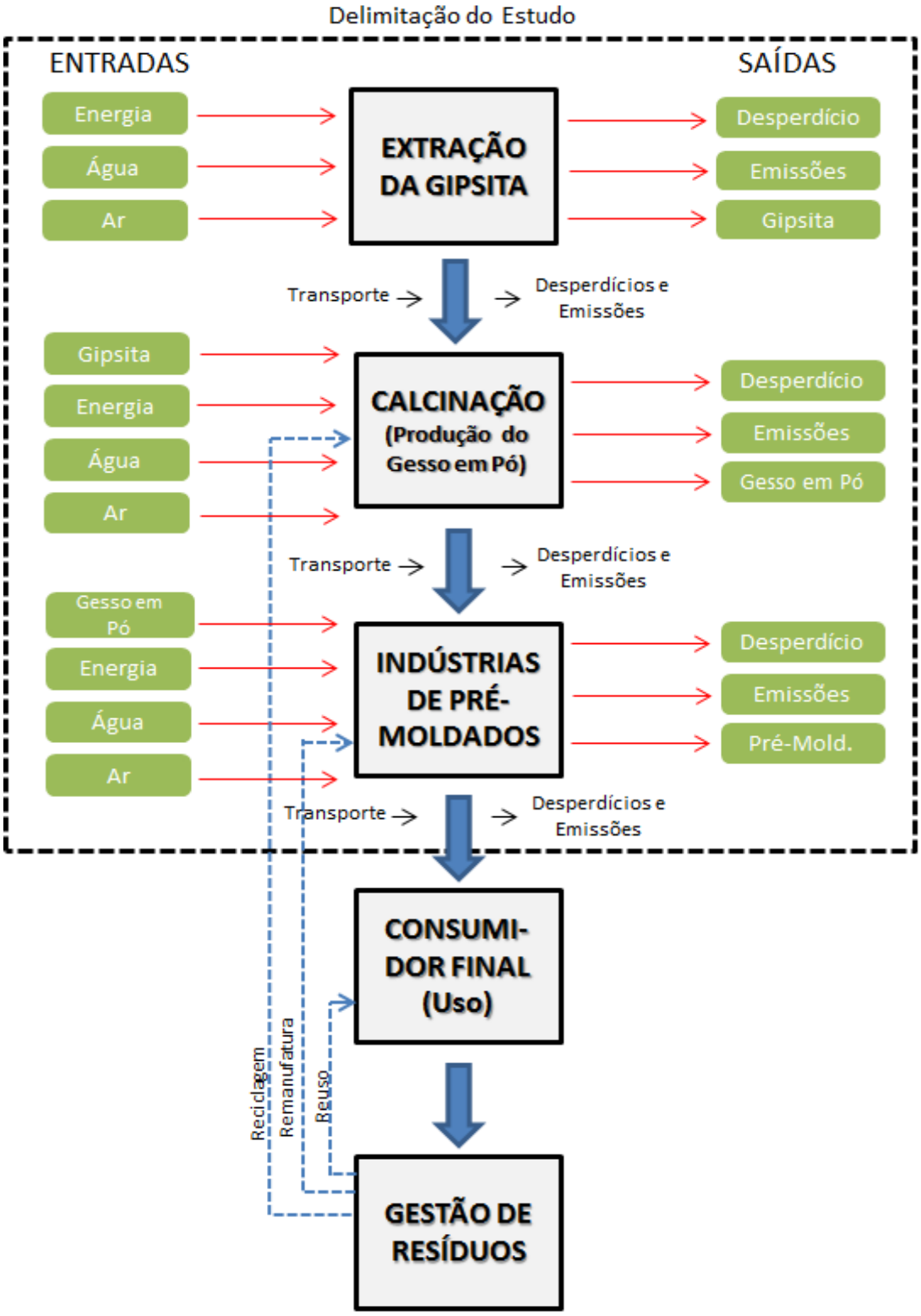


Figura 19 – Fluxograma do Ciclo de Vida do Gesso

6.1.1 DADOS PARA A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Os dados utilizados no inventário foram extraídos do documento: “Levantamento, cadastro e georreferenciamento dos empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental, identificação dos perfis tecnológicos e produtivos e elaboração de relatório do potencial poluidor do setor gesseiro sobre a qualidade do ar nos municípios do Araripe”, documento integrante do Projeto de Reestruturação e Aperfeiçoamento do Licenciamento Ambiental da Região do Araripe de 2003, coordenada por Maria do Carmo Tavares da Silva e executada pela Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente –SECTMA, pela Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – CPRH e Governo do Estado de Pernambuco, onde foram visitadas 246 empresas integrantes do Pólo Gesseiro do Araripe, sendo 22 mineradoras de gipsita, 60 calcinadoras e 164 fábricas de pré-moldados, conforme Quadro 14.

Quadro 14 – Tipologia das empresas do Polo Gesseiro de Pernambuco – 2003

TIPOLOGIA	ARARIPINA	TRINDADE	IPUBI	BODOCÓ	OURICURI	TOTAL POR TIPOLOGIA
EXTRAÇÃO DA GIPSITA	6	10	6	0	0	**22**
CALCINAÇÃO DA GIPSITA	22	25	8	1	4	**60**
PRÉ-MOLDADO COMO ATIVIDADE EXCLUSIVA	62	73	25	0	4	**164**
TOTAL POR MUNICÍPIO	**90**	**108**	**39**	**1**	**8**	**246**

Fonte: Silva (2003)

6.1.2 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DO PROCESSO PRODUTIVO

Constata-se que das 246 empresas pesquisadas em 2003, menos de 24,00% possuíam licenciamento ambiental pela CPRH-PE, o que indica um percentual muito pequeno dada a importância do controle ambiental do Araripe em face ao nível de poluição ambiental inerente às atividades desenvolvidas no Pólo Gesseiro de Pernambuco.

Conforme se deduz do Quadro 15, o município detentor das maiores taxas de emissões atmosféricas é o de Trindade, responsável por 46,5%, embora, quando trata-se de emissões por tonelada produzida por hora (Quadro 17), verifica-se que o município de Bodocó é o que apresenta maiores níveis, ou seja, 48,1% do total, seguido de Ipubi (16,7%), Trindade (13,3%), Ouricurí (11,8%) e Araripina (10,1%). No Quadro 15, considera-se o total produzido, enquanto os Quadros 16 e 17 tratam das emissões por tonelada produzida, permitindo-se assim visualizar o nível de poluição real das empresas produtoras.

Quadro 15 – Emissões atmosféricas por Atividade x Município

ATIVIDADE	EMPRESA		PRODUÇÃO (t/h)	EMISSÕES ATMOSFÉRICAS		
	TOTAL	LICENCIA-DAS CPRH		MP (kg/h)	NOX (kg/h)	SO2 (kg/h)
ARARIPINA						
EXTRAÇÃO GIPSITA	6	2	20,56	34,36	0,55	0,03
CALCINAÇÃO	22	13	86,39	500,29	27,84	38,63
PRÉ-MOLDADOS	62	5	190,70	152,63	7,24	17,15
TOTAIS ARARIPINA	**90**	**20**	**297,65**	**687,28**	**35,63**	**55,81**
TRINDADE						
EXTRAÇÃ GIPSITA	10	8	158,76	202,18	1,56	0,05
CALCINAÇÃO	25	12	79,66	656,06	107,64	28,53
PRÉ-MOLDADOS	73	6	200,55	161,52	7,01	0,39
TOTAIS TRINDADE	**108**	**26**	**438,97**	**1.019,76**	**116,21**	**28,97**
IPUBI						
EXTRAÇÃO GIPSITA	6	3	58,75	162,42	0,14	0,01
CALCINAÇÃO	8	4	21,46	227,65	12,84	11,14
PRÉ-MOLDADOS	25	1	69,49	47,58	2,29	0,12
TOTAIS IPUBI	**39**	**8**	**149,70**	**437,65**	**15,27**	**11,27**
BODOCÓ						
CALCINAÇÃO	1	1	0,17	7,00	0,43	0,02
TOTAIS BODOCÓ	**1**	**1**	**0,17**	**7,00**	**0,43**	**0,02**
OURICURÍ						
CALCINAÇÃO	4	2	8,20	67,93	3,16	0,17
PRÉ-MOLDADOS	4	1	10,01	19,38	0,97	0,05
TOTAIS OURICURI	**8**	**3**	**18,21**	**87,31**	**4,13**	**0,22**
TOTAL GERAL	**246**	**58**	**904,70**	**2.239,00**	**171,67**	**96,29**

Fonte: Adaptado de Silva (2003)

Trabalhando os dados da Tabela A-1, nos anexos, constata-se que as indústrias calcinadoras são as que mais geram emissões atmosféricas no seu processo industrial, conforme Quadro 16 respondendo por 88,7% do total das emissões, seguida pela atividade de extração de gipsita (6,3%) e por último as indústrias de pré-moldados (5,0%).

Quadro 16 – Emissões atmosféricas por Atividade Industrial e Município (Valores por tonelada produzida)

ATIVIDADE	MUNICÍPIO	MP (kg/h)	NO_X (kg/h)	SO_2 (kg/h)
EXTR. GIPSITA	ARARIPINA	1,6712	0,0268	0,0015
	TRINDADE	1,2735	0,0098	0,0003
	IPUBI	2,7646	0,0024	0,0002
TOTAL DE EMISSÕES		**5,7093**	**0,0390**	**0,0019**
CALCINAÇÃO	ARARIPINA	5,7911	0,3223	0,4472
	TRINDADE	8,2358	1,3512	0,3581
	IPUBI	10,6081	0,5983	0,5191
	BODOCÓ	41,1765	2,5294	0,1176
	OURICURI	8,2800	0,3854	0,0207
TOTAL DE EMISSÕES		**74,0914**	**5,1866**	**1,4628**
PRÉ-MOLD.	ARARIPINA	0,8004	0,0380	0,0899
	TRINDADE	0,8054	0,0350	0,0019
	IPUBI	0,6847	0,0330	0,0017
	OURICURI	1,9400	0,0969	0,0050
TOTAL DE EMISSÕES		**4,2305**	**0,2028**	**0,0986**

Fonte: Adaptado de Silva (2003)

Observa-se também que a emissão de Material Particulado-MP representa 92,3% de todas as outras emissões, seguida do óxido de nitrogênio-NO_X (6,0%) e por fim do dióxido de enxofre-SO_2 (1,7%).

Ao se analisar os dados das emissões por localidade como um todo, observa-se que o município de Araripina é o que menos gera emissões, entretanto, levando-se em consideração os tipos de emissões, o município de Araripina é o que mais emite dióxido de enxofre, conforme se observa nos Quadros 16 e 17.

Quadro 17 – Emissões atmosféricas por Município por tonelada produzida por hora

LOCALIDADE	MP (kg/h)		NOX (kg/h)		SO2 (kg/h)		TOTAL GERAL	
	TOTAL DE EMISSÕES	%	TOTAL DE EMISSÕES	%	TOTAL DE EMISSÕES	%	TOTAL DE EMISSÕES	%
ARARIPINA	8,263	9,83%	0,387	7,13%	**0,539**	34,45%	9,188	10,09%
TRINDADE	10,315	12,27%	1,396	25,72%	**0,360**	23,05%	12,071	13,26%
IPUBI	14,057	16,73%	0,634	11,67%	0,521	33,33%	15,212	16,71%
BODOCÓ	41,176	49,00%	2,529	46,60%	0,118	7,53%	43,824	48,15%
OURICURI	10,220	12,16%	0,482	8,88%	0,026	1,65%	10,728	11,79%
TOTAL	**84,031**	**100,00%**	**5,428**	**100,00%**	**1,563**	**100,00%**	**91,023**	**100,00%**

Fonte: Adaptado de Silva (2003)

6.1.3 MATRIZ ENERGÉTICA E EMISSÕES DAS CALCINADORAS

Conforme já observado anteriormente, as emissões atmosféricas provenientes da atividade de calcinação representam quase a totalidade das emissões (88,7%). Daí a necessidade de uma maior atenção nos processos relacionados a essa atividade, em especial na composição de sua matriz energética.

O Quadro 18 apresenta a quantidade de empresas calcinadoras em cada um dos municípios do Polo Gesseiro de Pernambuco, agrupadas de acordo com a matriz energética utilizada.

Quadro 18 – Matriz energética das calcinadoras do Pólo Gesseiro de Pernambuco – 2003

MATRIZ ENERGÉTICA	ARARIPINA	TRINDADE	IPUBI	BODOCÓ	OURICURI	TOTAL POR TIPOLOGIA
LENHA	19	25	8	1	5	**58**
ÓLEO COMBUSTÍVEL	6	5	3	0	0	**14**
COQUE	4	1	1	0	0	**6**
GLP	0	1	0	0	0	**1**
TOTAL POR MUNICÍPIO	**29**	**32**	**12**	**1**	**5**	**79**

Fonte: Silva (2003)

Das 79 indústrias calcinadoras, 19 adotaram uma solução energética baseada na combinação de dois tipos de energéticos, a lenha com o óleo combustível ou a lenha com o coque.

De um modo geral, há uma relação entre o tipo de energético utilizado no processo produtivo com o nível de emissão atmosférica, sendo dessa forma conveniente um estudo mais

aprofundado dessa relação para que se possa otimizar o ciclo de vida do gesso pernambucano.

Nos Quadros 19, 20 e 21 serão apresentadas as emissões médias de material particulado (MP), óxido de nitrogênio (NO_X) e dióxido de enxofre (SO_2) por tonelada calcinada, segundo o energético utilizado na produção.

Deve ser ressaltado que as emissões indicadas nos Quadros 19 a 21 têm abrangência geográfica local, ou seja, consideram apenas as emissões decorrentes do processo produtivo da calcinação.

Quadro 19 – Emissões médias de Material Particulado (MP) em kg/h por tonelada calcinada segundo o energético utilizado

TIPO DE ENERGÉTICO	ARARIPINA	TRINDADE	IPUBI	BODOCÓ	OURICURI	MÉDIA
LENHA	6,540	9,730	11,620	41,180	8,300	**15,474**
ÓLEO COMBUSTÍVEL	2,720	12,710	13,660			**9,697**
COQUE	4,360	13,000	3,390			**6,917**
GLP		0,250				**0,250**
MÉDIA POR MUNICÍPIO	**4,540**	**8,923**	**9,557**	**41,180**	**8,300**	**14,500**

Fonte: Silva (2003)

Quadro 20 – Emissões médias de Óxido de Nitrogênio (NO_X) em kg/h por tonelada calcinada segundo o energético utilizado

TIPO DE ENERGÉRTICO	ARARIPINA	TRINDADE	IPUBI	BODOCÓ	OURICURI	MÉDIA
ÓLEO COMBUSTÍVEL	0,350	1,920	1,000			**1,090**
LENHA	0,310	1,060	0,690	2,530	0,240	**0,966**
COQUE	0,300	2,100	0,090			**0,830**
GLP		0,320				**0,320**
MÉDIA POR MUNICÍPIO	**0,320**	**1,350**	**0,593**	**2,530**	**0,240**	**1,007**

Fonte: Silva (2003)

Quadro 21 – Emissões Médias de Dióxido de Enxofre (SO_2) em kg/h por tonelada calcinada segundo o energético utilizado

TIPO DE ENERGÉRTICO	ARARIPINA	TRINDADE	IPUBI	BODOCÓ	OURICURI	MÉDIA
ÓLEO COMBUSTÍVEL	0,850	0,480	0,880			**0,737**
LENHA	0,090	0,080	0,390	0,120	0,020	**0,140**
COQUE	0,410	0,520	0,290			**0,407**
GLP						
MÉDIA POR MUNICÍPIO	**0,450**	**0,360**	**0,520**	**0,120**	**0,020**	**0,294**

Fonte: Silva (2003)

Consolidando-se os valores médios das emissões por tipo de energético dos quadros 19 a 21, obtém-se a Figura 20:

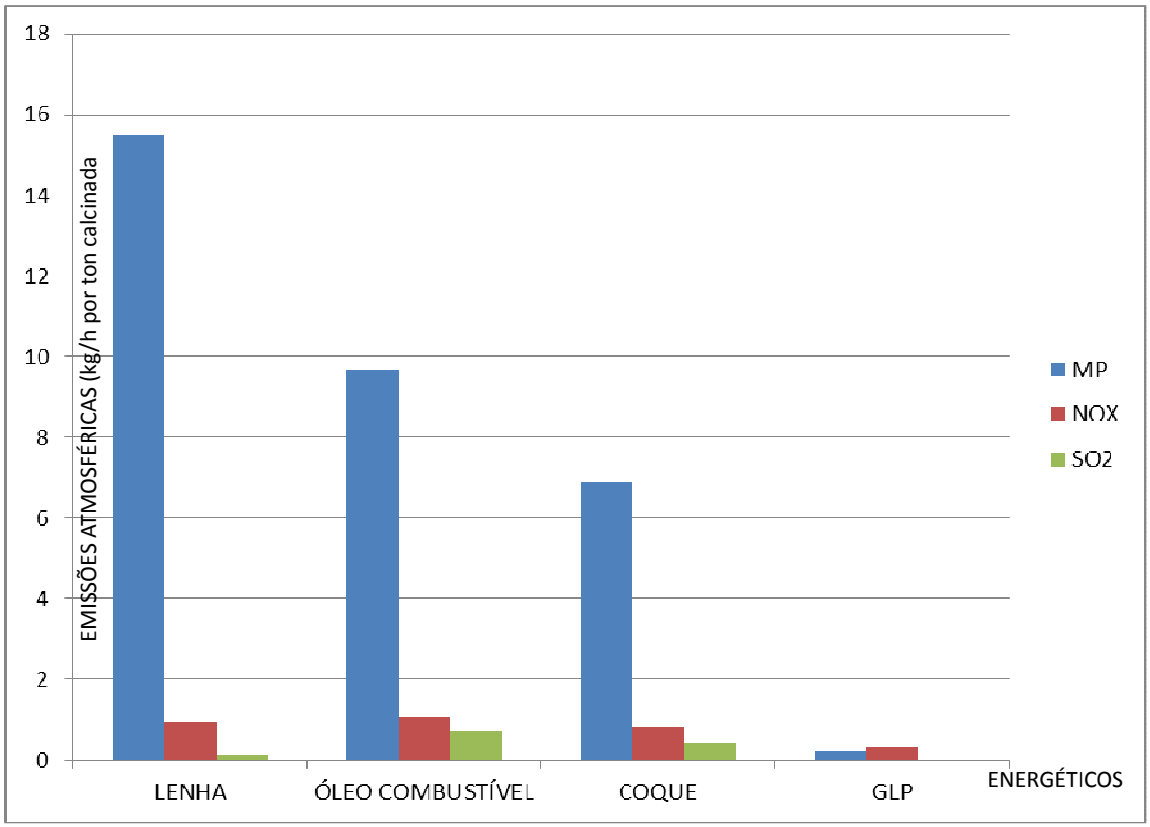


Figura 20 – Energético x Emissões Atmosféricas Poluentes na Etapa de Calcinação

6.1.4 PROPOSTA PARA MINIMIZAÇÃO DAS EMISSÕES NA CADEIA PRODUTIVA DO GESSO

A proposta elaborada limitou-se às indústrias calcinadoras em razão desta atividade representar cerca 88,7% do total das emissões.

Ficou demonstrado que a lenha tem sido utilizada como energético pela maior parte das empresas do Pólo Gesseiro Pernambucano, sendo esse o que apresenta o maior volume de emissões.

O estudo realizado considerou a substituição parcial da matriz energética lenha, óleo combustível e coque pelo GLP, para verificar as emissões esperadas com o novo energético. Foram previstos dois cenários: o primeiro com a substituição de 30% dos energéticos pelo GLP e o segundo com a substituição de 50% dos energéticos, conforme se segue:

a) Emissões de Material Particulado – MP

a.1) Situação Atual

Quadro 22 – Emissões de MP em Kg/h – Situação Atual

Emissões de MP em kg/h – Etapa de Calcinação			
Nº de Indústrias(*)	**Matriz Energética**	**Por tonelada**	**Total**
58	Lenha	15,474	897,49
14	óleo combustível	9,697	135,76
6	Coque	6,917	41,50
1	GLP	0,25	0,25
79			1.075,00

(*) Nº de fornos nos municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri

a.2) Situação Proposta com substituição de 30% dos energéticos

Quadro 23 – Emissões de MP em Kg/h – Substituição de 30% dos energéticos

Emissões de MP em kg/h – Etapa de Calcinação			
Nº de Indústrias(*)	**Matriz Energética**	**Por tonelada**	**Total**
41	Lenha	15,474	628,24
10	óleo combustível	9,697	95,03
4	Coque	6,917	29,05
24	GLP	0,25	6,10
79			758,43

(*) Nº de fornos nos municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri

a.3) Situação Proposta com substituição de 50% dos energéticos

Quadro 24– Emissões de MP em Kg/h – Substituição de 50% dos energéticos

Emissões de MP em kg/h – Etapa de Calcinação			
Nº de Indústrias(*)	**Matriz Energética**	**Por tonelada**	**Total**
29	Lenha	15,474	448,75
7	óleo combustível	9,697	67,88
3	Coque	6,917	20,75
40	GLP	0,25	10,00
79			547,38

(*) Nº de fornos nos municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri

b) Emissões de NO_X

b.1) Situação Atual

Quadro 25 – Emissões de NO_X em Kg/h – Situação Atual

Emissões de NOX em kg/h – Etapa de Calcinação			
Nº de Indústrias(*)	**Matriz Energética**	**Por forno**	**Total**
58	Lenha	0,966	56,03
14	óleo combustível	1,09	15,26
6	Coque	0,83	4,98
1	GLP	0,32	0,32
79			76,59

(*) Nº de fornos nos municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri

b.2) Situação Proposta com substituição de 30% dos energéticos

Quadro 26 – Emissões de NO_X em Kg/h – Substituição de 30% dos energéticos

Emissões de NOX em kg/h – Etapa de Calcinação			
Nº de Indústrias(*)	**Matriz Energética**	**Por tonelada**	**Total**
41	Lenha	0,966	39,61
10	óleo combustível	1,09	10,90
4	Coque	0,83	3,32
24	GLP	0,32	7,68
79			61,51

(*) Nº de fornos nos municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri

b.3) Situação Proposta com substituição de 50% dos energéticos

Quadro 27 – Emissões de NO_X em Kg/h – Substituição de 50% dos energéticos

Emissões de NOX em kg/h – Etapa de Calcinação			
Nº de Indústrias(*)	**Matriz Energética**	**Por tonelada**	**Total**
29	Lenha	0,966	28,01
7	óleo combustível	1,09	7,63
3	Coque	0,83	2,49
40	GLP	0,32	12,80
79			50,93

(*) Nº de fornos nos municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri

c) Emissões de SO_2

c.1) Situação Atual

Quadro 28 – Emissões de SO_2 em Kg/h – Situação Atual

Emissões de SO_2 em kg/h – Etapa de Calcinação			
Nº de Indústrias(*)	**Matriz Energética**	**Por tonelada**	**Total**
58	Lenha	0,140	8,12
14	óleo combustível	0,737	10,32
6	Coque	0,407	2,44
1	GLP		-
79			20,88

(*) Nº de fornos nos municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri

c.2) Situação Proposta com substituição de 30% dos energéticos

Quadro 29 – Emissões de SO_2 em Kg/h – Substituição 30% dos energéticos

Emissões de SO_2 em kg/h – Etapa de Calcinação			
Nº de Indústrias(*)	**Matriz Energética**	**Por tonelada**	**Total**
41	Lenha	0,140	5,74
10	óleo combustível	0,737	7,37
4	Coque	0,407	1,63
24	GLP		-
79			14,74

(*) Nº de fornos nos municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri

c.3) Situação Proposta com substituição de 50% dos energéticos

Quadro 30 – Emissões de SO_2 em Kg/h – Substituição 50% dos energéticos

Emissões de SO_2 em kg/h – Etapa de Calcinação			
Nº de Indústrias(*)	**Matriz Energética**	**Por tonelada**	**Total**
29	Lenha	0,140	4,06
7	óleo combustível	0,737	5,16
3	Coque	0,407	1,22
40	GLP		-
79			10,44

(*) Nº de fornos nos municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri

Diante dos cálculos realizados nos Quadros 22 a 24, concluiu-se que no que diz respeito ao material particulado, com a substituição 30,0% dos energéticos de lenha, óleo combustível e coque para GLP, teria-se uma redução de 29,4% das emissões, e com a substituição de 50,0%, teria-se uma redução de 49,1% das emissões.

Quanto ao NO_X, concluiu-se que a substituição de 30,0% dos energéticos de lenha, óleo combustível e coque para GLP, levaria a uma redução de 19,7% das emissões e com a substituição de 50,0%, conseguiria-se uma redução de 33,5% das emissões, conforme apresentado nos Quadros 25 a 27.

Já com relação ao SO_2, concluiu-se que a substituição 30,0% dos energéticos de lenha, óleo combustível e coque para GLP, teria-se uma redução de 29,4% das emissões e com a substituição de 50,0%, acarretaria numa redução de 50,0% das emissões, conforme Quadros 28 a 30.

A consolidação dos Quadros 22 a 30 pode ser melhor visualizada no Quadro 31 e Figura 21, onde observa-se as reduções de emissões em função das substituições das matrizes energéticas.

Quadro 31 – Emissões Totais em função da substituição das matrizes energéticas

TIPOS DE EMISSÕES	ATUAL	SUBSTITUIÇÃO DE 30%		SUBSTITUIÇÃO DE 50%	
	TOTAL EMISSÕES (kg/h)	TOTAL EMISSÕES (kg/h)	REDUÇÃO	TOTAL EMISSÕES	REDUÇÃO
MP	1.075,00	758,43	29,45%	547,38	49,08%
NOX	76,59	61,51	19,69%	50,93	33,50%
SO2	20,88	14,74	29,41%	10,44	50,00%

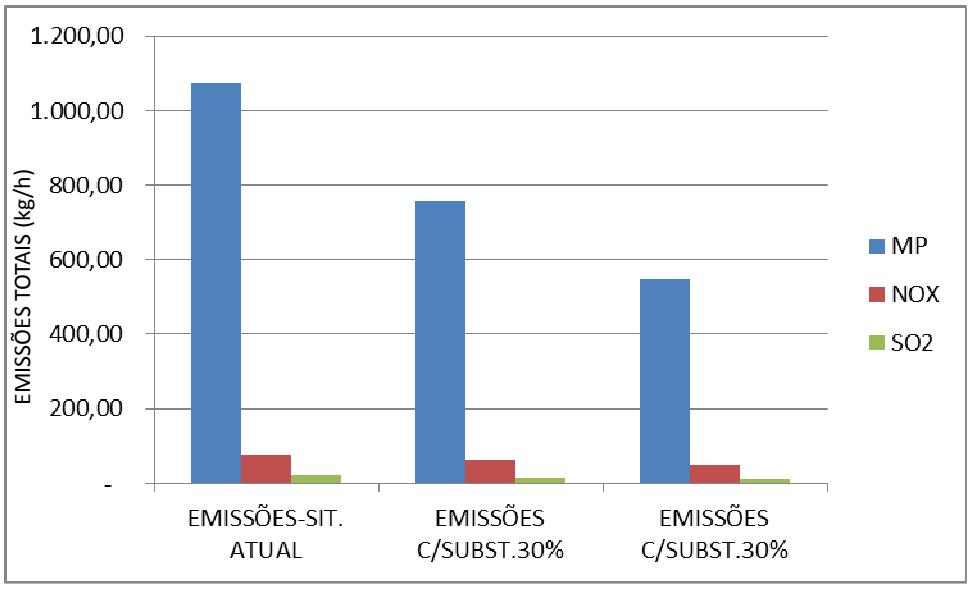


Figura 21 –Emissões Atmosféricas Totais x Substituição das Matrizes Energéticas

As quantidades de emissões apresentadas na Figura 21 representam, para cada tipo de emissão (MP, NO_X e SO_2), a soma de todas as indústrias do Pólo na atividade de calcinação, levando-se em consideração a situação atual e as propostas de substituição de 30% e 50% das matrizes energéticas pelo GLP.

6.2 INDICADORES DOS IMPACTOS NA SAÚDE DA POPULAÇÃO

Com a finalidade de regularizar as indústrias do Pólo Gesseiro do Estado de Pernambuco quanto ao licenciamento ambiental e à saúde da população do Araripe, foi elaborado em 2005 pelo CPRH-PE e a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de Pernambuco, o Termo de Referência TOR349, utilizando os dados levantados pelo CPRH-PE em 2003 (Silva, 2003) juntamente com o levantamento da saúde da população do Pólo, levando-se em conta as moléstias associadas à exposição à gipsita e seus derivados (gesso calcinado, gesso agrícola, pré-moldados, etc.).

Utilizou-se como modelo teórico para a construção de indicadores de vigilância ambiental o “Sistema de Informações para a Vigilância Ambiental em Saúde” da Vigilância Ambiental do Ministério da Saúde.

Para a construção desses indicadores, foram considerados:

1. frequência de queixas das doenças relatadas por pessoas entrevistadas e sua variação;
2. estimativa da exposição das pessoas ao material particulado (MP) em suspensão e aos gases NO_X e SO_2 visando aplicar a frequência com que são observadas as doenças na região.

A pesquisa da frequência das queixas das doenças foram obtidas através de entrevistas realizadas nos últimos 24 meses e foram considerados os seguintes grupos:

- respiratórios (falta de ar, nariz entupido, cansaço na respiração, gripe e asma);
- orofaringe (tosse, irritação na garganta e catarro);
- sangramento nasal;
- pele (coceira e manchas);
- dor de cabeça (tontura e febre);
- dor nas costas.

A partir destas informações e com base em fórmulas matemáticas desenvolvidas que consideraram, entre outros parâmetros, a "distância entre as residências e as indústrias" e "a direção e velocidade do vento", constatou-se que as emissões mais agressivas à saúde da população foram as de material particulado (MP) e o óxido de nitrogênio (NO_X) culminando com os seguintes indicadores de admissibilidade de emissões:

a. para emissões de Material Particulado: ≤19,95 kg/h;
b. para emissões de Óxido de Nitrogênio (NO_X): ≤ 0,93 kg/h.

Baseado nestes indicadores técnicos e com base nos dados obtidos nas pesquisas realizadas por Silva (2003), verifica-se as empresas que não atendem aos requisitos mínimos estabelecidos, conforme Quadro 32.

Quadro 32 – Empresas com índices de emissões superiores aos parâmetros admitidos pelo CPRH-PE – Por Município e Atividade.

MUNICÍPIO	**ATIVIDADE**	**TOTAL DE EMPRE-SAS**	**EMPRESAS COM EMISSÕES SUPERIORES AOS LIMITES ESTABELECIDOS PELA CPRH-PE**			
			MATERIAL PARTICULADO		**NO_X**	
			> 19,95kg/h	**%[1]**	**> 0,93kg/h**	**%[2]**
ARARIPINA	EXTRAÇÃO DE GIPSITA	6	0	0,00%	0	0,00%
	CALCINAÇÃO	22	10	45,45%	13	59,09%
	PRÉ-MOLDADOS	62	2	3,23%	2	3,23%
TRINDADE	EXTRAÇÃO DE GIPSITA	10	4	40,00%	2	20,00%
	CALCINAÇÃO	25	10	40,00%	11	44,00%
	PRÉ-MOLDADOS	73	4	5,48%	5	6,85%
IPUBI	EXTRAÇÃO DE GIPSITA	6	3	50,00%	0	0,00%
	CALCINAÇÃO	8	6	75,00%	6	75,00%
	PRÉ-MOLDADOS	25	1	4,00%	1	4,00%
BODOCÓ	EXTRAÇÃO DE GIPSITA	0	0	0,00%	0	0,00%
	CALCINAÇÃO	1	0	0,00%	0	0,00%
	PRÉ-MOLDADOS	0	0	0,00%	0	0,00%
OURICURI	EXTRAÇÃO DE GIPSITA	0	0	0,00%	0	0,00%
	CALCINAÇÃO	4	0	0,00%	2	50,00%
	PRÉ-MOLDADOS	4	0	0,00%	1	25,00%
TOTAIS		**246**	**40**	**16,26%**	**43**	**17,48%**

Observações referente ao Quadro 32:

1) percentual de empresas com emissões de MP superiores ao limite admitido pela CPRH-PE, em relação ao total de empresas do mesmo ramo de atividade no município;
2) percentual de empresas com emissões de NO_X superiores ao limite admitido pela CPRH-PE, em relação ao total de empresas do mesmo ramo de atividade no município;

3) em Bodocó, a única empresa do ramo de calcinação considerada na pesquisa não apresentou índice superior ao limite definido, embora se possa observar no Quadro 15 que a sua relação Emissão/Produção seja elevada, indicando que seu processo produtivo conduz a emissões superiores inclusive superior ao de outras empresas consideradas inadequadas já que possuem produção.

As elevadas emissões decorrentes das atividades desenvolvidas pelas empresas calcinadoras já mostradas nos diversos quadros e tabelas anteriores, refletem, consequentemente, o alto índice de empresas com emissões superiores às admitidas, conforme demonstrado no Quadro 33. Observa-se que das 60 empresas de calcinação do Pólo Gesseiro Pernambucano, pelo menos 53,3% não atendem ao limite de emissões estabelecidos pela CPRH-PE, seja por emissão de material particulado (MP), seja por emissão de NO_X. Em seguida colocam-se as empresas de extração de gipsita, com percentual de 31,8% das empresas do seu ramo, ficando numa posição mais confortável em relação aos indicadores desejáveis as empresas produtoras de pré-moldados já que respondem apenas 5,5% dessas empresas não atendem aos limites definidos.

Quadro 33 – Empresas com índices de emissões superiores aos parâmetros admitidos pelo CPRH-PE – Por Ramo de Atividade.

ATIVIDADE	**TOTAL DE EMPRESAS**	**EMPRESAS COM EMISSÕES SUPERIORES AOS LIMITES ESTABELECIDOS**			
		MATERIAL PARTICULADO		**NO_X**	
		> 19,95kg/h	**%[1]**	**> 0,93kg/h**	**%[2]**
EXTRAÇÃO DE GIPSITA	22	7	31,8%	2	9,1%
CALCINAÇÃO	60	26	43,3%	32	53,3%
PRÉ-MOLDADOS	164	7	4,3%	9	5,5%

Observações 1 e 2 – Vide Quadro 32.

Considerando o total das empresas, os percentuais de desatendimento por ramo de atividade estão no Quadro 34:

Quadro 34 – Percentual de empresas que excedem o nível de emissão de Material Particulado

RAMO DE ATIVIDADE	**% EMPRESAS QUE EXCEDEM O NÍVEL DE EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO (Em relação ao total de empresas)**
EXTRAÇÃO DE GIPSITA	2,8%
CALCINAÇÃO	13,0%
PRÉ-MOLDADOS	3,7%

Isto significa que o número de empresas de calcinação que não respeitam os limites de emissões estabelecidos pelo CPRH-PE é 4,6 vezes superior ao de extração de gipsita e 3,6 vezes superior ao da atividade industrial de pré-moldados.

6.3 AVALIAÇAO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DO TRANSPORTE DOS PRODUTOS DO POLO GESSEIRO PERNAMBUCANO

6.3.1 APRESENTAÇÃO DO MODELO DE AVALIAÇÃO

A avaliação levou em consideração não só o contexto nacional mas também o internacional, embora a exportação do Pólo Gesseiro Pernambucano, em 2010, não tenha sido representatividade (1,5% do total da comercialização da produção).
No contexto nacional, houve um direcionamento para as regiões nordeste e sul/sudeste, já que juntas representam mais de 90,0 % do volume de vendas do Pólo.

Na elaboração da avaliação dos impactos ambientais do transporte dos produtos do Pólo Gesseiro Pernambucano tomou-se como referência parâmetros e modelos matemáticos desenvolvidos por Iqbal & Hasegawa (2001) que adotam a ACV do impacto ambiental (ACVIA).

Os parâmetros utilizados no modelo para a avaliação estão divididos em seis categorias: esgotamento de combustível fóssil, aquecimento local, aquecimento global, chuva ácida, eutrofização e poluição do ar. O modelo adota duas fórmulas e três quadros que juntos permitem a avaliação dos impactos do transporte no meio ambiente.

A primeira fórmula, a seguir apresentada, tem por objetivo calcular o potencial de contribuição de impacto gerado por um determinado contexto de transporte.

$$EPj = \sum Q_i * EF_J$$

Onde:

EP_J = Soma do potencial de contribuição do impacto da categoria *j*
Q_i = Emissão do componente *i*; e
EF_J = Fator de caracterização do componente *i* em relação à categoria de impacto *j*.

A segunda fórmula calcula o índice de destruição ambiental entre dois cenários conforme se observa:

$$I_{E=\sum W_J \frac{EP_J\ (Cenário\ x)}{EP_J\ (cenário\ y)}}$$

Onde:

I_E = Índices de destruição ambiental para as categorias de impacto; e

W_I = Fator de peso para o impacto ambiental na categoria *j*

Deve ser ressaltado que o estudo desenvolvido por Iqbal & Hasegawa (2001) apresenta valores para os componentes e/ou emissões apenas para os modais rodoviário e aquaviário, não dispondo informações acerca do modal ferroviário, de importância considerável para este trabalho já que é um modal utilizado para o caso em estudo.

Para suprir esta deficiência, a tabela de Componentes e Emissões de Iqbal & Hasegawa (2001) foi adaptada, passando a contar com uma coluna destinada ao modal ferroviário. Entretanto, só com os parâmetros que se pode dispor de informações das emissões para o mencionado modal. Desse modo, alguns componentes (CH4, Amônia, entre outros) e a categoria Aquecimento Local (Radiação Solar) não serão tratados neste estudo pela indisponibilidade de dados de emissões para o modal ferroviário para os componentes citados.

A avaliação desenvolveu-se a partir da adoção da metodologia de Iqbal & Hasegawa (2001) aplicada a seis cenários que envolvem o transporte no contexto nacional e internacional, nas situações atuais e propostas, de forma que, com base nos resultados obtidos para cada modal/contexto possa compará-los entre si, permitindo que se possa ter um indicativo do modal para cada contexto estudado.

Os cenários são os seguintes:

I. Transporte do Pólo Gesseiro para Região Nordeste – Situação Atual
II. Transporte do Pólo Gesseiro para Região Sul/Sudeste – Situação Atual
III. Transporte do Pólo Gesseiro para Região Nordeste – Situação Proposta
IV. Transporte do Pólo Gesseiro para Região Sul/Sudeste – Situação Proposta
V. Transporte do Pólo Gesseiro para o mercado Internacional – Situação Atual
VI. Transporte do Pólo Gesseiro para o mercado Internacional – Situação Proposta

6.3.2 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS

a) Cenário I - Transporte do Pólo Gesseiro para Região Nordeste – situação atual

Este cenário reflete a situação atual do transporte dos produtos oriundos do Pólo Gesseiro Pernambucano que são comercializados para consumidores da região nordeste onde há a exclusividade do modal rodoviário, conforme se pode observar na Figura 22.

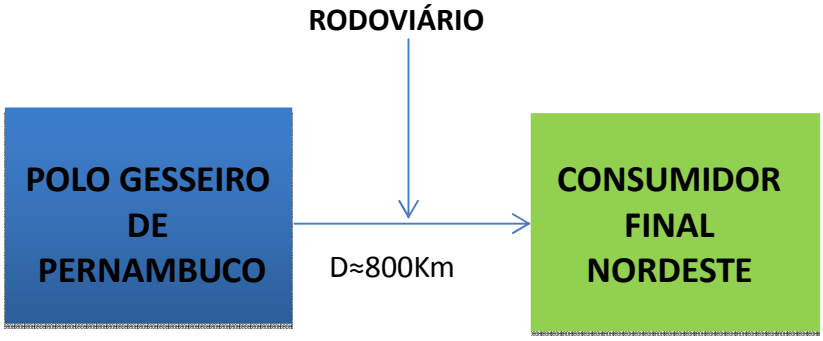


Figura 22 – Fluxograma do transporte na cadeia produtiva do gesso – Região Nordeste - atual

b) Cenário II - Transporte do Pólo Gesseiro para Região Sul/Sudeste – situação atual

Repete-se neste cenário o mesmo modal, diferenciando-se apenas a destinação final dos produtos que é a região Sul ou Sudeste, conforme se deduz na Figura 23.

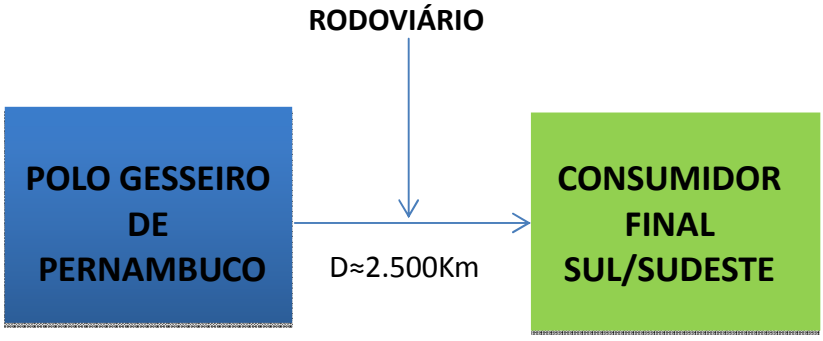


Figura 23 – Fluxograma do transporte na cadeia produtiva do gesso – Região Sul/Sudeste - atual

c) Cenário III - Transporte do Polo Gesseiro para a Região Nordeste – situação proposta

Trata-se de um contexto hipotético de transporte como alternativa para os produtos do Pólo Gesseiro de Pernambuco para o mercado consumidor do nordeste. Neste contexto, conforme pode-se observar na Figura 24, o transporte do Pólo Gesseiro até o consumidor final da região nordeste se dá em duas etapas, com a adoção de dois modais distintos: o ferroviário e o rodoviário. A sugestão do modal ferroviário no primeiro trecho se deve ao fato das distâncias serem superiores a 500 km, conforme já se abordou neste trabalho.

Deve ser ressaltado que trata-se de uma abordagem hipotética, pois, sabe-se que a situação da malha ferroviária da região nordeste não é favorável.

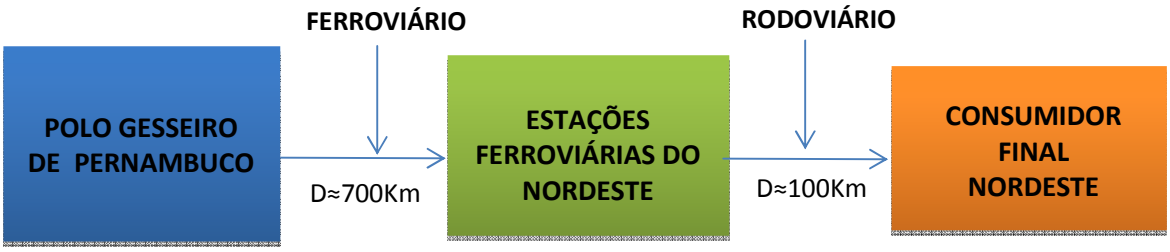


Figura 24 – Fluxograma do transporte na cadeia produtiva do gesso – Região Nordeste - proposta

d) Cenário IV - Transporte do Pólo Gesseiro à Região Sul/Sudeste – Situação Proposta

Neste cenário o transporte dos produtos está segmentado em três modais: ferroviário, aquaviário e rodoviário conforme Figura 25.

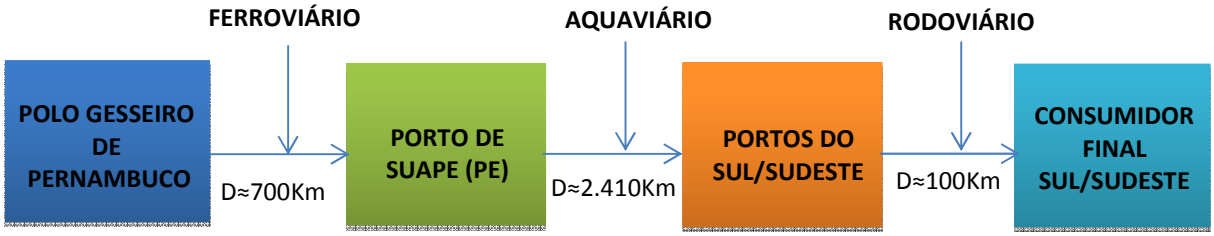


Figura 25 – Fluxograma do transporte na cadeia produtiva do gesso – Região Sul/Sudeste - proposta

Cenário V - Transporte do Pólo Gesseiro para o Mercado Exterior – situação atual

A partir deste quinto cenário, passa-se a analisar o transporte internacional, com origem no Pólo Gesseiro Pernambucano e tendo como destinos os portos da comunidade europeia ou portos norte-americanos. Como se pode observar na Figura 26, o transporte é segmentado em dois trechos. Este cenário V reflete a situação atual do transporte na exportação do gesso onde se verifica a adoção do modal rodoviário para o transporte até os portos nordestinos e, a partir deste ponto, inicia-se o segundo trecho, através do modal aquaviário.

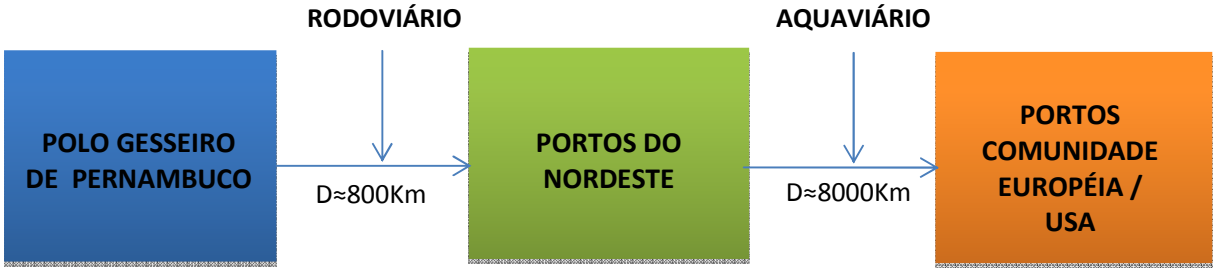


Figura 26 – Fluxograma do transporte na cadeia produtiva do gesso – Exportação – situação atual

Cenário VI - Transporte do Pólo Gesseiro para o Mercado Exterior – Situação Proposta

Este sexto e último cenário diferencia-se do anterior apenas pela substituição do modal rodoviário para o ferroviário, conforme se observa na Figura 27.

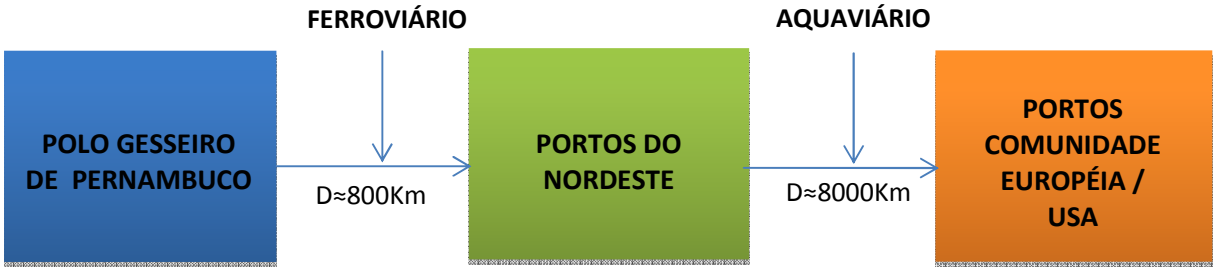


Figura 27 – Fluxograma do Transporte na cadeia produtiva do Gesso – Exportação – Situação Proposta

6.3.3 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

Para a avaliação dos impactos ambientais nos cenários apresentados, foi necessário a inclusão do modal ferroviário não previsto no primeiro Quadro de referência “Componentes e substâncias liberados durante o transporte”, do modelo de avaliação elaborado por Iqbal & Hasegawa (2001).

No Quadro 35 são apresentados para cada modal, as emissões de componentes ou substâncias liberados durante o transporte.

QUADRO 35 – COMPONENTES E SUBSTÂNCIAS LIBERADOS DURANTE O TRANSPORTE

COMPONENTE OU SUBSTÂNCIA	UNIDADE	MODAL		
		RODOVIÁRIO([1])	AQUAVIÁRIO([1])	FERROVIÁRIO([2])
ENERGIA CONSUMIDA	MJ/ton-km	2,880	0,499	0,9980
EMISSÃO DE CO2	kg/ton-km	0,228	0,0395	0,0672
EMISSÃO DE NOX	kg/ton-km	4,10E-03	7,11E-04	2,33E-04
EMISSÃO DE SOX	kg/ton-km	3,43E-04	5,95E-05	1,51E-04
EMISSÃO DE MP	kg/ton-km	9,39E-05	1,63E-05	4,14E-05

Fonte: Adaptado de Iqbal & Hasegawa[1] (2001) e ANTF[2] (2011)

O método utilizado estabelece um segundo Quadro cuja finalidade é determinar o nível de comprometimento ambiental associado a cada tipo de emissão, agrupado por categoria do impacto, caracterizando-se como um fator de ponderação para diferenciar o peso de uma emissão em relação a outras. Os valores constantes no Quadro 36 foram obtidos a partir de um banco de dados denominado Eco-Indicador95 e utilizados por Iqbal e Hasegawa (2001).

QUADRO 36 – FATOR DE CARACTERIZAÇÃO PARA AS CATEGORIAS DE IMPACTO

CATEGORIA DO IMPACTO	SUBSTÂNCIA OU COMPONENTE	FATOR DE CARACTERIZAÇÃO	UNIDADE
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	Energia Consumida	1	MJ
AQUECIMENTO LOCAL	Radiação Solar	1	MJ
AQUECIMENTO GLOBAL	CO2	1	Kg
CHUVA ÁCIDA	NOX	0,7	Kg
	SOX	1	Kg
EUTROFIZAÇÃO	NOX	0,13	Kg
POLUIÇÃO DO AR	MP	1	Kg
	SOX	1	Kg

Fonte: Adaptado de Iqbal & Hasegawa (2001)

A utilização dos fatores de caracterização na primeira fórmula do modelo implicará na potencialização ou mitigação dos efeitos das emissões, em razão do produto das emissões pelo respectivo peso ou fator de caracterização.

Por fim, o último Quadro do modelo apresenta índices por categoria de impacto que representam o percentual de importância de cada impacto ambiental, conforme se observa no Quadro 37.

QUADRO 37 – COMPONENTES FATOR DE PESO PARA AS CATEGORIAS DE IMPACTO

CATEGORIA DE IMPACTO	FATOR DE PESO
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	0,143
AQUECIMENTO GLOBAL	0,271
AQUECIMENTO LOCAL	0,105
CHUVA ÁCIDA	0,165
EUTROFIZAÇÃO	0,096
POLUIÇÃO DO AR	0,220

Fonte: Iqbal & Hasegawa (2001)

Estes índices foram obtidos através de informações fornecidas por pesquisadores e profissionais da área naval e ambiental do Japão, Blagadesh, Paquistão, Indonésia, Nepal, Austrália e Canadá, tratadas através do uso da metodologia AHP (Analytic Hierarchy Process).

Para se dar início aos cálculos, é imprescindível que sejam definidas as informações básicas do transporte tais como: “Carga”, “Distância” e “Tipo e Capacidade do modal a ser utilizado”.

O Pólo Gesseiro de Pernambuco comercializa mensalmente 195.000 toneladas de gesso e derivados, sendo que desse total, 191.978 toneladas são comercializadas no mercado interno e 3.022 toneladas são exportadas. No mercado interno, 72.792 toneladas são comercializadas para a região Nordeste, enquanto que para as regiões Sul e Sudeste são comercializados 115.186 toneladas.

A capacidade de carga de cada modal varia em função do tipo do equipamento, mesmo dentro de uma mesma categoria. Desse modo, para fins de referência, este estudo considerou as capacidades de carga apresentadas no Quadro 38.

Quadro 38 – Capacidade de Carga dos Modais

MODAL / EQUIPAMENTO	CAPACIDADE DE CARGA
Rodoviário (Caminhão)	25 toneladas
Aquaviário (Navio ou similar)	5.400 toneladas
Ferroviário (Trem)	10.000 toneladas

Fonte: Adaptado de Iqbal & Hasegawa (2001) e ANTF (2011)

Quanto às distâncias foram consideradas as presentes no Quadro 39.

Quadro 39 – Distâncias entre pontos dos trajetos.

ORIGEM	DESTINO	MODAL	DISTÂNCIA
Polo Gesseiro de PE	Mercado Consumidor NE	Rodoviário	800km
Polo Gesseiro de PE	Mercado Consumidor Sul/SE	Rodoviário	2.500km
Polo Gesseiro de PE	Porto de Suape-PE	Rodoviário	700km
Polo Gesseiro de PE	Portos do Nordeste	Rodoviário	800km
Polo Gesseiro de PE	Portos do Nordeste	Ferroviário	800km
Portos do Nordeste	Portos da CE / USA	Aquaviário	8.000km
Polo Gesseiro de PE	Estações Ferroviárias do NE	Ferroviário	700km
Estações Ferroviárias do NE	Consumidor Final NE	Rodoviário	100km
Porto de Suape-PE	Portos do Sul/Sudeste	Aquaviário	2.410km
Portos do Sul/Sudeste	Consumidor Final Sul/SE	Rodoviário	100km

A partir dos dados obtidos montou-se o Quadro 40 onde se obtém o consumo de combustível por cenário.

QUADRO 40 – Consumo de Combustível por Cenário

CENÁRIO	MODO	DISTÂN-CIA (Km)	CARGA A SER TRANSPOR-TADA (toneladas)	CAPACIDADE DE CARGA DO MODAL (toneladas)	Nº DE VIAGENS	CONSUMO (em litros) - por km	CONSUMO (litros)
1	rodoviário	800	72.792	25	2912	0,40	931.840
					TOTAL DO CENÁRIO 1		**931.840**
2	rodoviário	2500	115.186	25	4608	0,40	4.608.000
					TOTAL DO CENÁRIO 2		**4.608.000**
3	ferroviário	700	72.792	10.000	8	0,12	672
	rodoviário	100	72.792	25	2912	0,40	116.480
					TOTAL DO CENÁRIO 3		**117.152**
4	ferroviário	700	115.186	10.000	12	0,12	1.008
	aquaviário	2410	115.186	5.400	22	16,95	898.689
	rodoviário	100	115.186	25	4608	0,40	184.320
					TOTAL DO CENÁRIO 4		**1.084.017**
5	rodoviário	800	3.022	25	121	0,40	38.720
	aquaviário	8000	3.022	5.400	1	16,95	135.600
					TOTAL DO CENÁRIO 5		**174.320**
6	ferroviário	800	3.022	10.000	1	0,12	96
	aquaviário	8000	3.022	5.400	1	16,95	135.600
					TOTAL DO CENÁRIO 6		**135.696**

Obtido todos os dados necessários, inicia-se efetivamente o cálculo dos potenciais de impacto do transporte por cenário.

a) Cálculo dos Potenciais de Impactos por cenário

a.1) Cenário I

Quadro 41 - Potencial de Impacto Cenário I – Trecho Único

IMPACTO	COMPO-NENTE	Qi	EF	EP (p/compo-nente)	EP (p/viagem)	Nº VIAGENS	EP TOTAL
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	Energia Consumida (MJ)	57.593,67	1	57.593,67	57.593,67	2912	167.712.767,04
AQUECIMENTO GLOBAL	CO2(Kg)	4.559,50	1	4.559,50	4.559,50	2912	13.277.264,00
CHUVA ÁCIDA	NOX(Kg)	81,99	0,7	57,39	64,25	2912	187.096,00
	SOX(Kg)	6,86	1	6,86			
EUTROFIZAÇÃO	NOX(Kg)	81,99	0,13	10,66	10,66	2912	31.041,92
POLUIÇÃO DO AR	MP(Kg)	1,88	1	1,88	8,74	2912	25.450,88
	SOX(Kg)	6,86	1	6,86			

a.2) Cenário II

Quadro 42 - Potencial de Impacto Cenário II – Trecho Único

IMPACTO	COMPO-NENTE	Qi	EF	EP (p/compo-nente)	EP (p/viagem)	Nº VIAGENS	EP TOTAL
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	Energia Consumida (MJ)	179.978,13	1	179.978,13	179.978,13	4608	829.339.223,04
AQUECIMENTO GLOBAL	CO2(Kg)	14.248,27	1	14.248,27	14.248,27	4608	65.656.028,16
CHUVA ÁCIDA	NOX(Kg)	256,22	0,7	179,35	20-0,78	4608	925.194,24
	SOX(Kg)	21,43	1	21,43			
EUTROFIZAÇÃO	NOX(Kg)	256,22	0,13	33,31	33,31	4608	153.492,48
POLUIÇÃO DO AR	MP(Kg)	5,87	1	5,87	27,30	4608	125.798,40
	SOX(Kg)	21,43	1	21,43			

a.3) Cenário III

Quadro 43 - Potencial de Impacto Cenário III – Trecho 1: Modal Ferroviário

IMPACTO	COMPO-NENTE	Qi	EF	EP (p/compo-nente)	EP (p/viagem)	Nº VIAGENS	EP PARA O TRECHO
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	Energia Consumida (MJ)	6.356.561,40	1	6.356.561,40	6.356.561,40	8	50.852.491,20
AQUECIMENTO GLOBAL	CO2(Kg)	428.016,96	1	428.016,96	428.016,96	8	3.424.135,68
CHUVA ÁCIDA	NOX(Kg)	1.484,05	0,7	1.038,84	2.000,60	8	16.004,80
	SOX(Kg)	961,76	1	961,76			
EUTROFIZAÇÃO	NOX(Kg)	1.484,05	0,13	192,93	192,93	8	1.543,44
POLUIÇÃO DO AR	MP(Kg)	263,69	1	263,69	1.225,45	8	9.803,60
	SOX(Kg)	961,76	1	961,76			

Quadro 44 - Potencial de Impacto Cenário III – Trecho 2: Modal Rodoviário

IMPACTO	COMPO-NENTE	Qi	EF	EP (p/compo-nente)	EP (p/viagem)	Nº VIAGENS	EP PARA O TRECHO
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	Energia Consumida (MJ)	7.199,21	1	7.199,21	7.199,21	2912	20.964.099,52
AQUECIMENTO GLOBAL	CO2(Kg)	569,94	1	569,94	569,94	2912	1.659.665,28
CHUVA ÁCIDA	NOX(Kg)	10,25	0,7	7,18	8,04	2912	23.412,48
	SOX(Kg)	0,86	1	0,86			
EUTROFIZAÇÃO	NOX(Kg)	10,25	0,13	1,33	1,33	2912	3.872,96
POLUIÇÃO DO AR	MP(Kg)	0,23	1	0,23	1,09	2912	3.174,08
	SOX(Kg)	0,86	1	0,86			

Quadro 45 - Potencial de Impacto Cenário III

IMPACTO	COMPONENTE	EP TOTAL
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	Energia Consumida(MJ)	71.816.590,72
AQUECIMENTO GLOBAL	CO2(Kg)	5.083.800,96
CHUVA ÁCIDA	NOX(Kg)	39.417,28
	SOX(Kg)	
EUTROFIZAÇÃO	NOX(Kg)	5.416,40
POLUIÇÃO DO AR	MP(Kg)	12.977,68
	SOX(Kg)	

a.4) Cenário IV

Quadro 46 - Potencial de Impacto Cenário IV - Trecho 1: Modal Ferroviário

IMPACTO	COMPO-NENTE	Qi	EF	EP (p/compo-nente)	EP (p/viagem)	Nº VIA-GENS	EP PARA O TRECHO
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	Energia Consumida (MJ)	6.705.744,97	1	6.705.744,97	6.705.744,97	12	80.468.939,64
AQUECIMENTO GLOBAL	CO2(Kg)	451.529,12	1	451.529,12	451.529,12	12	5.418.349,44
CHUVA ÁCIDA	NOX(Kg)	1.565,57	0,7	1.095,90	2.110,50	12	25.326,00
	SOX(Kg)	1.014,60	1	1.014,60			
EUTROFIZAÇÃO	NOX(Kg)	1.565,57	0,13	203,52	203,52	12	2.442,24
POLUIÇÃO DO AR	MP(Kg)	278,17	1	278,17	1.292,77	12	15.513,24
	SOX(Kg)	1.014,60	1	1.014,60			

Quadro 47 - Potencial de Impacto Cenário IV - Trecho 2: Modal Aquaviário

IMPACTO	COMPO-NENTE	Qi	EF	EP (p/compo-nente)	EP (p/viagem)	Nº VIA-GENS	EP PARA O TRECHO
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	Energia Consumida (MJ)	6.296.433,26	1	6.296.433,26	6.296.433,26	22	138.521.531,72
AQUECIMENTO GLOBAL	CO2(Kg)	498.415,06	1	498.415,06	498.415,06	22	10.965.131,32
CHUVA ÁCIDA	NOX(Kg)	8.971,47	0,7	6.280,03	7.030,81	22	154.677,82
	SOX(Kg)	750,78	1	750,78			
EUTROFIZAÇÃO	NOX(Kg)	8.971,47	0,13	1.166,29	1.166,29	22	25.658,38
POLUIÇÃO DO AR	MP(Kg)	205,68	1	205,68	956,46	22	21.042,12
	SOX(Kg)	750,78	1	750,78			

Quadro 48- Potencial de Impacto Cenário IV - Trecho 3: Modal Rodoviário

IMPACTO	COMPO-NENTE	Qi	EF	EP (p/compo-nente)	EP (p/viagem)	Nº VIA-GENS	EP PARA O TRECHO
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	Energia Consumida (MJ)	7.199,13	1	7.199,13	7.199,13	4608	33.173.591,04
AQUECIMENTO GLOBAL	CO2(Kg)	569,93	1	569,93	569,93	4608	2.626.237,44
CHUVA ÁCIDA	NOX(Kg)	10,25	0,7	7,18	8,04	4608	37.048,32
	SOX(Kg)	0,86	1	0,86			
EUTROFIZAÇÃO	NOX(Kg)	10,25	0,13	1,33	1,33	4608	6.128,64
POLUIÇÃO DO AR	MP(Kg)	0,23	1	0,23	1,09	4608	5.022,72
	SOX(Kg)	0,86	1	0,86			

Quadro 49- Potencial de Impacto Cenário IV

IMPACTO	COMPO-NENTE	EP TOTAL
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	Energia Consumida (MJ)	252.164.062,40
AQUECIMENTO GLOBAL	CO2(Kg)	19.009.718,20
CHUVA ÁCIDA	NOX(Kg)	
	SOX(Kg)	217.052,14
EUTROFIZAÇÃO	NOX(Kg)	34.229,26
POLUIÇÃO DO AR	MP(Kg)	
	SOX(Kg)	41.578,08

a.5) Cenário V

Quadro 50 - Potencial de Impacto Cenário V - Trecho 1: Modal Rodoviário

IMPACTO	COMPO-NENTE	Qi	EF	EP (p/compo-nente)	EP (p/viagem)	Nº VIAGENS	EP PARA O TRECHO
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	Energia Consumida (MJ)	57.542,88	1	57.542,88	57.542,88	121	6.962.688,48
AQUECIMENTO GLOBAL	CO2(Kg)	4.555,48	1	4.555,48	4.555,48	121	551.213,08
CHUVA ÁCIDA	NOX(Kg)	81,92	0,7	57,34	64,19	121	7.766,99
	SOX(Kg)	6,85	1	6,85			
EUTROFIZAÇÃO	NOX(Kg)	81,92	0,13	10,65	10,65	121	1.288,65
POLUIÇÃO DO AR	MP(Kg)	1,88	1	1,88	8,73	121	1.056,33
	SOX(Kg)	6,85	1	6,85			

Quadro 51 - Potencial de Impacto Cenário V - Trecho 2: Modal Aquaviário

IMPACTO	COMPO-NENTE	Qi	EF	EP (p/compo-nente)	EP (p/viagem)	Nº VIA-GENS	EP PARA O TRECHO
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	Energia Consumida (MJ)	12.063.824,00	1	12.063.824,00	12.063.824,00	1	12.063.824,00
AQUECIMENTO GLOBAL	CO2(Kg)	954.952,00	1	954.952,00	954.952,00	1	954.952,00
CHUVA ÁCIDA	NOX(Kg)	17.189,14	0,7	12.032,40	13.470,87	1	13.470,87
	SOX(Kg)	1.438,47	1	1.438,47			
EUTROFIZAÇÃO	NOX(Kg)	17.189,14	0,13	2.234,59	2.234,59	1	2.234,59
POLUIÇÃO DO AR	MP(Kg)	394,07	1	394,07	1.832,54	1	1.832,54
	SOX(Kg)	1.438,47	1	1.438,47			

Quadro 52 - Potencial de Impacto Cenário V

IMPACTO	COMPO-NENTE	EP TOTAL
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	Energia Consumida(MJ)	19.026.512,48
AQUECIMENTO GLOBAL	CO2(Kg)	1.506.165,08
CHUVA ÁCIDA	NOX(Kg)	21.237,86
	SOX(Kg)	
EUTROFIZAÇÃO	NOX(Kg)	3.523,24
POLUIÇÃO DO AR	MP(Kg)	2.888,87
	SOX(Kg)	

a.6) Cenário VI

Quadro 53 - Potencial de Impacto Cenário VI – Trecho 1: Modal Ferroviário

IMPACTO	COMPO-NENTE	Qi	EF	EP (p/compo-nente)	EP (p/viagem)	Nº VIAGENS	EP PARA O TRECHO
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	Energia Consumida (MJ)	2.412.764,80	1	2.412.764,80	2.412.764,80	1	2.412.764,80
AQUECIMENTO GLOBAL	CO2(Kg)	162.462,72	1	162.462,72	162.462,72	1	162.462,72
CHUVA ÁCIDA	NOX(Kg)	563,30	0,7	394,31	759,37	1	759,37
	SOX(Kg)	365,06	1	365,06			
EUTROFIZAÇÃO	NOX(Kg)	563,30	0,13	73,23	73,23	1	73,23
POLUIÇÃO DO AR	MP(Kg)	100,09	1	100,09	465,15	1	465,15
	SOX(Kg)	365,06	1	365,06			

Quadro 54 - Potencial de Impacto Cenário VI – Trecho 2: Modal Aquaviário

IMPACTO	COMPO-NENTE	Qi	EF	EP (p/compo-nente)	EP (p/viagem)	Nº VIAGENS	EP PARA O TRECHO
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	Energia Consumida (MJ)	12.063.824,00	1	12.063.824,00	12.063.824,00	1	12.063.824,00
AQUECIMENTO GLOBAL	CO2(Kg)	954.952,00	1	954.952,00	954.952,00	1	954.952,00
CHUVA ÁCIDA	NOX(Kg)	17.189,14	0,7	12.032,40	13.470,87	1	13.470,87
	SOX(Kg)	1.438,47	1	1.438,47			
EUTROFIZAÇÃO	NOX(Kg)	17.189,14	0,13	2.234,59	2.234,59	1	2.234,59
POLUIÇÃO DO AR	MP(Kg)	394,07	1	394,07	1.832,54	1	1.832,54
	SOX(Kg)	1.438,47	1	1.438,47			

Quadro 55 - Potencial de Impacto Cenário VI

IMPACTO	COMPONENTE	EP TOTAL
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	Energia Consumida(MJ)	14.476.588,80
AQUECIMENTO GLOBAL	CO2(Kg)	1.117.414,72
CHUVA ÁCIDA	NOX(Kg)	14.230,24
	SOX(Kg)	
EUTROFIZAÇÃO	NOX(Kg)	2.307,82
POLUIÇÃO DO AR	MP(Kg)	2.297,69
	SOX(Kg)	

Por fim, a partir dos potenciais de impacto por cenário, serão calculados os índices de destruição ambiental entre os cenários atual e proposto de acordo com o cálculo do método de avaliação de Iqbal & Hasegawa (2001). Desse modo tem-se:

b) Cálculo dos Índices de Destruição Ambiental

b.1) Comparação entre os cenários atual e proposto para o transporte para região Nordeste

O índice calculado mostra a relação entre as somas dos potenciais de contribuição dos impactos ambientais para cada cenário expressando o quanto um cenário causa mais impacto ambiental que outro.

Os Quadros 56, 57 e 58 apresentam os somatórios dos potenciais de impacto e o cálculo do índice de destruição ambiental entre os cenários.

QUADRO 56 – CÁLCULO DO ÍNDICE DE DESTRUIÇÃO AMBIENTAL ENTRE OS CENÁRIOS I E III – MERCADO INTERNO – REGIÃO NORDESTE

IMPACTO	EP(1)	(EP3)	EP(1)/EP(3)	WJ	IEJ
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	167.712.767,04	71.816.590,72	2,3353	0,143	0,3339
AQUECIMENTO GLOBAL	13.277.264,00	5.083.800,96	2,6117	0,271	0,7078
CHUVA ÁCIDA	187.096,00	39.417,28	4,7465	0,165	0,7832
EUTROFIZAÇÃO	31.041,92	5.416,40	5,7311	0,096	0,5502
POLUIÇÃO DO AR	25.450,88	12.977,68	1,9611	0,22	0,4314
				IF	**2,8065**

QUADRO 57 – CÁLCULO DO ÍNDICE DE DESTRUIÇÃO AMBIENTAL ENTRE OS CENÁRIOS II E IV – MERCADO INTERNO – REGIÃO SUL/SUDESTE

IMPACTO	EP(2)	(EP4)	EP(2)/EP(4)	WJ	IEJ
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	829.339.223,04	252.164.062,40	3,29	0,143	0,4705
AQUECIMENTO GLOBAL	65.656.028,16	19.009.718,20	3,45	0,271	0,9350
CHUVA ÁCIDA	925.194,24	217.052,14	4,26	0,165	0,7029
EUTROFIZAÇÃO	153.492,48	34.229,26	4,48	0,096	0,4301
POLUIÇÃO DO AR	125.798,40	41.578,08	3,03	0,22	0,6666
				IF	**3,2051**

QUADRO 58 – CÁLCULO DO ÍNDICE DE DESTRUIÇÃO AMBIENTAL ENTRE OS CENÁRIOS V E VI – MERCADO INTERNACIONAL

IMPACTO	EP(5)	(EP6)	EP(5)/EP(6)	WJ	IEJ
ESGOTAMENTO DE COMBUSTÍVEL FÓSSIL	19.026.512,48	14.476.588,80	1,31	0,143	0,1873
AQUECIMENTO GLOBAL	1.506.165,08	1.117.414,72	1,35	0,271	0,3659
CHUVA ÁCIDA	21.237,86	14.230,24	1,49	0,165	0,2459
EUTROFIZAÇÃO	3.523,24	2.307,82	1,53	0,096	0,1469
POLUIÇÃO DO AR	2.888,87	2.297,69	1,26	0,22	0,2772
				IF	**1,2232**

6.4 INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE

6.4.1 PROCESSO PRODUTIVO

Conforme apresentado no subitem 6.1 deste trabalho, verifica-se que em todo processo produtivo existem impactos ambientais, entretanto, a atividade que mais impacta no meio ambiente é a calcinação, sendo, no processo, responsável por 88,7% do total das emissões, seguida pela atividade de extração de gipsita (6,3%) e por último as indústrias de pré-moldados (5,0%).

Por outro lado, constata-se que 73,4% das calcinadoras estudadas adotam a lenha como matriz energética, enquanto que 17,7% adotam o óleo BPF, 7,6% o coque e 1,3% o GLP. Deve ser ressaltado que a lenha representa cerca de 50,0% das emissões de material particulado em relação ao total de emissões provenientes das empresas calcinadoras.

No processo de calcinação são utilizados fornos que, dependendo do tipo de energético, emite mais ou menos poluentes na atmosfera, de acordo com Peres et al (2001) e Silva (2003), em ordem dos fornos e seus respectivos energéticos:

- forno panela - utiliza a lenha como energético;
- forno rotativo tubular – utiliza, em ordem decrescente, o energético diesel, lenha, coque, babaçu e óleo residual;
- forno marmita rotativo – utiliza o coque, o diesel, a lenha e óleo BPF;
- forno autoclave - causa menos poluição atmosférica, seu energético é o óleo BPF.

No estudo de caso, verificou-se que o município detentor das maiores taxas de emissões atmosféricas é o de Trindade, responsável por 46,5%, embora, que quando se trata de emissões por tonelada (Quadro 17), verifica-se que o município de Bodocó é o que apresenta maiores níveis, ou seja, 48,1% do total, seguido de Ipubi (16,7%), Trindade (13,3%), Ouricurí (11,8%) e Araripina (10,1%) o que mostra claramente onde os agentes públicos ambientais deverão intervir de maneira mais intensa, tanto na fiscalização quanto no monitoramento das emissões poluentes.

6.4.2 IMPACTOS NA SAÚDE DA POPULAÇÃO

Como foi analisado, a população exposta a emissões de partículas e gases atmosféricos (MP, NOx, SOx) resultantes dos processos industriais vem sofrendo com doenças, principalmente, respiratórias.

Com a criação de indicadores de emissões máximas admissíveis se faz necessário um monitoramento periódico das emissões para um melhor controle das indústrias em funcionamento como maneira de se prevenir os males advindos dessas emissões.

6.4.3 MELHORIAS PARA O TRANSPORTE

Os resultados obtidos da aplicação do modelo de avaliação do ciclo de vida de Iqbal & Hasegawa (2001) aplicado nos transportes do gesso de Pernambuco, confirmam a importância de se adotar uma metodologia ampla nas questões de análise ambiental.

De acordo com os resultados obtidos da aplicação do modelo adotado nos cenários I a VI, conclui-se que o cenário I (atual) é 2,81 vezes mais destrutivo e poluidor que o cenário III; que o cenário II é 3,21 vezes mais destrutivo e poluidor que o cenário IV e que o cenário V é 1,22 vezes mais destrutivo e poluidor que o cenário VI.

Desse modo, observa-se que, com a aplicação do método de avaliação é possível estudar as alternativas de modais para se ter, à partir de uma referência, parâmetros técnicos que permitam definir qual a melhor solução a ser adotada.

Em todos os cenários estudados, observou-se que a escolha do modal adequado para o trajeto

repercutiu positivamente na redução dos impactos ambientais.

Assim, no caso do transporte dos produtos para consumidores da região nordeste, a melhor alternativa seria o cenário III proposto, que trouxe como diferencial a multimodalidade (ferroviário e rodoviário) em substituição ao cenário I que operava com modal exclusivamente rodoviário.

No caso do transporte dos produtos para consumidores da região sul/sudeste, evidencia-se a segmentação do trajeto único de 2.500 km de extensão realizados em modal rodoviário, para a adoção da multimodalidade (Ferroviário, aquaviário e rodoviário) que, embora acarrete num acréscimo de cerca 700 km de extensão, propiciará uma grande diminuição nos impactos ambientais, sendo, portanto, a melhor opção o cenário IV, proposto.

Quanto ao transporte dos produtos para o exterior, observou-se que o cenário proposto (Cenário VI) também representa uma alternativa de menor impacto ambiental, já que o cenário V (atual) é 1,22 vezes mais destrutivo. A diminuição dos impactos ambientais decorre da substituição do modal rodoviário para o ferroviário, adotado entre o Pólo Gesseiro e os portos do nordeste.

Por fim, cabe ressaltar que a significativa redução dos impactos ambientais observados nos cenários propostos, decorre da substituição do modal rodoviário pelo ferroviário nos trajetos com extensão superior a 500 km e a adoção da multimodalidade.

7. CONCLUSÕES

No estudo de caso do Pólo Gesseiro de Pernambuco foram apresentadas, avaliadas e interpretadas pela metodologia da ACV, as questões referentes aos impactos ambientais decorrentes das emissões atmosféricas associadas ao processo produtivo, aos transportes da gipsita e seus derivados e suas repercussões na saúde da população, em especial no entorno das indústrias do Pólo Gesseiro.

a) Cadeia Produtiva do Gesso

Das 246 empresas analisadas, 22 eram mineradoras (8,9%), 60 calcinadoras (24,4%) e 164 fábricas de Pré-moldados (66,7%), sendo que a cidade que detinha, em 2003, a maior produção, maior número de indústrias e de licenciamentos ambientais pelo CPRH-PE foi Trindade, seguida de Araripina, Ipubi, Ouricuri e Bodocó.

Ao considerar-se as emissões e produção total, verificou-se que o município de Trindade foi o responsável por 46,5%, seguido por Araripina (31,0%), Ipubi (18,5%), Ouricuri (3,7%) e Bococó (0,3%) pelo potencial poluidor.

Quando a análise é realizada por tonelada produzida, o potencial poluidor mais impactante é de Bodocó (48,1%), seguido por Ipubi (16,7%), Trindade (13,3%), Ouricuri (11,8%) e Araripina (10,1%).

Na comparação dos dados de produção e emissões totais, verificou-se que o maior impacto ambiental foi na atividade de calcinação (88,7%), extração de gipsita (mineração) com 6,3% e as indústrias de pré-moldado (5,0%). Quando se faz o cálculo proporcional para uma tonelada calcinada, a cidade de Bodocó apresentou o maior impacto ambiental, cerca de 54,3%, seguida de Ipubi (14,5%), Trindade (12,3%), Ouricuri (10,8%) e Araripina (8,1%).

Outro fato importante é que considerando-se a produção de uma tonelada calcinada, verifica-se que o material particulado (MP) representa 91,8%, seguido do NOx (6,4%) e SO2 (1,8%) das emissões atmosféricas.

As calcinadoras estudadas tiveram a seguinte matriz energética: lenha (73,4%), oléo combustível (17,7%), coque (7,6%) e gás liquefeito de petróleo (GLP) com 1,3%.

Com a finalidade de diminuir a poluição atmosférica do Pólo Gesseiro foram elaboradas duas propostas para as calcinadoras, a primeira com substituição de 30% dos energéticos lenha, oléo combustível e coque pelo GLP, o que resultaria em uma redução de 26,9% do total das emissões atmosféricas e a segunda com substituição de 50,0% da lenha, oléo combustível e coque pelo GLP, o que resultaria em uma redução de 46,7%, sendo que a primeira proposta seria uma proposta menos radical e exequível no primeiro momento devido ao grande percentual (98,0%) do Pólo Gesseiro ser constituído de micro e pequenas empresas.

b) No transporte

Para o transporte utilizado para a gipsita e derivados do Pólo Gesseiro de Pernambuco foi aplicado o método científico de ACV desenvolvido por Iqbal & Hasewaga (2001), onde foram analisados três cenários atuais (nordeste, sul/sudeste e internacional) e propostos três novos cenários de menores impactos ambientais.

O resultado desta análise apresentou o modal rodoviário como o mais impactante, como observado no Cenário I – modal rodoviário (atual), sendo este 2,81 vezes mais destrutivo e poluidor que o cenário III (proposto) de multimodalidade ferroviário-rodoviário; já o Cenário II(atual) que apresenta também o modal rodoviário é 3,21 vezes mais destrutivo que o Cenário IV (proposto) de multimodalidade ferroviário-aquaviário-rodoviário e, por último, o trecho internacional com o cenário V (atual) que utiliza a multimodalidade rodoviário-aquaviário que é 1,22 vezes mais destrutivo e impactante que o cenário VI (proposto) com a multimodalidade ferroviário-aquaviário.

Destaca-se que a categoria que implica em maior impacto é o aquecimento global (27,1%), seguido pela poluição do ar (22,0%), chuva ácida (16,5%), esgotamento de combustível fóssil (14,3%), aquecimento local (10,5%) e por fim, eutrofização (9,6%).

Verifica-se que a adoção de métodos científicos, de representatividade internacional, trouxe legitimidade às simulações realizadas nos cenários produtivo e de transporte, assim como permitiu uma melhor visualização do estudo de caso.

Conclui-se que a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é de extrema importância para o estudo de impactos ambientais, viabilizando a obtenção de um diagnóstico eficiente, e indicando os pontos críticos e de maior relevância a serem trabalhados pelos entes governamentais assim como pelas empresas privadas ligadas ao setor do gesso.

A avaliação realizada trouxe um novo quadro no que se refere a diminuição dos impactos ambientais, apresentando indicadores que propiciam a melhoria do sistema, buscando as fontes energéticas renováveis em substituição das não renováveis no processo produtivo e no transporte, conduzindo a uma maior sustentabilidade do sistema do ponto de vista energético e econômico, com a racionalização dos recursos naturais não renováveis e em extinção, principalmente da lenha e dos subprodutos de petróleo.

No intuito de reduzir os impactos ambientais na cadeia do gesso pernambucano, recomenda-se:

- que os órgãos competentes realizem periodicamente o monitoramento das indústrias com seus respectivos energéticos e equipamentos de produção, com a medição das emissões de gases poluentes, devidamente registradas para que se possa estabelecer medidas de controle eficazes, tais como: ciclones convencionais, ciclones de alta eficiência, filtro de mangas, precipitadores eletrostáticos e lavadores do tipo Venturi, conforme citado por Silva (2003), especialmente no processo de calcinação onde se verificar um maior volume de emissões, notadamente de material particulado;
- sensibilização dos órgãos governamentais no sentido de incentivar a pesquisa tecnológica, principalmente no tocante à matriz energética utilizada na indústria e no transporte com vistas a continuamente se adotar tecnologias renováveis e limpas, tais como: a tecnologia do combustível destilado no lugar do residual, contribuindo na redução das emissões;
- Com a reclassificação do gesso para a categoria B (reciclável) realizar estudos visando o reaproveitamento dos resíduos advindos da cadeia do gesso, inclusive a criação de normas técnicas reguladoras desse processo de reciclagem;
- Criar de indicadores sustentáveis do Pólo Gesseiro, envolvendo os setores produtivo, de transporte e da saúde.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14040:2009. Disponível em: www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx? ID=1190 Acesso em 06 Mar 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14044:2009. Disponivel em:www.abntcatalogo.com.br /norma.aspx?ID=40206 Acesso em: 06 Mar 2010.

ALBAN, M. **Transportes e Logística: Os Modais e os Desafios da Multimodalidade na Bahia.** Cadernos da Fundação Luís Eduardo Magalhães – No. 4, Salvador, 2002. Disponível em: http://www.flem.org.br/paginas/cadernosflem/pdfs/CadernosFLEM4-VersaoCompleta.pdf Acesso em 10 Jan 2011.

AGENDA 21. Disponível em em <http://www.ambientetotal.cjlo.net. Acesso em 10 Jun 2009.

AGENDA 21 Brasileira. Disponível em :<http://www.mma.gov.br/agenda 21> Acesso em: 12 Ago 2009.

ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil-Brasil. **O Impacto Ambiental do Transporte Aéreo.** 2009. Disponível em:<http://www.anac.gov.br/formacaoaerea/media/O%20 Impacto%20Ambiental%20do%20Transporte %20A%C3%A9reo.pdf>. Acesso: 09 Abr 2010.

ANTAQ. Cenário Atual do Transporte Hidroviário Brasileiro-2008.Disponível em: www.antaq.gov.br/portal/pdf/palestras/Mar0817PiracicabaAlexOliva.pdf . Acesso em: 04 Out 2009.

ANTF - Associação Nacional de Transportes Ferroviários-2011. Disponível em:http://www.antf.org.br/index.php/component/content/article/76-palestras/2139-a-importancia-do-sistema-ferroviario-cni-2011. Acesso em: 05 Abr 2011.

ANTF. Associação Nacional de Transportes Ferroviários. As Ferrovias e o Futuro do País. Disponível em: http://www.antf.org.br/pdfs/presidenciaveis.pdf. Acesso em: 12 Jan 2011

ANTT. Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Matriz de Transporte de Cargas Brasileira-2006**. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/carga/multimodal/Transporte Multimodal_otm.asp>. Acesso em: 12 Ago 2009.

ANTT. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Disponível em: <http://www.antt.gov.br>. Acesso em: 12 Ago 2010.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimento – Planejamento, Organização e Logística Empresarial**. 4ª edição. São Paulo, Buckman: Companhia e editora, 2004.

BARTHOLOMEU, D. B. Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras. Piracicaba, 164 p. 2006. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

BOWERSOX, D.J.; CLOSS, D.J.; COOPER, M.B. **Gestão logística de cadeias de suprimentos.** Porto Alegre: Bookman, 2006.

BOVOLENTA, F. C. **Análise energética comparativa na logística de transporte multimodal da soja.** Mestrado da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Botucatu, SP, 2007. Disponível em:< http://www.fca.unesp.br/pos_graduacao/Teses/PDFs/Arq0138.pdf > Acesso: 10 Mai 2011.

BRODKOM, F. **As boas práticas ambientais na indústria extractiva: um guia de referência.** Divisão de Minas e Pedreiras do Instituto Geológico e Mineiro, 2000. Disponível em: <http://eGeo.ineti.pt/geociencias/edicoes.online. Acesso em: 11 de dezembro de 2009.

BRUNDTLAND, G. H. **Eighth and Final Meeting of the Commission on Environment and Development.** Tokyo, Japan. 1987. 7p. Disponível em: http://www.regjeringen.no/upload/SMK/Vedlegg/Taler%20og%20artikler%20av%20tidligere%20statsministre/Gro%20Harlem%20Brundtland/1987/Address_at_Eighth_WCED_Meeting.pdf. Acesso em: 09 Jul 2011.

CAIRNCROSS, F. **Meio Ambiente – Custos e Benefícios**. São Paulo: Nobel, 1992

CAIXETA FILHO, J.V.; MARTINS, R.S**. Gestão Logística de Transportes de Cargas** (1ª. Ed.). Editora Atlas. São Paulo, 2001.

CARVALHO FILHO, A**. C. Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento - Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento.** Tesi Doctoral dela Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, Barcelona, 2001. Disponível em: http://tdx.cat/handle/10803/5903. Acesso em 03 Jan 2010.

CARVALHO FILHO, A. C.; CEA, A.A.; GARCÍATORNEL, ALEJANDRO JOSA.; GETTU, R. **Avaliação do impacto ao meio ambiente causados pelos produitos e materiais da construção civil a base de cimento.** In: Com Pat'97, 1997, Porto Alegre. IV Congresso Iberoamericano de Patologias das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade, Porto Alegre: CPGE/UFRGS-Q+PARECO, 1997. V.2, p.499-506.

CETEM- Centro de Tecnologia Mineral, MCT. **Comunicação Técnica elaborada para o Livro Rochas Minerais Industriais: Usos e Especificações Parte 2** – Rochas e Minerais Iindustriais: Usos e especificações, Rio de Janeiro, 2008. Capítulo 23 – pág. 505-526.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2007) **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo.**

CHEHEBE, J. R. Análise do Ciclo de Vida dos Produtos: Ferramenta Gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro, Editora Qualitymark, 1998. 104p.

CIARLINI, A. G. C. – **Potencialidade da Indústria Gesseira para o Estado de Pernambuco e a Competitividade do Gesso como Material de Construção Civil** – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – UFPE – 2001.

CICARÉ, A. C.; MUSSIO, V. La faceta medioambiental en el proceso de integración económica. ENCONTRO ANUAL FÓRUM UNIVERSITÁRIO MERCOSUL, II, nov. 2001. **Anais**, 2001.

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente do Ministério do Meio Ambiente. Resolução No. 431, de 24 de maio de 2011. Disponível

em:http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649 Acesso em 30 Mai 2011.

CPRH. **Mapa - Distribuição da Localização dos 10 maiores Geradores de Resíduos Perigosos por Município e por Bacia Hidrográfica–2003.** Disponível em: http://www.cprh.pe.gov.br/central_servicos/centro_documentacao_informacao_ambiental/central_downloads/39749%3B34001%3B020709%3B0%3B0.asp. Acesso em: 12 Set 2009.

CPRH. **Roteiro Complementar de Licenciamento e Fiscalização da Cadeia Produtiva do Gesso**- Recife, 2006.

CURI, A. **Controle Ambiental na Mineração.** IETEC – Instituto de Educação Tecnológica. Belo horizonte, 2001.

CURI, Marcos Lopes Cançado. **Análise comparativa de custos dos modais ferroviário e rodoviário para o transporte de cargas na Amazônia**. 2009. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

D'AGOSTO, M.de A. **Análise de eficiência da cadeia energética para as principais fontes de energia utilizadas em veículos rodoviários no Brasil** (Tese)- COPPE/UFRJ, Engenharia de transportes, Rio de Janeiro, 2004.

DEMARIA, M. **Operador de Transporte Multimodal como Fator de Otimização da Logística** (Dissertação) - Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. 87p.

DIAS, S.M.P., Transporte e Distribuição-2011. Disponível em: http://pt.scribd.com/doc/230813 /Transportes Acesso em 10 Jan 2011.

DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. Balanço Mineral Brasileiro, Brasília, 2000. Disponível em: http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/gipsita.pdf. Acesso em: 15 Out 2008.

DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. Sumário Mineral, Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/sumariomineral2002/GIPSITA_revisado_.doc>. Acesso em: 12 Mar 2009.

DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. Sumário Mineral, Brasília, 2002 . Disponível em: http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=353. Acesso em: 12 Mar 2009

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral, Brasília, 1992 a 2004. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivo=353>. Acesso em: 10 Abr 2009.

DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. Sumário Mineral, Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2008/gipsita.pdf>>. Acesso em: 10 Abr 2009.

DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. Sumário Mineral, Brasília, 2008. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=64>. Acesso em: 10 Jan 2010.

DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. Sumário Mineral, Brasília, 2009. Disponível em: < http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=64>. Acesso em: 10 Abr 2010.

DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. Sumário Mineral, Brasília, 2010. Disponível em: https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=400> . Acesso em: 11 Mai 2010.

ECOBILAN. Site do software TEAM4. Disponível em:https://www.ecobilan.com/ index_fr.html. Acesso em: 12 abr 2011.

ELKINGTON, J. Towards the sustainable Corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development. California Management Review, 1994. Disponível em: http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct= &db=buh&AN=9410213932&site=ehost-line. Acesso em: 26 jul 2011.

ENGENHAR. Informativo do Clube de Engenharia de Pernambuco, Ano 1, No. 2, Recife, 2010.

FERREIRA, J.V.R, Análise de Ciclo de Vida de Produtos. Instituto Politécnico de Viseu. 2004. Disponível em: http://www.estv.ipv.pt/paginaspessoais/jvf/gestao%20ambiental%20-%20analise%20de%20ciclo%20de%20vida.pdf. Acesso em: 13 jun 2011.

FERREIRA, R.F. **Impacto Ambiental**. Aula da Equipe Ajac, Rio de Janeiro,2007. Disponível em: http://www.equipeajac.com.br/enviados/impactoambiental.pdf. Acesso em: 08 Dez 2010.

FERRAZ, J.C.; KUPFER, D.; HAGUENAUER, L. **Made in Brazil: desafios competitivos para a indústria.** Rio de Janeiro: Campus, 1995, 386p.

FLEURY, P. F. **Ferrovia pode perder oportunidades de crescimento**. Revista Ferroviária. Outubro.2006.

GRICOLETTI, G. C. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul**, UFRGS, Porto Alegre. 2001.

IBGE. **Cidades@ 2009.**Disponível em**:**http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1 Acesso em: 01 Mai 2010.

INDRIUNAS, L. **"HowStuffWorks – Como funciona o desenvolvimento sustentável"**, 2007. Disponível em: http://ambiente.hsw.uol.com.br/desenvolvimento-sustentavel2.htm . Acesso em: 10 Jan 2011.

IPCC. Painel Intergovernamental sobre mudança do Clima-2007. Disponível: http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/17685.html. Acesso em: 20 Jun 2010.

IQBAL, K. S., HASEGAWA, K., (2001). Inland transportation system planning by life-cycle impact assessment: a case study 2nd report single comparison. Index: Journal of Marine

Science and Technology. Volume 6, Number 2. Disponível em: http://www.springerlink.com/content/wfwr0g8d0el4q721/ Acesso em: 10 Abr 2011.

SGM. **IV Seminário Nacional APLs Base Mineral, 2007**. Sustentabilidade Ambiental da Pequena Mineração. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Ministério das Minas e Energia, Curitiba, 2007. Disponível em:<http://www.redeapl.pr.gov.br /arquivos/File/Maria_Jose_Sustentab_Amb_Pqna_Mineracao.pdf>. Acesso em: 11 Nov 2009.

JORGENSEN, D.B. (1994). Gypsum and Anhydrite. In: **Industrial Minerals and Rocks**, 6a Edição. Carr, D.D. (Editor). Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 571-581.

JÖHR, H. **O verde é negócio.** São Paulo, Saraiva, 2. ed., 1994.

LYRA SOBRINHO, A.C. P.; AMARAL, A. J. R.; DANTAS, J.O.C. **Gipsita**. Sumário Mineral DNPM, Rio de Janeiro, 2006, p. 175-178.

MAIA, J. M. **Economia internacional e comércio exterior**. São Paulo: Atlas, 2000.

MATEUS, A. (Cood.). Recursos: **A caminho de um uso sustentável**. Departamento de Geologia da FCUL, Lisboa, 2008. Disponível em:<geologia.fc.ul.pt/documents/99.pdf > . Acesso em : 10 Jun 2009.

NASCIMENTO, D. E. do; CASAGRANDE JR., E. F.; MORAES, L. R.; RUTHES, S. **Parque Eco-industrial: uma discussão sobre a futuro dos distritos industriais brasileiros.** XII SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção- Ano 1, No. 2, Abril/2006, p.97- 109.

NAZÁRIO, P.. Logística Empresarial: a perspectiva brasileira. São Paulo:Atlas.2000.

NOVAES, A. G.. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição.** Estratégia, operação e avaliação. Rio de Janeiro: Campus, 2006, 2ª. Ed.

PENNA, C.G. Transporte e meio ambiente. Portal "O ECO". Disponível em: http://www.oeco.com.br/carlos-gabaglia-penna/23994-transporte-e-meio-ambiente. Acesso em: 10 Nov 2010.

PEREIRA, N. N. **Análise comparativa do impacto econômico e ambiental entre modais de transporte.** Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PERES, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A. dos. **O gesso: produção e sua utilização na construção civil.** Recife: Bagaço, 2001. 166p.

PERNAMBUCO, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente-**Região da Araripe: diagnóstico florestal.** Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente – Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**. 12a Ed. São Paulo. Editora Globo, 1998.

REIS, M. **ISO14000** – Rio de Janeiro. Qualitymark, 1995. 200p.

RIBEIRO, S.K. El Impacto Ambiental del transporte rodoviario y ferroviario de cargas. Seminario Competencia y Complentacion de los modos Carreteiro y ferroviário em el transporte de carga. Santiago do Chile. 2001. Disponível em:

www.eclac.cl/**Transporte**/capacitacion/0/8460/cepal.PPT. Acesso em: 02 fev 2011.

ROCHA, C A L de. **O Gesso na Indústria da Construção Civil: Considerações Econômicas sobre Utilização de Blocos de Gesso**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da UFPE, Recife,2007. Disponível em: <http://www.ufpe.br/ppgeminas/Dissertacoesaluno/DissertacaooCarlosLaranjeira(bibliotecaCentral).doc>. Acesso em 03 Jan 2010.

RODRIGUES, C. R. B.; ZOLDAN M. A.; LEITE M. L. G.; OLIVEIRA, I. L. **Sistemas Computacionais de Apoio e Ferramenta de Análise de Ciclo de Vida do Produto (ACV). XXVIII Encontro Nacional de Eng, de Produção**, Rio de Janeiro, 2008.

RUBIN, E. S., 2001, **Introduction to Engineering and the environment, 1st ed**.McGraw-Hil Higher Education.

SALES, R. **Auditoria ambiental e seus aspectos jurídicos**. São Paulo: LTR, 2001.

SEBRAE/NA. Materiais de Construção. **Utilização do Gesso na Construção Civil.** Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/setor/construcao-civil/o-setor/materiais-de-construcao>. Acesso em: 03 Mar 2010.

SEMINÁRIO SOBRE MEIO AMBIENTE DA VOLVO - 2008. Especial: Professora Márcia Valle fala sobre a relação caminhão e o meio ambiente. **Revista webmotors.** Sessão: caminhões e Ônibus.

SETAC. **A conceptual Framework for Life-Cycle Impacts Assessment – Guidelines for Life-Cycle Assessment: A "Code of Practice"**– Society for Environmental Toxicology and Chemistry – Bruselas, 1993.

SILVA, G. A. **Avaliação do Ciclo de Vida – Sua Importância pra a Sustentabilidade da Construção Civil**. Ciclo de Debates da Associação Brasileira do Ciclo de Vida (ABCV) – GP2 – USP, São Paulo, 2007. Disponível em: http://www.ambiente.sp.gov.br/EA/cursos/ciclo_palestras/151007/Gil.pdf. Acesso em: 04 Abr 2011.

SILVA, M. C. T. **Projeto- Reestruturação e Aperfeiçoamento do Licenciamento Ambiental da Região do Araripe – PE.** Companhia Pernambucana do Meio Ambiente – CPRH e da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente – CPRH, Araripina, 2003.

SINAY, M.C.F.; FERRO, M.A.C.; DINIZ, M.A.A.**Gerenciamento Ambiental de Obras Fluviais apoiado em SIG.** Instituto Militar de Engenharia- IME. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: http://redpgv.coppe.ufrj.br/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=283.Acesso em: 24 Jan 2010.

SINDIBRITA. Sindicato da Indústria de Mineração de Brita do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.sindibrita.org.br>. Acesso: 03.Fev.2010.

SINDUSGESSO. Recife, 2000. Disponível em: <http://www.sindusgesso.org.br>. Acesso em: 03 Jun2009.

_____. Recife,2004. Disponível em:<http://www.sindusgesso.org.br>.Acesso em: 08 Jun2009.

_____. Recife, 2007. Disponível em: <http://www.sindusgesso.org.br>. Acesso em: 17 Ago 2009.

_____. Recife, 2009. Disponível em: <http://www.sindusgesso.org.br>. Acesso em: 24 Set 2010.

STEPHAN, R. Figura Triple Botton. Disponível em: http://www.ecajr.com.br/caixadolapis /?p=1146. Acesso em 08 Dez 2010.

SUCENA, M. P. **Módulo 4 - Infraestrutura de Transporte**. Disponível em: <http://www.sucena.eng.br/TTC/TTC4_Mod4Infraestrutura.pdf>. Acesso em 10 Fev 2010.

TAVIEIRA, A.L.S. **Provisão de Recursos Financeiros para o Fechamento de Empreendimentos Minerários.** Tese de doutorado, EP/USP, São Paulo, 2003.

ANEXO I – Tabela A1 - Indústrias e emissões de resíduos atmosféricos

Tabela A1 – Indústrias e emissões de resíduos atmosféricos

Municipio	Nome	Atividade Exercida	Possui Licença Ambiental (CPRH)?	Telefone Comercial	Produção de Gipsita (t/h)	MP Total (kg/h)	NOx (kg/h)	SO2 (kg/h)
Araripina		Extração Gipsita	SIM		4,17	9,37	0,27	0,01
Araripina		Extração Gipsita	SIM		4,17	2,70	-	-
Araripina		Extração Gipsita	NÃO		2,78	2,70	0,14	0,01
Araripina		Extração Gipsita	NÃO		2,78	2,87	-	-
Araripina		Extração Gipsita	NÃO		3,33	8,99	-	-
Araripina		Extração Gipsita	NÃO		3,33	7,73	0,14	0,01
Araripina		Calcinação Gesso	NÃO		1,50	12,07	1,02	2,00
Araripina		Calcinação Gesso	NÃO		1,25	16,19	0,75	0,04
Araripina		Calcinação Gesso	SIM		2,78	25,25	0,98	0,05
Araripina		Calcinação Gesso	NÃO		2,78	41,24	2,02	1,96
Araripina		Calcinação Gesso	NÃO		4,44	42,92	1,95	0,11
Araripina		Calcinação Gesso	SIM		2,78	17,11	0,59	0,03
Araripina		Calcinação Gesso	NÃO		1,25	18,52	1,01	0,06
Araripina		Calcinação Gesso	NÃO		8,06	13,99	0,73	0,04
Araripina		Calcinação Gesso	SIM		4,17	36,95	2,37	2,19
Araripina		Calcinação Gesso	NÃO		1,04	20,11	1,03	0,06
Araripina		Calcinação Gesso	SIM		6,53	90,01	4,12	0,23
Araripina		Calcinação Gesso	NÃO		2,29	17,58	0,59	0,03
Araripina		Calcinação Gesso	SIM		16,67	7,25	2,64	18,84
Araripina		Calcinação Gesso	SIM		6,11	26,39	0,75	0,04
Araripina		Calcinação Gesso	SIM		5,83	6,17	0,70	5,02
Araripina		Calcinação Gesso	SIM		2,78	20,40	0,74	0,04
Araripina		Calcinação Gesso	NÃO		1,67	21,32	0,97	0,05
Araripina		Calcinação Gesso	SIM		2,78	8,50	0,22	0,01
Araripina		Calcinação Gesso	SIM		3,34	25,77	1,64	0,09
Araripina		Calcinação Gesso	SIM		2,78	12,62	1,02	2,00
Araripina		Calcinação Gesso	SIM		2,78	12,13	1,79	5,73
Araripina		Calcinação Gesso	SIM		2,78	7,80	0,21	0,01
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,16	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,16	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	2,33	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,08	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,03	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	SIM		2,78	0,27	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,11	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,04	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,16	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,65	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,29	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,56	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,08	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,08	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,11	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		5,28	6,37	0,59	2,88
Araripina		Pré-moldado Gesso	SIM		2,78	9,24	0,41	2,00
Araripina		Pré-moldado Gesso	SIM		2,78	0,38	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,54	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,11	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	1,79	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	SIM		3,74	11,75	0,35	0,02
Araripina		Pré-moldado Gesso	SIM		2,50	68,91	4,21	0,23
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,03	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,03	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,11	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,03	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,08	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	Licença vencida		2,78	0,43	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,03	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,16	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,11	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,11	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,11	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-

Tabela A1 – Indústrias e emissões de resíduos atmosféricos (continuação)

Municipio	Nome	Atividade Exercida	Possui Licença Ambiental (CPRH)?	Telefone Comercial	Produção de Gipsita (t/h)	MP Total (kg/h)	NOx (kg/h)	SO2 (kg/h)
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,12	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	SIM		2,78	0,60	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,04	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		0,33	-	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,03	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,48	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	SIM		2,78	0,27	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,22	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,11	-	-
Araripina		Pré-moldado Gesso	SIM		19,25	45,00	1,68	12,02
Araripina		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,03	-	-
Trindade		Extração Gipsita	SIM		30,00	69,13	1,03	0,04
Trindade		Extração Gipsita	NÃO		26,67	25,82	-	-
Trindade		Extração Gipsita	SIM		8,33	15,47	-	-
Trindade		Extração Gipsita	SIM		8,33	12,24	0,33	0,01
Trindade		Extração Gipsita	NÃO		20,83	13,20	-	-
Trindade		Extração Gipsita	SIM		4,17	4,12	-	-
Trindade		Extração Gipsita	SIM		6,67	14,00	-	-
Trindade		Extração Gipsita	SIM		10,42	21,21	0,10	0,00
Trindade		Extração Gipsita	SIM		1,67	1,61	-	-
Trindade		Extração Gipsita	SIM		41,67	25,38	0,10	0,00
Trindade		Calcinação Gesso	NÃO		1,67	14,15	0,55	0,03
Trindade		Calcinação Gesso	SIM		7,72	14,43	0,97	0,05
Trindade		Calcinação Gesso	SIM		5,56	0,73	-	-
Trindade		Calcinação Gesso	NÃO		3,46	18,85	0,75	0,04
Trindade		Calcinação Gesso	SIM		2,71	0,37	0,73	5,18
Trindade		Calcinação Gesso	NÃO		0,83	5,34	0,12	0,01
Trindade		Calcinação Gesso	SIM		1,58	24,16	1,33	0,07
Trindade		Calcinação Gesso	NÃO		1,25	59,37	4,11	0,23
Trindade		Calcinação Gesso	SIM		1,46	14,23	0,59	0,03
Trindade		Calcinação Gesso	SIM		15,97	70,14	6,18	12,26
Trindade		Calcinação Gesso	NÃO		1,13	13,72	0,70	0,04
Trindade		Calcinação Gesso	SIM		1,25	12,28	0,74	0,04
Trindade		Calcinação Gesso	NÃO		4,28	177,57	13,10	0,73
Trindade		Calcinação Gesso	SIM		0,96	18,94	1,12	0,06
Trindade		Calcinação Gesso	NÃO		1,60	10,22	0,28	0,02
Trindade		Calcinação Gesso	NÃO		1,88	13,54	0,39	0,02
Trindade		Calcinação Gesso	SIM		1,88	22,73	1,56	0,09
Trindade		Calcinação Gesso	SIM		8,63	31,37	2,50	7,33
Trindade		Calcinação Gesso	NÃO		2,38	31,10	1,64	0,09
Trindade		Calcinação Gesso	Licença tramitando		2,00	0,24	-	-
Trindade		Calcinação Gesso	SIM		2,78	0,56	0,38	0,00
Trindade		Calcinação Gesso	NÃO		2,42	21,05	1,02	2,00
Trindade		Calcinação Gesso	SIM		1,46	8,57	0,25	0,01
Trindade		Calcinação Gesso	NÃO		3,17	23,92	0,94	0,05
Trindade		Calcinação Gesso	NÃO		3,21	48,46	2,63	0,15
Trindade		Pré-moldado Gesso	SIM		2,78	0,05	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,02	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	1,52	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,03	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,16	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	Licença tramitando		1,90	27,37	1,54	0,09
Trindade		Pré-moldado Gesso	Licença vencida		1,92	21,21	0,98	0,05

Tabela 1 – Indústrias e emissões de resíduos atmosféricos (continuação)

Municipio	Nome	Atividade Exercida	Possui Licença Ambiental (CPRH)?	Telefone Comercial	Produção de Gipsita (t/h)	HP Total (kg/h)	NOx (kg/h)	SO2 (kg/h)
Trindade		Pré-moldado Gesso	SIM		4,53	20,49	0,97	0,05
Trindade		Pré-moldado Gesso	SIM		6,08	17,51	0,97	0,06
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,11	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,79	15,79	0,25	0,01
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,03	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	SIM		2,88	29,18	1,22	0,07
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,54	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	SIM		2,78	0,14	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,08	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		0,03	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,03	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		1,25	12,12	0,49	0,03
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,11	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,03	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,13	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,03	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,11	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,11	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,03	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	SIM		1,25	13,73	0,59	0,03
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,11	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Trindade		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Ipubi		Extração Gipsita	NÃO		20,00	61,38	-	-
Ipubi		Extração Gipsita	SIM		5,00	9,85	-	-
Ipubi		Extração Gipsita	SIM		6,67	20,45	-	-
Ipubi		Extração Gipsita	SIM		8,33	18,79	-	-
Ipubi		Extração Gipsita	NÃO		3,33	14,81	0,14	0,01
Ipubi		Extração Gipsita	NÃO		10,42	37,14	-	-
Ipubi		Calcinação Gesso	NÃO		1,04	30,26	1,94	0,11
Ipubi		Calcinação Gesso	SIM		3,33	40,57	3,55	4,68
Ipubi		Calcinação Gesso	SIM		4,17	37,20	1,47	0,08
Ipubi		Calcinação Gesso	NÃO		3,47	33,32	1,57	0,62
Ipubi		Calcinação Gesso	SIM		2,78	9,13	0,21	1,04
Ipubi		Calcinação Gesso	Licença vencida		3,50	36,25	2,11	4,46
Ipubi		Calcinação Gesso	NÃO		1,67	17,23	0,77	0,04
Ipubi		Calcinação Gesso	SIM		1,50	23,69	1,22	0,07
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		1,04	12,39	0,42	0,02
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,22	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,11	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,03	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,54	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	SIM		2,78	0,16	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		4,51	32,49	1,87	0,10
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,11	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	1,08	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,03	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,27	-	-

Tabela A1 – Indústrias e emissões de resíduos atmosféricos (continuação)

Municipio	Nome	Atividade Exercida	Possui Licença Ambiental (CPRH)?	Telefone Comercial	Produção de Gipsita (t/h)	MP Total (kg/h)	NOx (kg/h)	SO2 (kg/h)
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Ipubi		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Bodoco		Calcinação Gesso	SIM		0,17	7,00	0,43	0,02
Ouricuri		Calcinação Gesso	SIM		1,67	19,33	0,97	0,05
Ouricuri		Calcinação Gesso	NÃO		2,29	16,20	0,49	0,03
Ouricuri		Calcinação Gesso	NÃO		2,78	13,15	0,73	0,04
Ouricuri		Calcinação Gesso	SIM		1,46	19,25	0,97	0,05
Ouricuri		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	0,05	-	-
Ouricuri		Pré-moldado Gesso	SIM		1,67	19,33	0,97	0,05
Ouricuri		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-
Ouricuri		Pré-moldado Gesso	NÃO		2,78	-	-	-