

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA**

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA AREIA EM MINERADORA  
DE PEQUENO PORTE, NA REGIÃO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO -  
SP.

ARIANE DE SOUZA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA**

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA AREIA EM MINERADORA  
DE PEQUENO PORTE, NA REGIÃO DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO -  
SP.**

**ARIANE DE SOUZA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr Almir Sales

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

S729ac Souza, Ariane de.  
Avaliação do ciclo de vida da areia em mineradora de pequeno porte, na região de São José do Rio Preto - SP / Ariane de Souza. -- São Carlos : UFSCar, 2012.  
118 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2012.

1. Engenharia urbana. 2. Ciclo de vida do produto. 3. Areia. 4. Minas e recursos minerais. I. Título.

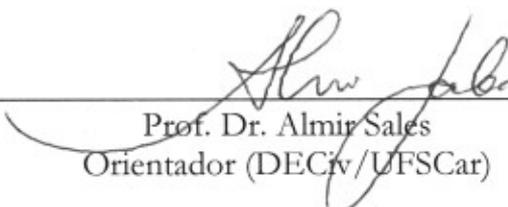
CDD: 711 (20<sup>a</sup>)



## FOLHA DE APROVAÇÃO

ARIANE DE SOUZA

Dissertação defendida e aprovada em 21/09 /2012  
pela Comissão Julgadora



---

Prof. Dr. Almir Sales  
Orientador (DECiv/UFSCar)



---

Prof. Dr. Valdir Schalch  
(EESC/USP)



---

Prof. Dr. José Carlos Faliari  
(DECiv/UFSCar)



---

Prof. Dr. Ricardo Sileto da Silva  
Coordenador do CPGEU

**Dedico este trabalho à  
minha avó e à minha mãe,  
minhas primeiras  
professoras.**

## **Agradecimentos**

À minha mãe e minha avó, as pessoas mais importantes da minha vida e que me apoiaram e estiveram ao meu lado ao longo de todo o Mestrado.

Ao prof. Almir, pela amizade, pelo excelente caráter, pelo exemplo de boa pessoa e pela orientação.

À família Inaba, pelo acolhimento e auxílio.

À Capes, pelo bolsa.

À Universidade Federal de São Carlos e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, pelo aprendizado e vivência adquiridos.

À Secretaria do PPGEU, em especial Antonio Carlos e Tiago, pelo suporte acadêmico.

Ao Paulo Ponce, pelos bons momentos de descontração.

Às colegas de casa Stela, Cassiana e Glaucia, pela paciência e pela companhia.

À amiga Kallu, pelos momentos que estivemos juntas e pelos que não estivemos.

À Thais, Laudiane e Andressa, pois apesar da distância, suas amizades são ímpares.

A todos os professores do curso, em especial Ricardo Siloto, Marcilene Dantas e João Sérgio Cordeiro, pela disponibilidade e disposição.

A todos os colegas de curso, em especial Moisés Furtado Failache, Tereza Cristina Krauss, Daniela Marchete, Tiago Torquato, Mariene Giunta, Valdemir dos Santos de Lima, Netto e Daniel Sírio, pelas risadas e bons momentos compartilhados.

Aos colegas do grupo de pesquisa Sofia Lessa, Juliana Moretti e Fernando Almeida, pela ajuda irrestrita.

Aos meus familiares, pelo suporte emocional direto ou indireto.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o bom andamento da dissertação.

*"A felicidade não depende do que nos falta, mas do bom uso que fazemos do que temos."*

*Thomas Hardy*

## RESUMO

SOUZA, A. Avaliação do ciclo de vida da areia em mineradora de pequeno porte, na região de São José do Rio Preto – SP. Dissertação de Mestrado (Engenharia Urbana). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP, 2012.

A mineração de areia, embora de grande importância socioeconômica para o cenário nacional, apresenta diversos impactos negativos ao longo de toda sua cadeia produtiva. Dentre algumas das interferências no meio natural, ocorre: a degradação do solo, poluição do ar e estresse na fauna e na flora. Este fato gerou grande interesse por mecanismos que mitiguem ou anulem os efeitos prejudiciais no meio natural, a exemplo da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que através de balanços de massa e energia pode propiciar ganhos socioeconômicos e ambientais. Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o ciclo de vida da areia extraída de leito de rio de uma mineradora de pequeno porte na região de São José do Rio Preto-SP nas etapas de extração, beneficiamento, armazenagem e transporte. Para tanto, os procedimentos metodológicos se basearam nas normas ABNT NBR ISO 14040 e 14044, que requerem a determinação do objetivo e escopo; análise de inventário; avaliação de impactos ambientais (realizado através do método EDIP (*Environmental Development of Industrial Products*)) e interpretação. Foi realizado um levantamento em mineradora de pequeno porte para coleta de informações sobre técnicas, tecnologias e insumos usados no processo de produção. Na determinação do escopo, o objetivo, as fronteiras do sistema, as escalas, a unidade funcional e outros detalhes foram definidos. As outras etapas envolveram a padronização de unidades de medidas, classificação de mudanças ambientais, normalização e ponderação. Como resultado, verificou-se que as maiores emissões atmosféricas são as de dióxido de carbono, seguidas de óxidos de nitrogênio e monóxido de carbono, enquanto que os potenciais de impactos ambientais mais expressivos são: aquecimento global e formação fotoquímica de ozônio. Dessa forma, recomendam-se como principais ações mitigadoras: atividades voltadas para otimização da extração de areia, implantação de um programa de gerenciamento da frota de veículos e dragas e redimensionamento das bombas centrífugas.

**Palavra-chave: Ciclo de vida. Mineração. areia.**

## ABSTRACT

SOUZA, A. Life Cycle Assessment of sand in small mining in São José do Rio Preto region - São Paulo. Dissertation (Urban Engineering). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – São Paulo, 2012.

The mining of sand, although of great socio-economic importance to the national scene, has several negative impacts throughout the production chain. Among some of the interference in the natural environment occurs, soil degradation, air pollution and stress in the fauna and flora. This fact has generated great interest in mechanisms that mitigate or prevent adverse effects on the natural environment, such as the Life Cycle Analysis (LCA), which through mass balances and energy gains can provide socio-economic and environmental. The objective of this research was to evaluate the life cycle of the sand extracted from a riverbed mining in the small region of Sao Jose do Rio Preto in the stages of extraction, processing, storage and transport of sand. For this purpose, the procedures were based on ISO standards 14040 and 14044, which require the determination of the purpose and scope, inventory analysis, environmental impact assessment (conducted through the EDIP method (Environmental Development of Industrial Products)) and interpretation. There was a visit to a mining company to collect information on techniques, technologies and inputs used in the production process. In determining the scope, purpose, system boundaries, scales, functional unit and other details were defined. The other steps involved the standardization of units of measurement, classification of environmental changes, normalization and weighting. As a result, it was found that the higher are the atmospheric emissions of carbon dioxide followed by nitrogen oxides and carbon monoxide, whereas potential environmental impacts are most significant global warming and ozone photochemical formation. So, are recommended as the main mitigating actions: activities aimed at optimizing the extraction of sand, implementation of a program for managing the vehicle fleet and dredges and resizing of centrifugal pumps.

**Key-words: Life cycle. Mining. Sand.**

## Lista de Figuras

Figura 1 – Caminhão betoneira sendo carregado sob um silo de cimento em uma concreteira .....	30
Figura 2– Modelo PDCA de gerenciamento de processos .....	32
Figura 3 – Representação esquemática da ACV.....	33
Figura 4 – Estágios do ciclo de vida dos agregados .....	36
Figura 5– Visão esquemática geral das etapas do ciclo de vida da areia.....	36
Figura 6 – Unidade de processo e fluxos relacionados.....	42
Figura 7 – Sucção de areia do leito do rio através da draga fixa (jato de areia maior, à direita) e da draga móvel (dois jatos de areia menores, à esquerda). .....	57
Figura 8 – Transporte do material retirado do leito até a margem .....	58
Figura 9 – Bombeamento da areia no até as peneiras.....	58
Figura 10 – Peneiramento e classificação da areia, que é separada em fina (carregada no caminhão, à esquerda) e grossa (despejada no monte da direita) .....	59
Figura 11 – Empilhamento e revolvimento do material .....	60
Figura 12 – Processo de extração da areia.....	61
Figura 13- Fases consideradas no trabalho com fronteira <i>Cradle to Gate</i> .....	63
Figura 14 – Draga móvel (à esquerda) e draga fixa da plataforma (à direita).....	65
Figura 15 – Motor localizado no interior do barco (à esquerda) e motor da draga fixa da margem .....	65
Figura 16 – Barco utilizado para transportar areia e carregar a draga móvel .....	66
Figura 17 – Uma das bacias de decantação existentes na mineradora.....	67
Figura 18 – Área da mineração e entorno extraída do software <i>Google Earth</i> .....	85
Figura 19– Extravase do material pela lateral do barco durante carregamento.....	92
Figura 20 - Consumo de óleo diesel para cada fase do ciclo de vida .....	94
Figura 21– Consumo de água para cada fase do ciclo de vida da areia.....	95
Figura 22 – Diagrama de Pareto com as emissões atmosféricas, excluindo-se CO <sub>2</sub> .....	97
Figura 23 – Normalização dos impactos ambientais .....	100
Figura 24 – Ponderação dos impactos ambientais .....	100
Figura 25 – Etapas críticas do ciclo de vida da areia.....	101

## Lista de tabelas e quadros

Tabela 1– Fatores de equivalência de alguns gases para a caracterização do PAG .....	47
Tabela 2 – Normalização e ponderação para aquecimento global.....	48
Tabela 3- Normalização e ponderação de ecotoxicidade.....	49
Tabela 4- Normalização e ponderação de toxicidade .....	50
Tabela 5– Normalização e ponderação para acidificação.....	52
Tabela 6 - Normalização e ponderação para formação de ozônio troposférico.....	54
Tabela 7 – Valores de Massa Específica .....	68
Tabela 8 – Análise do inventário do processo de extração de areia .....	69
Tabela 9 - Análise do inventário do processo de beneficiamento de areia .....	70
Tabela 10 - Análise do inventário do processo de armazenagem de areia .....	71
Tabela 11 - Análise do inventário do transporte de areia por caminhão: .....	72
Tabela 12 - Fatores de equivalência para a caracterização do PAG.....	75
Tabela 13 – Valores de PAG para cada fase do ciclo de vida da areia.....	75
Tabela 14 – Composição média do óleo diesel .....	77
Tabela 15 – Substâncias com efeitos ecotoxicológicos, suas composições no óleo diesel e seus fatores de equivalência.....	78
Tabela 16 – Valores do potencial de ecotoxicidade para o ciclo de vida da areia.....	78
Tabela 17 - Valores do potencial de ecotoxicidade para cada fase do ciclo de vida da areia.....	79
Tabela 18 - Substâncias com efeitos toxicológicos, suas composições no óleo diesel e seus fatores de equivalência.....	80
Tabela 19 – Valores do potencial de toxicidade humana para o ciclo de vida da areia.....	80
Tabela 20- Valores do potencial de toxicidade humana para cada fase do ciclo de vida da areia.....	81
Tabela 21- Fatores de equivalência das substâncias acidificantes do ciclo de vida da areia.....	82
Tabela 22 – Valores de potencial de acidificação para cada fase do ciclo de vida da areia .....	82
Tabela 23- Substâncias com potencial de formação de ozônio troposférico, quantidade emitida e fatores de equivalência.....	83
Tabela 24 - Valores de potencial de formação de ozônio troposférico .....	84
Tabela 25 – Emissões atmosféricas totais nas etapas do ciclo de vida da areia .....	96

Tabela 26 – Potenciais de impactos ambientais, unidade de referência e valor encontrado.....	99
Tabela 27 – Análise de sensibilidade para os caminhões de pequeno porte.....	104
Quadro 1– Métodos de lavra de areia e tipos de depósitos minerais .....	27
Quadro 2– Termos granulométricos de areia encontrados no mercado.....	29
Quadro 3– Caracterização das categorias de impactos .....	45
Quadro 4- Impactos negativos, verificação in loco e medidas preventivas .....	86
Quadro 5– Efeitos do CO em função do tempo de exposição .....	98

## Lista de siglas, abreviações e símbolos

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ACV	Avaliação do ciclo de vida
ANP	Agência Nacional do Petróleo
APP	Área de Preservação Permanente
BTX	Benzeno, Tolueno e Xileno
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub> -eq.	Dióxido de carbono equivalente
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Composto orgânico volátil
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
CV	Cavalo-vapor
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DQO	Demanda química de oxigênio
EDIP	Environmental Development of Industrial Products
EMPA	Laboratório Federal Suíço para Teste e Investigação de Materiais
FE	Fator de equivalência
GEE	Gases do efeito estufa
GJ	Giga Joule
IPCC	Painel Internacional de Mudanças Climáticas
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISO	International Organization for Standardization
Kg	Quilogramas
LCA	Life Cycle Assessment
MB	Mercedes-Benz

MRI	Midwest Research Institute
NBR	Norma Brasileira Registrada
NO <sub>x</sub>	óxidos de nitrogênio e dióxido de nitrogênio
NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrogênio
O <sub>3</sub>	Ozônio
OH <sup>•</sup>	Radical hidroxila
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PAN	Peróxido de Acetil Nitrato
PDCA	Planejar, Executar, Verificar, Agir
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PVC	Policloreto de polivinila/ Cloreto de vinila/ Policloroeteno
REPA	Resource and Environmental Profile Analysis
SC	Subcommittee
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SPOLD	Sociedade para a Promoção do Desenvolvimento de Ciclo de Vida
SO <sub>x</sub>	Óxidos de enxofre
SO <sub>2</sub>	Dióxido de enxofre
SO <sub>2</sub> -eq	Dióxido de enxofre equivalente
TC	Technical Committee
TR	Technical Report
TS	Technical Specification
USEPA	U.S. Environmental Protection Agency
VW	Volkswagen

## Sumário

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS .....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
2.1. Agregados.....	18
2.2. Mineração de areia e seus impactos .....	20
2.3. Mineração de areia e suas implicações legais.....	22
2.4. Ciclo de vida da areia .....	26
2.5. Ferramentas de gestão ambiental.....	31
2.5.1. Avaliação do ciclo de vida da areia .....	33
2.5.2. NBR ISO 14040 e 14044.....	37
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	41
3.1. Determinação do objetivo e do escopo.....	41
3.2. Análise do inventário do ciclo de vida .....	42
3.3. Avaliação de impactos do ciclo de vida .....	43
3.4. Interpretação .....	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1. Determinação do objetivo e do escopo.....	57
4.2. Análise do inventário do ciclo de vida .....	69
4.3. Avaliação de impactos do ciclo de vida .....	73
4.4. Interpretação .....	84
5. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES .....	107
REFERÊNCIAS .....	109

## 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A produção de bens minerais para uso *in natura* na construção civil é uma importante atividade minerária, pelo grande volume produzido e pela ampla distribuição geográfica dos centros produtores. Entre esses recursos, destaca-se a areia, pelas suas características intrínsecas, a exemplo da melhoria de algumas propriedades de outros materiais (PAIVA; CANÇADO, 2008).

A areia é um agregado miúdo da mais alta importância para o país, em especial o Estado de São Paulo, seu maior produtor. A geração de renda e o conforto criados pelos produtos que utilizam a areia como insumo são alguns dos benefícios sociais obtidos através deste minério.

Outro aspecto positivo refere-se ao desenvolvimento local e regional possibilitados pela extração da areia, que permite a geração de empregos diretos e indiretos interiorizados na área da mineração. Além disso, o pagamento de tributos e impostos pelas mineradoras de areia incrementa a receita de municípios, estados e do país, tornando possível maior investimento em políticas públicas.

Diante de tais benefícios, diversas pesquisas vêm sendo realizadas a fim de se compreender melhor as propriedades da areia, estudando a natureza, a granulometria, textura, dosagem e outras características do agregado.

Outros trabalhos também vêm sendo feitos com o intuito de se encontrar formas mais eficientes de aproveitamento do minério. Estudos que contemplem a extração mais sustentável da areia são fundamentais, pois apesar dos benefícios supracitados da exploração deste mineral, a extração de areia implica, como toda atividade mineradora, em grandes intervenções de caráter negativo no meio ambiente.

Dentre alguns dos impactos negativos comumente verificados em área de extração de areia, citam-se as poluições sonora, visual e do ar; geração de estresse e perturbação à fauna e flora; aumento da turbidez nos cursos d'água; e modificações dos regimes hídricos.

De acordo com Paiva e Cançado (2008), uma alternativa mais viável do ponto de vista ambiental é a extração de areia diretamente dos leitos fluviais por dragagem embarcada, pois não acarreta impactos de grande magnitude nas planícies aluvionares, assim como não elimina vastos trechos de matas ciliares.

Em contrapartida, o mais relevante impacto negativo dessa atividade é o aumento da turbidez em barragens, devido o lançamento direto dos efluentes gerados no processo. O halo de turbidez gera um impacto visual de grande extensão, em especial devido ao fato de que, nas barragens,

praticamente inexistem correntezas que permitam a dispersão do material que é devolvido ao corpo hídrico (PAIVA; CANÇADO, 2008).

Apesar dos impactos supracitados, a redução das atividades de extração de areia, segundo Texier (2001), não é cogitada em nível mundial, por se constituir no principal insumo da construção civil, ainda sem um sucedâneo à altura.

Assim, este setor requer atenção quanto ao ordenamento, planejamento e aprimoramento tecnológico da atividade de mineração (BITAR, 2000). Estudos que melhorem o desempenho dessa atividade são muito relevantes, pois um sistema de produção eficaz não só mitiga ou anula os efeitos negativos no meio ambiente como também contribui para o desenvolvimento socioeconômico.

Segundo Aguirre e Hennies (2010), como toda atividade de mineração, a exploração de uma pedreira ou porto de areia envolve gastos financeiros enormes, em função da soma dos pesados investimentos em equipamentos e instalações e as dificuldades envolvendo as inúmeras atividades para sua extração e beneficiamento.

Em consequência disto, o volume de operação necessita estar em nível elevado para otimizar a utilização dos equipamentos, garantir alta produtividade e a sobrevivência e sustentabilidade do empreendimento, além do retorno do investimento inicial e a manutenção dos gastos da mineradora (AGUIRRE; HENNIES, 2010).

Nesse sentido, algumas das estratégias mais conhecidas de melhoria de performance ambiental incluem: Produção mais Limpa (P + L), Sistemas de Gestão Ambiental (SGA), auditorias internas e externas e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Dos mecanismos citados, a ACV tem papel ímpar na otimização ambiental. Esta ferramenta preconiza a avaliação dos efeitos de manufatura do produto ao longo de todo o processo de fabricação até a reciclagem, reuso ou disposição final do produto, ou seja, do “berço” ao “berço”.

Através da avaliação de entradas de insumos e saídas de subprodutos e resíduos, a ACV aplicada à areia pode contribuir para a melhoria do sistema de extração do agregado.

Willers, Rodrigues e Silva (2012) corroboram ao afirmar que, ao incluir os impactos ao longo do ciclo de vida do produto, a ACV oferece uma visão abrangente dos aspectos ambientais do produto ou processo e uma imagem mais precisa do verdadeiro *trade-off* (balanço entre prós e contras) do produto e da seleção de processos.

Assim, a fim de auxiliar na manufatura de um agregado que resulte em menor passivo ambiental e maior impacto positivo social e econômico, este trabalho apresenta um estudo de ACV de areia.

Este estudo é especialmente interessante devido à importância da areia em diversos setores no cenário econômico brasileiro. Atualmente, a areia é utilizada como insumo na construção civil, vidrarias, fundições, siderurgias, cerâmicas, dentre outros segmentos.

Grande parte da produção desse agregado destina-se a construção civil, que vêm apresentando crescimento positivo no mercado brasileiro, ano a ano, subsidiado pelo incremento na renda das classes mais baixas e por programas federais de incentivo à habitação.

As necessidades de construção civil continuam com crescimento constante. O déficit habitacional, as ampliações e reformas de escolas, hospitais, grandes centros comerciais, ampliação da rede viária, entre outros, demandam quantidades de agregados da construção, a exemplo da areia (AGUIRRE; HENNIÉS, 2010).

Com o aumento da demanda de material, seja pelo setor da construção civil, sejam por outros setores, sistemas produtivos que se embasam em alternativas eco-eficientes tornam-se imprescindíveis, na medida em que podem manufaturar areia de boa qualidade, baixo custo e alto impacto socioambiental.

O país oferece um vasto campo de oportunidades para aplicação da ACV, seja em setores da indústria e agroindústria, seja na área acadêmica, cujos objetivos estão voltados para o desenvolvimento de estudos e pesquisas visando a solução de problemas na área ambiental, com possibilidade de aplicação dos resultados nos setores produtivos citados (WILLERS; RODRIGUES; SILVA, 2012).

Apesar das vantagens de pesquisas dessa natureza, é limitado o número de trabalhos de ACV aplicados à areia ou aos outros agregados utilizados na indústria da construção civil.

Dessa forma, o objetivo geral do trabalho foi:

- Avaliar o ciclo de vida da areia extraída em leito de rio em uma mineradora de pequeno porte localizada na região de São José do Rio Preto, SP.

Os objetivos específicos foram:

- Quantificar os fluxos de entrada e saída nas etapas de extração, beneficiamento, armazenagem e transporte de areia extraída em leito de rio;

- Identificar interferências ambientais negativas no processo de manufatura de areia da mineradora;

- Apontar as etapas de manufatura que demandam maiores recursos;
- Quantificar alguns impactos ambientais e propor alternativas para mitigar ou anular tais impactos;
- Indicar oportunidades de melhorias ambientais e de eficiência energética e produtiva no ciclo de vida da areia;
- Gerar informações científicas para fomentar maior sustentabilidade no uso da areia extraída em leito de rio.

Com este intuito, o trabalho foi estruturado de maneira que se possam conhecer detalhadamente as etapas de extração, beneficiamento, armazenagem e transporte do agregado e seus impactos e que se tenha uma visão geral dos possíveis usos da areia.

No capítulo de revisão bibliográfica faz-se uma abordagem geral sobre a temática dos agregados, descrevendo suas características principais. Em seguida, discorre-se a respeito da mineração de areia e seus impactos no meio natural e as fases da extração do agregado. Na sequência, descrevem-se sucintamente alguns possíveis usos da areia.

Apresentado o panorama geral da manufatura de areia, explana-se genericamente acerca das ferramentas de gestão ambiental. A seguir, apresenta-se a ACV, seu histórico e sua aplicação à areia. São também descritas as normas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044, que estruturam e embasam o trabalho.

No capítulo de procedimentos metodológicos, detalham-se as etapas de definição de objetivo e escopo, análise de inventários, avaliação de impactos ambientais e a metodologia EDIP, necessários para a aplicação da Avaliação de ciclo de vida.

Em seguida, são apresentados os resultados do trabalho, com a quantificação dos impactos e a discussão e interpretação dos valores.

Ao final, apontam-se as etapas críticas, ou seja, aquelas que mais impactam negativamente o meio natural com sugestões de melhorias e, sintetizam-se as conclusões do estudo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Considerados produtos básicos na indústria da construção civil, os agregados são recursos naturais abundantes e de baixo valor unitário. A produção destes insumos, que provoca diversos impactos ambientais ao longo de suas manufaturas, está difundida na maior parte do território brasileiro. Ante este panorama, é essencial que se discorra sobre as propriedades e outras características destes materiais.

### 2.1. Agregados

Do ponto de vista geotécnico, na composição do solo, as partículas, a argila, o silte e mesmo as areias geralmente se encontram agrupadas, formando partículas maiores, isto é, os agregados, que são os responsáveis pela estrutura do solo (RESENDE, 1992).

A NBR 9935 (ABNT, 2011) define agregado como o material granular pétreo, sem forma ou volume definido, a maioria das vezes quimicamente inerte, obtido por fragmentação natural ou artificial, com dimensões e propriedades adequadas a serem empregados em obras de engenharia.

Na fragmentação natural, os agregados não têm sua constituição íntima alterada, podendo mesmo sofrer lavagem e polimento, por exemplo. Já na fragmentação artificial, os agregados necessitam de um preparo prévio por processos industriais (SILVA, 1991).

No que diz respeito às propriedades, os agregados podem ser classificados como leves, normais ou pesados conforme sua massa específica aparente ( $\gamma$ ), ou conforme a composição mineralógica, que pode ser proveniente da decomposição de três tipos de rochas: ígneas, sedimentares ou metamórficas (RODRIGUES, 2000).

De acordo com Silva (1991), os agregados podem ainda ser categorizados de acordo com suas dimensões. O agregado é chamado miúdo quando sua dimensão máxima é menor ou igual a 4,8 mm (exemplo: areia e pedrisco). Quando a dimensão mínima é maior ou igual a 4,8 mm diz-se que é um agregado graúdo (exemplo: brita e pedregulho).

O conhecimento prévio da origem, classificação, dimensão e outras características dos agregados são importantes tendo em vista o grande número de usos destes materiais. A indústria de agregados fornece materiais para uma grande variedade de construções, incluindo estradas, caminhos-de-ferro, edifícios, portos e outras obras de engenharia civil, assim como as matérias-primas para o cimento (SINDING-LARSEN *et al.*, 2006).

De acordo com Rodrigues (2000), a principal motivação para aplicação dos agregados na construção é de natureza econômica, tendo em vista tratarem-se de materiais de baixo custo unitário, inferior ao do cimento, por exemplo.

No entanto, os agregados possibilitam que algumas outras propriedades do material onde serão utilizados se otimizem. No caso do concreto, por exemplo, a utilização de agregados permite que o concreto a ser formado apresente melhor performance, em função da: redução da retração da pasta de cimento, aumento da resistência ao desgaste, melhor trabalhabilidade e aumento da resistência ao fogo (RODRIGUES, 2000).

Além disso, melhorias na tecnologia do concreto, por exemplo, dependem diretamente da qualidade dos agregados, que representam de 70% a 80% do volume do concreto (BAUER, 1979).

Segundo Helene e Terzian (1992), as características do agregado miúdo de maior influência na dosagem do concreto são: granulometria, módulo de finura, massa unitária, massa específica, inchamento, coeficiente de inchamento e umidade crítica, apreciação petrográfica, curvas normalizadas e classificação de areias pelo módulo de finura.

Já para o agregado graúdo, Helene e Terzian (1992) afirmam ainda que a granulometria, a massa específica, dimensão máxima característica, apreciação petrográfica e mistura de agregados graúdos são as características mais importantes.

Dada sua influência nas propriedades dos materiais, o estudo das características dos agregados miúdos e graúdos deve ser considerado imprescindível a fim de melhorar os produtos que os utilizam como insumos. A avaliação qualitativa dos agregados é fundamental para a otimização dos materiais, para a menor geração de resíduos e para o desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitem matérias-primas em quantidade e qualidade satisfatórias e baixa intervenção negativa no meio natural.

Dos agregados, os miúdos têm especial destinação e estudos específicos, a exemplo da “Análise da variabilidade de agregados miúdos reciclados pela usina de Socorro (SP)”, de Miranda, Aguiar e Selmo (2002) e “Agregados miúdos para argamassas e revestimentos”, de Selmo (1988).

Dos agregados miúdos, a areia é ímpar, pois se vincula ao lazer, a diversos segmentos da indústria, à “cesta básica” da construção civil, dentre outras atividades.

Leinz e Leonard (1977) definem areia como um sedimento clástico não consolidado, composto essencialmente de grãos de tamanho que variam entre 0,2 e 2 mm. Os grãos são freqüentemente de quartzo, mas podem ser também de outros minerais.

Outras substâncias que eventualmente podem ocorrer na constituição da areia são: óxidos de ferro (magnetita e hematita), micas, feldspato, ilmenita, monazita etc.

A areia pode ainda ser categorizada de acordo com o formato dos grãos, que variam entre redondo, angular ou subangular. Estas formas dos grãos de areia decorrem inevitavelmente de três coisas: da distância percorrida pelo grão até sua efetiva deposição, a maneira mais ou menos violenta do seu transporte e a origem do material (HERRMANN, 1990).

No que diz respeito aos métodos de extração, a areia é obtida através da exploração de areeiros em terra e em mares e rios e ainda através da reciclagem de resíduos industriais e de centrais térmicas (SINDING-LARSEN *et al.*, 2006).

Nesse sentido, a exploração de areeiros e seus impactos, objetos de estudo deste trabalho, são descritos no item a seguir.

## ***2.2. Mineração de areia e seus impactos***

A mineração produz insumos imprescindíveis à sobrevivência do ser humano já que estes fazem parte de nosso cotidiano em praticamente todas as atividades. A produção de bens minerais como matéria-prima é fundamental em qualquer parte do mundo (MARCONDES FILHO *et al.*, 2007).

Segundo Herrmann (1990), a geração de riquezas e o bem estar através do emprego dos bens minerais, quer diretamente “*in natura*” na indústria da construção civil, quer através da sua transformação pelos diversos setores da indústria, é indiscutivelmente o principal impacto positivo do setor mineral.

Lelles *et al.* (2005), corroborou identificando treze impactos ambientais positivos advindos da mineração, como o desenvolvimento regional, geração de empregos e aumento das receitas dos governos.

Entretanto, embora as atividades de extração mineral sejam de grande importância para o desenvolvimento social, são também responsáveis por impactos ambientais negativos muitas vezes irreversíveis (BRANDT, 1998).

Segundo Silva (1988), a atividade minerária é uma das maiores modificadoras da superfície terrestre, afetando o local de mineração e seu redor, provocando impactos sobre a água, o ar, o solo, o subsolo e a paisagem como um todo, os quais são sentidos por toda população.

Das atividades minerárias, a mineração da areia em leito de rios é de suma importância. De acordo com dados do Sumário Mineral de 2009, publicado pelo DNPM (2011), a mineração de areia em leito de rios é responsável por 90% da produção mineral de areia brasileira.

Contudo, Bauermeister e Macedo (1994) consideram a atividade extrativista de areia uma grande causadora de problemas ambientais e onde se concentram as mais graves transformações da paisagem.

O IPT (1987) identificou os seguintes impactos modificadores da evolução natural da superfície: erosão; assoreamento; instabilidade de taludes, encostas e terrenos em geral; mobilização de terra; e modificação dos regimes hídricos, principalmente das águas subterrâneas.

Este fato se deve, sobretudo, aos locais onde ocorre a extração de areia. Segundo dados do DNPM (2011), no Estado de São Paulo 45,0% da areia extraída é proveniente de várzeas, 35,0% de leitos de rios e o restante de outras fontes.

Como grande parte da mineração de areia ocorre em várzeas, locais onde houve a deposição de material sedimentar erodido ao longo das eras geológicas, a paisagem coincide muitas vezes com as matas ciliares, consideradas áreas de preservação permanente (APPs) (ANNIBELLI; SOUZA FILHO, 2007).

Ainda de acordo com Annibelli e Souza Filho (2007), a mineração de areia pode também provocar:

O afugento de animais, a poluição das águas e dos solos devido ao uso inadequado de combustíveis fósseis, a prática de queimadas que visam acabar com a cobertura vegetal, a alteração dos cursos dos rios, bem como de sua profundidade, alterando a velocidade de escoamento dessas águas e a perda de identidade entre as pessoas e o lugar, ou seja, da diminuição da tofília, em decorrência da mineração da areia, afastando-as, principalmente da beira dos rios e das matas-ciliares adjacentes.

Outro fator crítico da extração de areia é o transporte do material até o local onde será distribuído ou usado. Em São Paulo a areia natural, em sua grande maioria viaja distâncias superiores a 100 km, elevando o custo para valores em torno de R\$25/m<sup>3</sup> e implicando em enormes consumos de energia e geração de poluição (JOHN, 2011).

Nesse sentido, uma das formas de mitigar os impactos causados pela extração de areia é através de investigação do sistema de exploração do agregado. Diversos estudos têm sido realizados para melhor compreensão dos riscos ambientais decorrentes das diversas fases de vida da areia.

Alguns desses estudos podem ser exemplificados por Hoffman (2009), que realizou um diagnóstico ambiental em um porto de areia no município de Santa Terezinha de Itaipu-PR, Melo e Carvalho (2009), que abordaram os principais impactos gerados pela atividade mineradora do Porto de Areia Estrela, que está localizado no distrito de Uvaia, no município de Ponta Grossa-PR, Oliveira e Mello (2007), que avaliaram a interferência da atividade de mineração na dinâmica fluvial do rio São João-RJ, Lelles *et al.* (2005), que avaliaram qualitativamente os impactos ambientais decorrentes da atividade mineradora e Annibelli e Souza Filho (2007), que analisaram os impactos sócio-econômico e ambientais decorrentes da atividade de mineração de areia ao longo do Rio Tibagi, dentro do Município de Ponta Grossa-PR.

Tal conhecimento subsidia-se em aspectos legais e normativos, a fim de verificar o cumprimento de leis, resoluções, portarias e regulamentações estabelecidas por órgãos ambientais competentes. Neste contexto, a mineração de areia e a legislação aplicável, são abordadas com maior detalhamento no próximo tópico.

### ***2.3. Mineração de areia e suas implicações legais***

A mineração, bem como os impactos dela decorrentes, é norteada por instrumentos normativos e legais que objetivam disciplinar a atividade.

Em nível federal, os órgãos que têm a responsabilidade de definir as diretrizes e regulamentações, bem como atuar na concessão, fiscalização e cumprimento da legislação mineral e ambiental para o aproveitamento dos recursos minerais são os seguintes (PORMIN, 2012b):

- Ministério de Minas e Energia (MME);
- Ministério do Meio Ambiente (MMA);
- Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM;
- Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM;
- Serviço Geológico do Brasil – CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais);
- Agência Nacional das Águas (ANA);
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA);
- Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH);
- Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA);
- Centro de Estudos de Cavernas - CECAV (IBAMA);

Cada órgão tem competências específicas, que vinculam-se, de forma sintética, aos seguintes aspectos da legislação:

- *Constituição Federal de 05 de outubro de 1988*: Art. 20, inciso IX; Art. 21, incisos XV, XXV; Art. 22, incisos XII, XVIII; Art. 23, inciso XI; Art. 24, inciso VI; Art. 26, inciso I; Art. 48, inciso V; Art.49, inciso XVI; Art. 91; Art. 153; Art. 155; Art. 170; Art. 174; Art. 176; Art. 177; Art. 225 e Art. 231 (PORMIN, 2012b).

No que concerne aos Decretos Lei, um dos mais importantes refere-se ao Decreto Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, que regulamenta o Código de Mineração com sete capítulos que se referem à pesquisa mineral; lavra; servidões; sanções e nulidades; e fechamento de áreas de garimpagem, faiscação e cata.

É importante ressaltar, que o legislador, já em 1967, demonstrava preocupação com os recursos naturais ao dispor, no Código de Mineração, em seu Art. 47, a necessidade de se: “X – evitar o extravio das águas e drenar as que possam ocasionar danos e prejuízos aos vizinhos; XI - evitar poluição do ar ou da água, que possa resultar dos trabalhos de mineração; e, XII - proteger e conservar as fontes, bem como utilizar as águas segundo os preceitos técnicos, quando se tratar de lavra de jazida da Classe VIII” (ANNIBELLI; SOUZA FILHO, 2007).

Outros Decretos em vigor relacionados de forma mais direta à mineração, em lista elaborada pelo DNPM (2012) são discriminados a seguir:

- *Decreto Nº 6270, de 22/11/2007, DOU de 23/11/2007;*
- *Decreto de 19/04/2007, DOU de 20/04/2007;*
- *Decreto Nº 5616, de 13/12/2005, DOU de 14/12/2005;*
- *Decreto de 17/09/2004, DOU de 20/09/2004;*
- *Decreto de 08/07/2002, DOU de 09/07/2002;*
- *Decreto Nº 3866, de 16/07/2001, DOU de 17/07/2001;*
- *Decreto Nº 3358, de 02/02/2000, DOU de 03/02/2000;*
- *Decreto Nº 2350, de 15/10/1997, DOU de 15/10/1997;*
- *Decreto Nº 98830, de 15/01/1990, DOU de 16/01/1990;*
- *Decreto Nº 98812, de 09/01/1990, DOU de 09/01/1990;*
- *Decreto Nº 97632, de 10/04/1989, DOU de 10/04/1989;*
- *Decreto Nº 97507, de 13/02/1989, DOU de 14/02/1989;*
- *Decreto Nº 95002, de 05/10/1987, DOU de 06/10/1987;*
- *Decreto Nº 85064, de 26/08/1980, DOU de 27/08/1980;*

- *Decreto Nº 69885, de 31/12/1971, DOU de 31/12/1971.*

Além dos decretos supracitados, há os instrumentos normativos e legais relacionados às áreas de preservação permanente (APP), dada a existência de material mineral nas proximidades das matas ciliares.

Segundo Annibelli e Souza Filho (2009), o Código Florestal, Lei nº 4.771/65, instituiu as áreas de preservação permanente em seus artigos 2º e 3º, e o CONAMA, pela Resolução nº 303/02, dispôs definições e as regulamentou.

Dentre as funções ambientais da APP, a Resolução CONAMA nº 303/02 cita nas considerações preliminares: “preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas”.

Dado seu caráter ímpar, foram estabelecidas as larguras mínimas, em projeção horizontal, das áreas de mata ciliar que devem ser conservadas. Assim, para o exercício de atividade de mineração nas áreas de vegetação ripária é necessária comprovação de interesse social, utilidade pública ou baixo impacto ambiental, conforme Resolução CONAMA nº 369 de 28 de março de 2006.

De forma específica, a extração de areia fica autorizada a suprimir a vegetação de APP por tratar-se de obra de interesse social e de utilidade pública. Apesar de seu caráter excepcional, a supressão da vegetação para o exercício da atividade de mineração de areia fica condicionada a autorização de órgão ambiental competente, mediante “Art. 3, incisos I - inexistência de alternativa técnica e locacional da obra; II - atendimento às condições aplicáveis aos corpos de água; III - averbação da área de Reserva Legal, e IV - inexistência de risco de agravamento de processos como enchentes, erosão ou movimentos acidentais de massa rochosa”. Novamente, vê-se a importância da preservação ambiental frente à mineração.

Já a Portaria nº 222, de 20 de junho de 2008 instituiu o Plano Nacional de Agregados Minerais Para a Construção Civil (PNACC), que busca compatibilizar sustentabilidade ambiental, boas condições de saúde e segurança no trabalho, qualidade de vida da população e desenvolvimento sócio-econômico do País.

Mais recentemente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, prevê em seu Art. 20, parágrafo III, que as empresas de construção civil (e que comumente comercializam produtos oriundos de mineração) estão sujeitas à elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos.

Um dos principais objetivos da PNRS trata-se da não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final ambiental adequada dos rejeitos.

Como os resíduos de mineração podem ser categorizados como resíduos não perigosos, em seu Art. 47, a PNRS prevê a permissividade do lançamento *in natura* a céu aberto dos resíduos sólidos de atividades mineradoras. Já em seu § 2º, a PNRS não considera as bacias de decantação de resíduos ou rejeitos da mineração, como corpos hídricos, desde que devidamente licenciadas e asseguradas à devida impermeabilização.

A referida Lei dispõe ainda outros regulamentos acerca dos Planos Estaduais de Resíduos Sólidos e dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, ambos vinculados a especificidades microrregionais, urbanas ou rurais voltadas para a gestão de resíduos sólidos.

Tais Planos, que podem priorizar o acesso de prefeituras e estados aos recursos financeiros da União, devem contemplar a gestão dos resíduos da construção civil e peculiaridade microrregionais, a exemplo de mineradoras e atividades correlatas.

Além dos Planos Estaduais e Municipais, existe uma série de instrumentos de gestão pública capazes de promover o desenvolvimento sustentável da mineração em pequena escala, a saber: Zoneamento Econômico-Ecológico, Plano Diretor Municipal, Plano Diretor de Mineração, Licenciamento Ambiental, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), Relatório de Controle Ambiental e Plano de Controle Ambiental (RCA/PCA), Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD), Legislações municipais e estaduais, Monitoramento e Fiscalização (BARRETO, 2000).

No Estado de São Paulo, compete à CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) a expedição de licença prévia (LP), de instalação (LI) e operação (LO), a aprovação de EIA/RIMA, RCA/PCA e PRAD, dentre outros documentos correlatos, como a expedição do Termo de Compromisso de Recuperação Ambiental (TCRA), firmado quando há supressão da vegetação e subsequente compensação ambiental. No que concerne à fiscalização e monitoramento, a CETESB recebe apoio do Policiamento Ambiental, fundamental para o efetivo cumprimento da legislação vigente.

Ainda em nível estadual, uma normativa interessante relativa à extração de areia trata-se da Resolução SMA nº 28, de 22 de setembro de 1999, que dispõe sobre o zoneamento ambiental para mineração de areia no subtrecho da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, inserido nos municípios de Jacareí, São José dos Campos, Caçapava, Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba.

Mesmo em nível municipal, é importante que as atividades minerárias sejam fiscalizadas e estejam em consonância com a causa ambiental. Estima-se que a Mineração em Pequena Escala (MPE) extraia de 15 a 20% da produção mundial de minerais não combustíveis e que em países em desenvolvimento esse percentual fique entre 90% a 100% das pedras preciosas produzidas, de 80% a 100% de diamantes (não incluídos os grandes produtores) e, no caso do ouro de 50% a 100%. Calcula-se, ainda, que mais de 13 milhões de pessoas trabalham na MPE e que 80 a 100 milhões de pessoas dependem da mesma para subsistência (OIT, 1999).

Dada tamanha expressividade, a Lei Orgânica do Município de Itapema – SC determina no “inciso V, § 3º - Aquele que explorar recursos minerais ou florestais, inclusive extração de areia, mineral, ou barro, cascalho ou pedreira, fica obrigado a recuperar ambiente degradado de acordo com solução técnica exigida pelo órgão competente, na forma da Lei”.

Já a Lei Orgânica do Município de São José dos Campos - SP, face impactos ambientais decorrentes das atividades de mineração de areia no rio Paraíba do Sul, determina *in verbis*:

“Art. 259 - As áreas de várzea dos rios Paraíba do Sul e Jaguari deverão ser protegidas como patrimônio ambiental e paisagístico destinados às atividades agrícola, pecuária, minerária, de lazer e recreação, estas duas últimas apenas no caso de planos de recuperação das áreas mineradas.

§ 1º . As atividades minerárias somente poderão ser exercidas nas áreas definidas no zoneamento regional ambiental minerário elaborado pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo, obedecidas as legislações municipal, estadual e federal, ficando vedada esta atividade na área denominada “Concha do Banhado” a ser melhor delimitada por lei ordinária.”

Visando uma extração com amparo legal e ambientalmente conduzida, faz-se necessário que a mineração de areia, ainda que em pequena escala, incremente seus processos de extração. A partir do desenvolvimento de novas tecnologias e instrumentos, a atividade minerária pode obter maior sustentabilidade na lavra do agregado, cujo sistema de produção foi detalhado a seguir.

#### ***2.4. Ciclo de vida da areia***

De acordo com Santos e Stevaux (2010), os depósitos de areia são resultados da concentração de grãos de quartzo pelos agentes naturais de intemperismo, transporte e deposição a partir de rochas preexistentes, gerando acumulações com maior ou menor concentração de areia em diferentes graus de facilidade nas técnicas de extração e recuperação ambiental.

A extração de areia pode estar presente em quatro diferentes depósitos minerais: a) Sedimentos inconsolidados quaternários; b) Planícies fluviais; c) Rochas sedimentares cenozóicas e d) Manto de alteração de rochas pré-cambrianas (SANTOS; STEVAUX, 2010).

Dependendo do tipo de depósito, há dois métodos de lavra que podem ser usados: dragagem e desmonte hidráulico. O primeiro é utilizado quando a extração de areia ocorre em leito de rio ou cava submersa, enquanto que o segundo é utilizado em cava seca.

A relação do método de lavra com o tipo de depósito mineral pode ser visualizado no Quadro 1.

**Quadro 1– Métodos de lavra de areia e tipos de depósitos minerais**

Método de lavra	Depósitos Minerais	Situação
<b>Dragagem</b>	Sedimentos inconsolidados quaternários	Leito de rio e cava submersa
<b>Desmonte Hidráulico</b>	Planícies fluviais e sedimentos inconsolidados quaternários; Rochas sedimentares cenozóicas; Manto de alteração de rochas pré-cambrianas	Cava Seca

Fonte: Adaptado de Cuchierato (2000)

No método de extração de areia em leito de rio, esta é extraída diretamente do leito, através de dragas com bombas de sucção instaladas sobre barcaças ou flutuadores. A draga bombeia a areia e outros sedimentos que estão depositados no fundo do rio, utilizando a água como veículo (SANTOS, 2008)

A mistura de areia e água bombeada, denominada polpa, contém normalmente uma proporção de 60% de água e 40% de areia (IPT, 1980).

A areia bombeada fica depositada na draga, enquanto que a água retorna ao rio juntamente com sedimentos finos. O volume de água bombeado pela draga é praticamente todo devolvido ao rio, com exceção de uma pequena parcela que fica agregada à areia (SANTOS, 2008).

A areia depositada na draga é transportada através de tubulações na forma de polpa até as peneiras dos silos. Em seguida, ocorre o beneficiamento do material lavrado.

No método de cava submersa, a extração de areia se dá na planície aluvial pela exploração de cavas. Na medida em que a base e as paredes laterais da cava são extraídas, a profundidade aumenta. Tal processo é realizado mecanicamente até atingir o lençol freático, momento em que a água subterrânea aflora.

Já com a cava preenchida por água, a extração é realizada por uma draga instalada sobre um barco e equipada com bombas centrífugas. Tubos acoplados às bombas servem como condutores da água necessária à escavação e como meio de transporte da polpa até os silos, para seu posterior beneficiamento (FRAZÃO, 2002).

Já no método de cava seca, a extração de areia é realizada através de desmorte hidráulico, com a mina evoluindo para o formato de uma cava ou talude irregular. O desmorte hidráulico consiste em utilizar força hidráulica (comumente água), na forma de lavagem sob alta pressão para desagregar o minério.

Para otimizar o desmorte hidráulico, existe uma etapa prévia que compreende o decapeamento, que geralmente é feito com tratores de esteiras e pás-carregadeiras, dependendo do grau de compactação do capeamento (FRAZÃO, 2002).

Ainda segundo Frazão (2002), depois do decapeamento usam-se jatos d'água de alta pressão (jateamento). Estes jatos incidem na base dos taludes da cava provocando desmoronamento dos sedimentos ou rochas alteradas.

Em alguns casos há a necessidade de um segundo jateamento, para fragmentar ainda mais os sedimentos. Em seguida, o material lavrado segue na forma de polpa até o beneficiamento.

O beneficiamento, independente do método de extração, pode ser dividido em lavagem, peneiramento, classificação e secagem. A lavagem é uma etapa presente nas cavas submersas e cavas secas. Na extração em leito de rio, o material lavrado é conduzido diretamente para a peneira dos silos.

Em seguida, o material é peneirado em grelhas ou peneiras estáticas, havendo a retirada do material mais grosso.

O material passante é separado por classes granulométricas, em caixas de classificação e armazenamento. As primeiras recebem o material mais grosso, e, assim, sucessivamente, as caixas vão sendo preenchidas até restar a fração sobrenadante que é encaminhada para a bacia de decantação (FRAZÃO, 2002).

No que diz respeito à classificação, segundo IPT (1980), comercialmente as areias para construção civil recebem designação segundo o grau de beneficiamento a que são submetidas:

- a) Areia bruta – não beneficiada;
- b) Areia lavada – lavagem simples para limpeza de partículas finas e substâncias indesejáveis e;
- c) Areia graduada – areia que obedece a uma classificação granulométrica previamente estabelecida (Quadro 2).

**Quadro 2– Termos granulométricos de areia encontrados no mercado**

<b>Denominação</b>	<b>Tamanho</b>
<b>Areia grossa</b>	2,00 mm a 1,20 mm
<b>Areia média</b>	1,20 mm a 0,42 mm
<b>Areia fina</b>	0,42 mm a 0,74 mm

Fonte: Adaptado de IPT (2005)

Depois de seca, a areia é encaminhada à expedição, que pode ser diretamente nos silos, estocando em montes. Já os rejeitos (materiais silto-argilosos) são armazenados em bacias de decantação ou de contenção de rejeitos (FRAZÃO, 2002).

Após o transporte, a areia é destinada ao local em que será usada e misturada a outros materiais, tendo diversos usos.

Em consonância com Herrmann (1990), a areia, pela sua utilidade, pelo seu preço relativamente baixo e pela sua grande abundância é a matéria-prima de maior consumo mundial. Embora largamente utilizada na indústria de construção civil, também é bastante consumida, como fonte de sílica, por inúmeros outros setores industriais.

Segundo PORMIN (2012a), dependendo da granulometria e grau de pureza, as areias têm empregos específicos. Aquelas de baixo teor de ferro são usadas na fabricação de vidros e na indústria cerâmica e refratária. As areias com alta concentração de sílica se usam na siderurgia, para confecção de ligas ferro-silício. As areias mais grosseiras e com maior impureza se utilizam na construção civil e as mais finas como abrasivos.

Além destes setores, as areias são utilizadas na indústria de fundição; de cimento; química, de fabricação de ácidos e de fertilizantes; no fraturamento hidráulico para recuperação secundária de petróleo e gás; como carga e extensores em tintas e plásticos etc.; e também em aplicações não industriais como horticultura e locais de lazer (DAVIS; TEPORDEI, 1985).

Na indústria da construção civil, a areia pode ser usada no concreto, por exemplo, cuja constituição básica é a mistura de agregados graúdos, agregados miúdos, água, cimento e aditivos.

Tal mistura pode ocorrer de forma mecanizada, através de uma betoneira simples ou através de um caminhão betoneira (Figura 1), comumente sob o comando de uma concreteira. Ou ainda, a mistura pode ocorrer de forma manual, em escalas menores, diretamente no local onde o concreto será empregado.

Figura 1 – Caminhão betoneira sendo carregado sob um silo de cimento em uma concreteira



Fonte: Fotografada pela autora (2012)

A areia também é importante na elaboração do vidro, pois constitui 60 a 80% do seu peso (HERRMANN, 1990). Além disso, a indústria do vidro utiliza a areia como fonte de Sílica ( $\text{SiO}_2$ ), agente vitrificante, passível de se transformar em vidro. Como a sílica necessita de temperaturas extremamente altas para se fundir, adicionam-se aos grãos de areia matérias-primas fundentes, cuja principal é a barrilha (AKERMAN, 2000).

Outro segmento que utiliza areia em seus processos é a fundição. O método de moldagem mais utilizado em todo mundo para a produção de peças fundidas é a moldagem em areia; Estima-se que mais de 80% das peças fundidas utilizam moldes feitos de areia aglomerada, sendo as com argila, em geral, as mais empregadas para confeccionar os moldes (ARMANGE, 2005).

Já o fraturamento hidráulico de rochas-reservatório é uma técnica utilizada para aumentar a produtividade e recuperar poços que reservam petróleo. Para tanto, a rocha sofre uma fratura, que propaga-se através da formação rochosa pelo bombeio de um certo volume de fluido (SANTANNA, 2003).

Como essa fratura tende a se fechar, é bombeado um agente de sustentação junto com o fluido de fraturamento. Um agente bastante utilizado é a areia, que cria um caminho preferencial para o fluxo de fluidos do reservatório para o poço (SANTANNA, 2003).

Ao longo de todos os usos e etapas de extração supracitados, ocorrem diversos impactos ambientais de cunho negativo que poderiam ser minimizados ou até mesmo anulados com o uso de ferramentas de gestão ambiental. Tais ferramentas discernem alternativas mais sustentáveis servindo de auxílio na tomada de decisão por parte dos gestores públicos ou privados.

## ***2.5. Ferramentas de gestão ambiental***

Segundo Faria *et al.* (2009), a Gestão Ambiental é um sistema organizacional que inclui atividades de planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e manter uma política ambiental para a conquista da qualidade ambiental desejada.

Para Meyer (2000), a gestão ambiental compreende:

- Manter o meio ambiente saudável (à medida do possível), para atender as necessidades humanas atuais, sem comprometer o atendimento das necessidades das gerações futuras;
- Atuar sobre as modificações causadas no meio ambiente pelo uso e/ou descarte dos bens e detritos gerados pelas atividades humanas, a partir de um plano de ação viáveis técnica economicamente, com prioridades perfeitamente definidas;
- Criar instrumentos de monitoramentos, controles, taxações, imposições, subsídios, divulgação, obras e ações mitigadoras, além de treinamento e conscientização;
- Diagnosticar (cenários) ambientais da área de atuação, a partir de estudos e pesquisas dirigidos em busca de soluções para os problemas que forem detectados.

No que refere aos instrumentos, as ferramentas de gestão ambiental são meritórias, pois, além de auxiliar a tomada de decisão a partir das informações que geram, favorecem a melhoria contínua dos processos e conseqüentemente dos resultados.

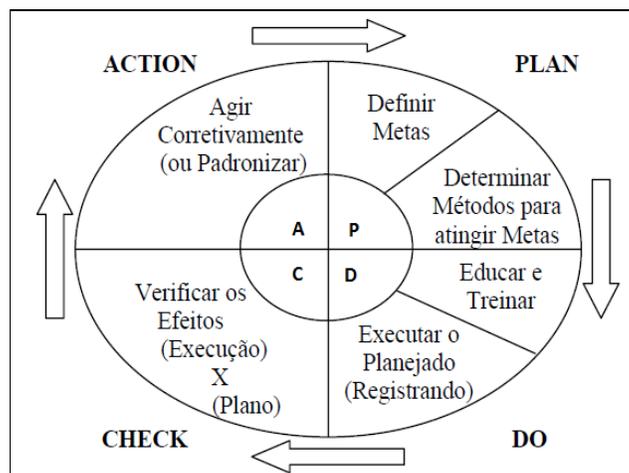
Uma dessas ferramentas diz respeito ao ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), que foi originalmente desenvolvido na década de trinta, nos laboratórios da Bell Laboratories – EUA, pelo estatístico americano Walter A. Shewhart (SOUZA, 2007).

Contudo, de acordo com Andrade e Melhado (2004), este método somente foi popularizado na década de cinquenta, pelo especialista de qualidade, W. Edwards Deming, idealizado como seu maior divulgador, ficando mundialmente conhecido por aplicar este método nos conceitos de qualidade em trabalhos desenvolvidos no Japão.

O método em questão fundamenta-se em conceitos da administração clássica, descritos por autores como Taylor e Fayol, os quais devem ser implementados, segundo Deming (1990), de forma seqüencial – no caso por meio de módulos – iniciando-se pela estruturação do processo, tornando-o mensurável e repetitivo (ANDRADE; MELHADO, 2004).

Tais módulos dão origem à sigla inglesa PDCA, letras que significam “planejar”, “executar”, “verificar” e “agir”. Estes módulos (Figura 2) fazem parte das etapas básicas elaboradas originalmente por Shewart, sendo aprimorados posteriormente por Deming.

Figura 2– Modelo PDCA de gerenciamento de processos



Fonte: CAMPOS (1992)

Os módulos formam um ciclo ininterrupto de mudança. Segundo Slack, Chambers e Johnton (1996), a natureza repetida e cíclica do melhoramento contínuo pode ser resumida no ciclo PDCA, definido como uma seqüência de atividades que são percorridas de maneira cíclica para melhorar atividades.

Para Mata-lima (2007), a aplicação do Ciclo PDCA pressupõe a utilização de diversas ferramentas, tais como:

- Ferramentas para identificação da causa de raiz dos problemas:
  - I. BrainStorming ou Tempestade de Idéias;
  - II. Diagrama de Ishikawa (também conhecido por Diagrama de Causa-Efeito);
  - III. A Árvore dos Porquês (ou técnica de *why-why*);
  - IV. Diagrama de Pareto; entre outras.
- Ferramentas para a resolução de problemas
  - I. Procedimentos de Correção;
  - II. Procedimentos de Prevenção;

Estas últimas foram estratégias que propiciaram grandes melhorias na qualidade ambiental, contudo, após tais benefícios, alguns países verificaram que estas ferramentas foram insuficientes para se alcançar uma produção sustentável.

Tal insuficiência de deu, sobretudo, a translação de poluentes entre compartimentos ambientais, entre tipos de impactos e entre etapas da cadeia produtiva. Verificou-se também que os

benefícios injetados na produção eram apenas locais, que não havia contabilização de pequenos processos e que não havia a avaliação do produto fora de seu local de produção.

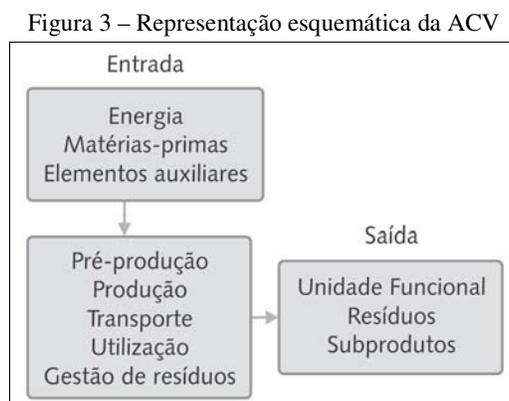
Dada a limitação dessas ferramentas, surgiu a necessidade de um instrumento que possibilitasse uma avaliação mais abrangente, que extrapolasse os muros do processo de manufatura dos produtos.

Até então, as ferramentas gerenciais tinham foco na qualidade e no processo e não no meio ambiente e no produto. Com isso, surgiu o conceito de ciclo de vida, que avalia a seqüência de processos desde sua extração no meio ambiente até seu retorno a ele. O foco sobre o produto permitiu pensar em maneiras de manufaturar que não impactem ou impactem menos o meio natural.

### 2.5.1. Avaliação do ciclo de vida da areia

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) consiste em balanços materiais e energéticos, desde a extração da matéria-prima até sua destinação final, com o intuito de se conhecer melhor o produto e sua influência sobre o meio ambiente (VALT, 2004).

Segundo Soares, Souza e Pereira (2006), a ACV estabelece inventários tão completos quanto possível do fluxo de matéria (e energia) para cada sistema analisado e permite a comparação desses balanços entre si, sob a forma de impactos ambientais (Figura 3):



Fonte: Soares, Souza e Pereira (2006)

A ACV avalia os efeitos de um produto sobre o meio natural, possibilitando a análise e escolha de alternativas, sob uma perspectiva ambiental, a partir de um inventário de entradas e saídas (matérias-primas e energia, produto, subprodutos e resíduos) do sistema considerado.

O termo ACV, ou em inglês, *Life Cycle Assessment* (LCA) foi utilizado primeiramente nos Estados Unidos da América (EUA) em 1990. A designação histórica para estes estudos de ciclo de vida ambiental, utilizados nos EUA desde 1970, era *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA) (HUNT; FRANKLIN, 1996).

Um dos primeiros estudos mensurando o consumo de recursos e a geração de resíduos foi voltado para diferentes embalagens de bebidas, sendo elaborado pelo *Midwest Research Institute* (MRI) para a Companhia Coca Cola em 1969.

Um dos resultados interessantes foi demonstrar que as garrafas de plástico não eram piores, do ponto de vista ambiental, do que as de vidro. Anteriormente, os plásticos tinham a reputação de um produto indesejável em termos ambientais, tendo o estudo REPA demonstrado, que esta reputação era baseada em más interpretações (HUNT; FRANKLIN, 1996).

No final de 1972 o MRI iniciou um estudo nas embalagens de cervejas e sucos, encomendado pela *U.S. Environmental Protection Agency* (USEPA), o qual marcou o início do desenvolvimento da ACV como se conhece hoje (GUINÉE, 1995).

Segundo Hunt e Franklin (1996), a intenção da USEPA era examinar as implicações ambientais da utilização de embalagens de vidro reutilizáveis em vez de latas e garrafas não reutilizáveis, porque na altura as garrafas reutilizáveis estavam a ser rapidamente substituídas por embalagens não reutilizáveis.

Tal estudo envolveu as indústrias do vidro, aço, alumínio, papel e plástico e todos os fornecedores daquelas indústrias, tendo-se caracterizado mais de 40 materiais (HUNT; FRANKLIN, 1996).

Após um longo período de baixo interesse público em ACV, em 1984 o Laboratório Federal Suíço para Teste e Investigação de Materiais (EMPA, acrônimo alemão para Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt) publicou um importante relatório com base no estudo "Balanço Ecológico de Materiais de Embalagem" (OFEFP, 1984).

Iniciado pelo governo, o estudo tinha como objetivo estabelecer uma base de dados para os materiais de embalagem mais importantes: alumínio, vidro, plásticos, papel e cartão, chapas de lata (FINK, 1997).

O estudo também introduziu um método para normalizar e agregar emissões para o ar e para a água utilizando as normas (legislação) para aquelas emissões. Tal método foi mais tarde desenvolvido e refinado por Ahbe, Braunschweig e Müller-Wenk (1991), no relatório Metodologia dos Ecobalances.

Segundo Ferreira (2004), a partir de 1990 houve um notável crescimento das atividades de ACV na Europa e nos EUA, o qual é refletido no número de *workshops* e outros fóruns que têm sido organizados principalmente pela *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC).

Ainda de acordo com Ferreira (2004), através dos seus ramos na Europa e EUA, a SETAC desempenha um papel fundamental em reunir profissionais, utilizadores e investigadores para colaborarem no melhoramento contínuo da metodologia ACV.

Em 1992 foi formada a Sociedade para a Promoção do Desenvolvimento de Ciclo de Vida (SPOLD), com a missão de juntar recursos, para acelerar o desenvolvimento da metodologia ACV como uma abordagem de gestão aceita para ajudar na tomada de decisão (HINDLE; OUDE, 1996).

Desde então, diversos estudos têm aplicado à ACV a vários produtos, como por exemplo Cybis e Santos (2000), que analisaram o ciclo de vida aplicado à indústria da construção civil; Soares e Pereira (2003), que realizaram o balanço de massa da produção de tijolos; e Pereira e Soares (2004), que inventariaram a produção de pisos cerâmicos.

De forma específica, é restrito o número de trabalhos de ACV aplicados à areia. Dois destes relevantes estudos foram desenvolvidos por: Schuurmans *et al.* (2005), que analisaram o ciclo de vida da areia fina no concreto, na Holanda; Chegatti e Soares (2008), que analisaram o inventário do ciclo de vida de areias descartadas de fundição; e Miller, Blumenschein e Tomé (2012), que analisaram o ciclo de vida da areia reciclada no Distrito Federal.

Dada tamanha limitação no número de estudos, é importante que novas pesquisas sejam realizadas na área. A ACV da areia pode identificar os benefícios e os diversos prejuízos ambientais decorrentes da utilização desse agregado, verificando os mais impactantes e auxiliando na escolha de alternativas com maior eco-eficiência pelos tomadores de decisão.

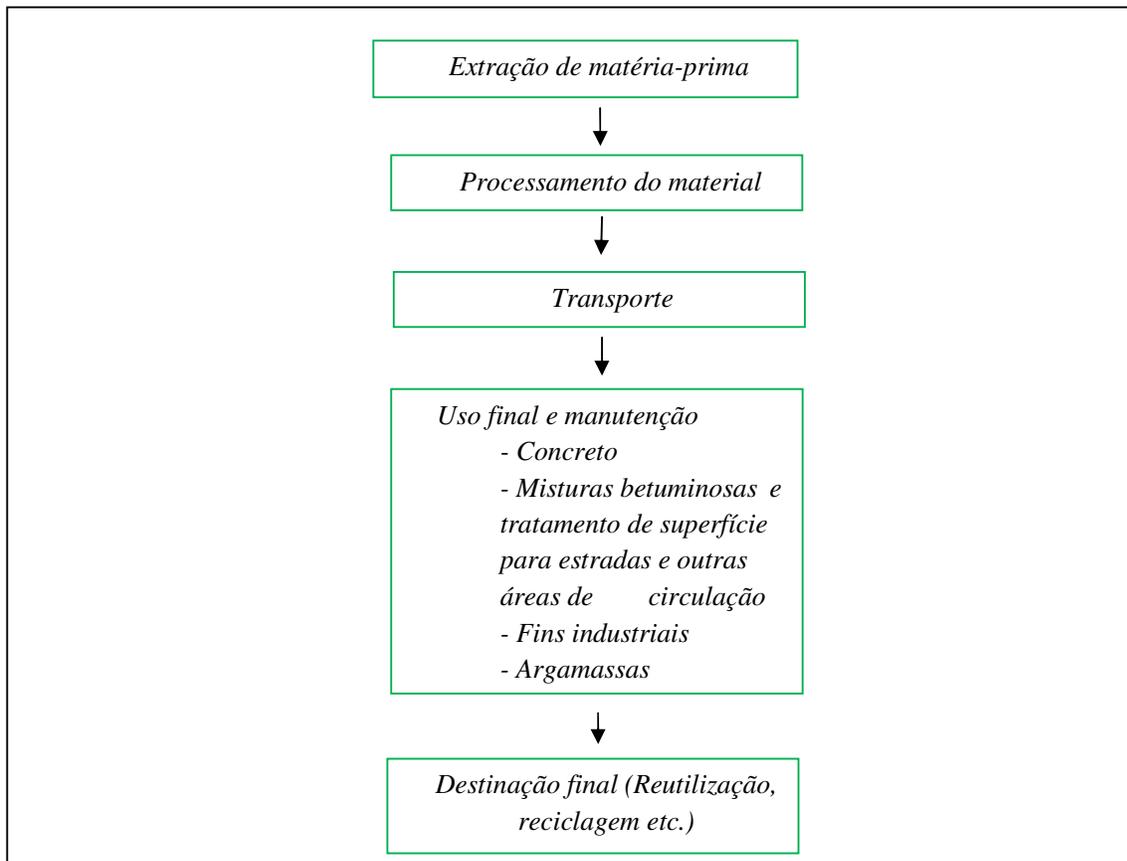
Além disso, tais estudos visam fomentar uma utilização mais sustentável da areia, com impactos positivos inclusive na construção civil, tendo em vista que esta última é responsável por entre 15 e 50% do consumo dos recursos naturais extraídos (JOHN, 2011).

Dos recursos naturais extraídos, e ainda de acordo com John (2001), o consumo de agregados naturais varia de 1 a 8 toneladas/habitante.ano. No Brasil, o consumo de agregados naturais somente na produção de concreto e argamassas é de 220 milhões de toneladas.

Devido tamanha intensidade, pequenas alterações nos estágios de extração, beneficiamento, classificação, transporte ou uso da areia podem significar grandes avanços no que diz respeito aos impactos sócio-econômicos e ambientais.

De forma geral, os estágios de ciclo de vida da produção de agregados podem ser vistos na Figura 4, em que diferentes caminhos para seu uso são destacados:

Figura 4 – Estágios do ciclo de vida dos agregados

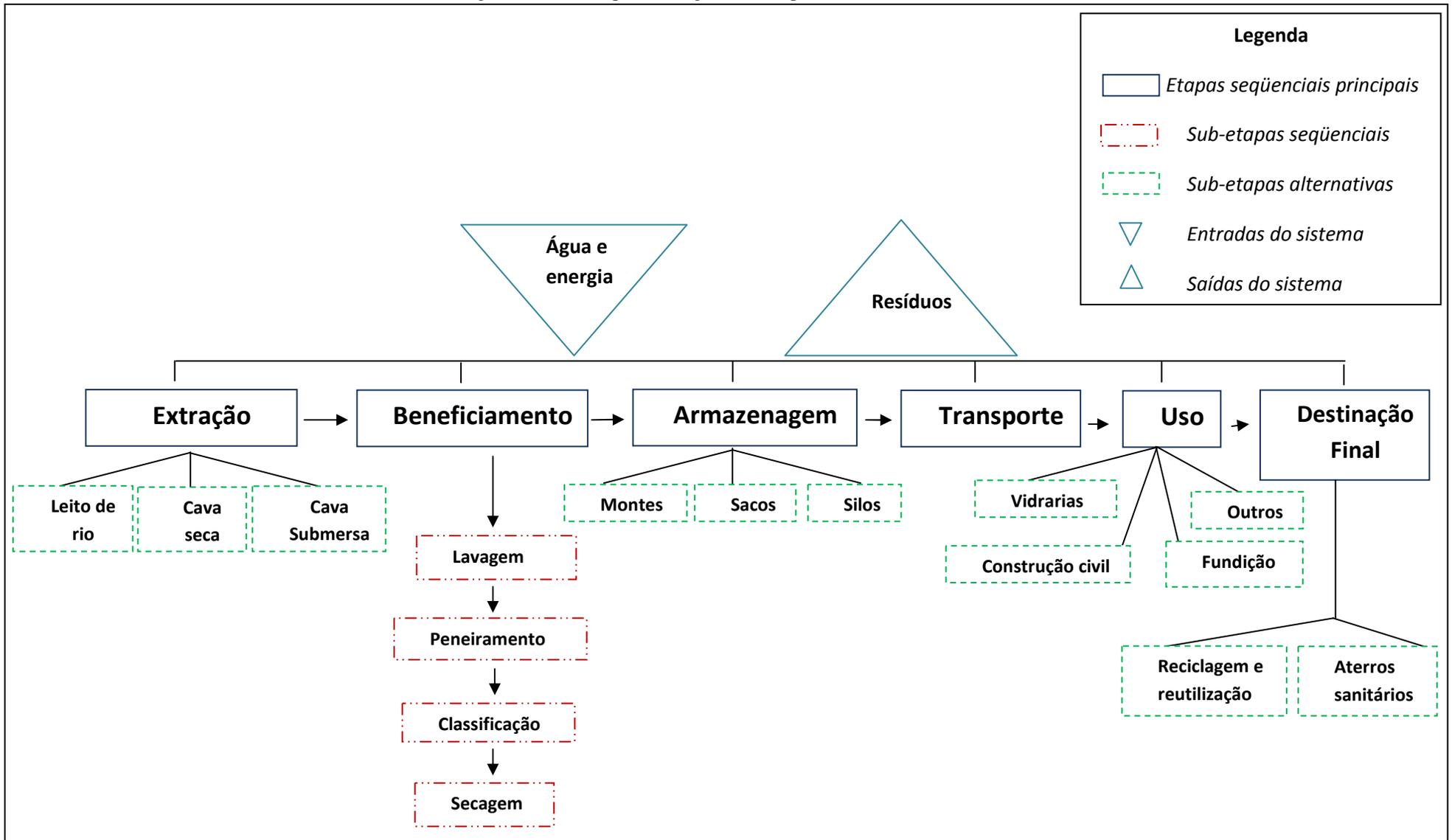


Fonte: Adaptado do Instituto Tecnológico Dinamarquês (2004)

Inerentes a esses estágios, há a entrada de energia, água e outros materiais utilizados e a saída de resíduos (líquidos, gasosos e sólidos), que comumente causam impactos ambientais. Assim, identificações e quantificações dessas entradas e saídas permitem avaliar a magnitude da interferência causada no meio natural e possíveis oportunidades de melhorias.

Complementarmente, e de forma mais específica, as etapas do ciclo de vida da areia estão representados na Figura 5:

Figura 5– Visão esquemática geral das etapas do ciclo de vida da areia



Fonte: Elaborada pela autora (2012)

As principais fases do ciclo de vida da areia, ilustrados na Figura 5, envolvem sub-etapas sequenciais, ou seja, aquelas que ocorrerem uma seguida da outra, obrigatoriamente. Já as sub-etapas alternativas são possibilidades de escolhas de processos; nos processos de extração e armazenagem, as sub-etapas são também excludentes: se uma mineradora escolhe o método de extração em leito de rio, por exemplo, provavelmente os métodos cava seca e cava submersa não serão utilizados concomitantemente.

Além disso, ocorrem sub-fases que aparecem implícitas. É o caso, por exemplo, de alguns processos da lavra (transporte da areia por tubulação, retorno da água bombeada para o rio, armazenagem que precede o beneficiamento, dentre outros) que estão agrupados numa única etapa denominada “extração de areia”. Contudo, a visão esquemática, apesar de relativamente falha e incompleta, sintetiza uma diversidade de circunstâncias, facilitando a interpretação dos processos inerentes à extração da areia.

A construção da visão esquemática é apenas uma das etapas necessárias para a Avaliação do ciclo de vida, que devem ser norteadas por metodologia específica, a exemplo das normas NBR ISO 14040 e 14044.

### **2.5.2. NBR ISO 14040 e 14044**

A Organização Internacional para a Normalização (ISO) criou em 1992 um comitê técnico (*Technical Committee (TC) 207/Subcommittee (SB) 5*) tendo em vista a normalização de um número de abordagens de gestão ambiental, incluindo ACV (TIBOR; FELDMAN, 1996).

Atualmente, estão em vigor as normas ISO 14040: 2006 e ISO 14044:2006, elaborados pelo *Technical Committee Environmental management, Subcommittee Life cycle assessment*.

No Brasil, as correspondentes nacionais das normas são a NBR ISO 14040: 2009 e a 14044: 2009, de responsabilidade da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Tais normas são uma adoção idêntica, em conteúdo técnico, estrutura e redação, às normas internacionais (ABNT, 2009a).

As NBR ISO 14040 e a NBR ISO 14044 abordam, respectivamente:

- Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura;

- **Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de vida – Requisitos e orientações.**

Para a utilização das normas deve-se observar uma seqüência de etapas pré-definidas. De acordo com a norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a), um estudo de ACV é composto por quatro fases:

- Fase de definição do objetivo e escopo: o escopo de um ACV, incluindo a fronteira do sistema e o nível de detalhamento, depende do objeto e do uso pretendido para o estudo.

De acordo com publicação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA - (2006), o primeiro passo para a aplicação desta ferramenta é a boa definição da abrangência do trabalho. Definido o quão abrangente deverá ser o estudo parte-se para a aplicação da avaliação do ciclo de vida propriamente dita.

Tal aplicação deve considerar a extração de matérias-primas, transporte, fabricação, uso e destinação final. Esta análise é composta pela interpretação de três etapas básicas: análise de inventários, análise de impactos e análise de melhorias (PNUMA, 2006).

- Fase de análise do inventário do ciclo de vida (ICV): trata-se de um inventário dos dados de entrada e saída associados ao sistema em estudo. Essa fase envolve a coleta dos dados necessários para o alcance dos objetivos do estudo em questão.

Frankl e Rubik (2000) corroboram que os inventários possibilitam a identificação de limitações ou revelam a necessidade de mais informações para a avaliação do processo de produção, podendo gerar mudanças nos procedimentos de coleta de dados, revisão dos objetivos ou escopo do estudo que está sendo realizado.

- Fase da avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV): o objetivo da AICV é prover informações adicionais para ajudar na avaliação dos resultados do ICV de um sistema de produto, visando ao melhor entendimento de sua significância ambiental.

O nível de detalhe, a escolha dos impactos avaliados e os métodos dependem do objetivo e do escopo do estudo.

Para Soares, Souza e Pereira (2006):

Os inventários apresentam uma visão detalhada dos fluxos de entrada e saída de materiais, energia e outras substâncias geradas ou utilizadas durante os processos de produção. As informações contidas no inventário são associadas a diferentes categorias de impacto, buscando-se o entendimento das conseqüências ambientais e econômicas envolvidas no processo.

Para a realização da avaliação de impactos, pressupõe-se a utilização de uma metodologia válida para a seleção de categoriais de impactos potenciais, indicadores de categoria e modelos de caracterização, primeira fase do AICV. Uma metodologia bastante reconhecida como modelo de caracterização trata-se da EDIP (Sigla em inglês que significa Desenho Ambiental de Produtos Industriais) de Wenzel, Hauschild e Alting (1997).

Tal método categoriza os seguintes potenciais de impacto ambientais: aquecimento global, depleção de ozônio troposférico, formação fotoquímica oxidante, acidificação, eutrofização, ecotoxicidade, toxicidade humana, ambiente de trabalho (neurotoxicidade, trabalho repetitivo, acidentes, dentre outros) e resíduos (volumosos, perigosos, de cinzas e escórias e radioativos).

Os potenciais impactos ambientais podem ainda ser divididos de acordo com sua escala geográfica, a saber: efeitos globais, efeitos regionais, efeitos locais e efeitos no ambiente de trabalho.

Efeitos globais e efeitos no ambiente de trabalho são relativamente bem definidos pelo nome, enquanto que regional e local não são termos muito bem definidos. “Local” pode ser definido como os impactos causados pela atividade humana com um raio de até 25 km. “Regional” pode ser definido como os impactos causados pela atividade humana fora do raio de 25 km, que não tem efeitos globais (STRANDDORF, HOFFMAN e SCHMIDT, 2003a).

Depois de selecionados as categorias de impactos, indicadores de impactos e modelos de caracterização, parte-se para a classificação, segunda fase do AICV, que correlaciona os resultados do ICV às categorias de impactos.

Em seguida, a última fase da AICV é a caracterização, que é realizada por meio da multiplicação dos resultados de saídas da ICV, pelos seus respectivos fatores de

caracterização, de acordo com o EDIP, em Wenzel, Hauschild e Alting (1997) (OMETTO, 2005).

Segundo Ometto (2005), o resultado do indicador de impacto é apresentado em termos da unidade do fator de caracterização para cada categoria de impacto. Por exemplo, para o aquecimento global, o indicador é a quantidade de dióxido de carbono equivalente (Co<sub>2</sub>eq.)

- Interpretação: nesta fase os resultados de um ICV e/ou de uma AICV, ou de ambos, são sumarizados e discutidos como base para conclusões, recomendações e tomada de decisão de acordo com a definição de objetivo e escopo.

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A estrutura metodológica desta ACV seguiu as orientações das normas NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) e NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b). A primeira aborda de maneira geral as etapas de definição do objetivo e escopo; análise de inventário do ciclo de vida (ICV); avaliação de impactos do ciclo de vida e (AICV) e interpretação. Já a NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b) detalha e descreve os procedimentos incluídos nas etapas supracitadas necessários ao estudo.

#### *3.1. Determinação do objetivo e do escopo*

Segundo a norma NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b), o objetivo e escopo de uma ACV devem ser claramente definidos e devem ser consistentes com a aplicação pretendida.

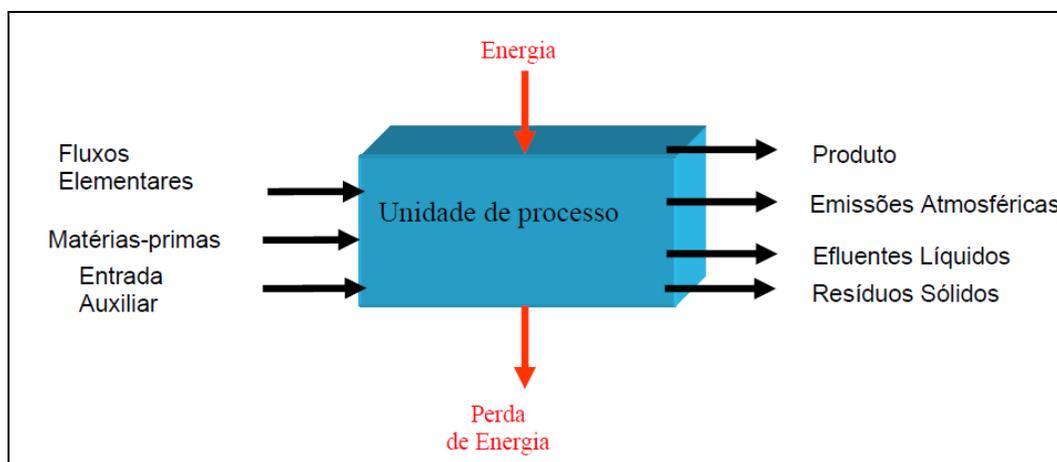
De acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a), convém que o escopo seja suficientemente bem definido para assegurar que a abrangência do trabalho, profundidade e detalhamento do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender o objetivo declarado.

Para o escopo de ACV da areia, os seguintes itens foram considerados e definidos (ABNT, 2009b):

- O sistema de produto;
- As funções do sistema de produto;
- A unidade funcional;
- Fluxo de referência;
- As fronteiras do sistema;
- Metodologia de AICV e tipos de impactos;
- Requisito dos dados;
- Pressupostos;
- Limitações;
- Tipo de revisão crítica; e
- Tipo e o formato do relatório requerido para o estudo.

Dos itens citados, a unidade de processo e os fluxos de entrada e saída são dois dos elementos mais importantes para a determinação do escopo e conseqüentemente da avaliação do ciclo de vida da areia. Na Figura 6 tais elementos estão representados inter-relacionando-se.

Figura 6 – Unidade de processo e fluxos relacionados



Fonte: Ometto (2005)

Na entrada, os fluxos elementares e as matérias-primas representam os insumos vitais à produção. Segundo ABNT (2009a), as entradas auxiliares são materiais que são utilizados pelo processo elementar para elaborar o produto, mas não se constituem em parte deste.

Quanto às saídas, além do produto manufaturado, há também as emissões atmosféricas e a geração de efluentes líquidos e resíduos sólidos. Tais dejetos podem impactar negativamente o ar, o solo e água, implicando em perdas ambientais.

### ***3.2. Análise do inventário do ciclo de vida***

Após a definição de objetivo e escopo, a fase seguinte é a análise de inventário das fases do ciclo de vida da areia, que identificou e quantificou as entradas e saídas para o ambiente.

A análise de inventário processou-se através das seguintes fases: construção da árvore do processo; definição e finalização dos limites do sistema (de produto com o ambiente e de produto com outros sistemas de produto); coleta de dados; e procedimentos de cálculos (FERREIRA, 2004).

Na árvore do processo, um fluxograma das fases analisadas foi construído, hierarquizando etapas e sub-etapas envolvidas na manufatura. Já na definição dos limites e fronteiras do sistema, determinou-se quais processos fazem parte dos sistemas considerados no trabalho. Em alguns casos, um processo pode estar incluso em mais de um sistema, a exemplo do bagaço de cana-de-açúcar utilizado em usinas sucroalcooleiras: a cana, depois de processada, gera o bagaço, que pode ser descartado no meio natural (sistema ambiental) ou pode ser utilizado como fonte de energia nas caldeiras da usina (sistema econômico).

Outro aspecto refere-se ao fato de que muitos processos têm entradas oriundas de - ou saídas para - outros sistemas de produto, isto é, processos multi-sistema. Assim, o limite entre o sistema de produto estudado e outro sistema foram claramente definidos (FERREIRA, 2004).

A finalização dos limites do sistema, por sua vez, consistiu em escolher quais sistemas serão considerados no estudo, ou seja, demarcar quais são os processos mais relevantes.

Já coleta de dados ocorreu através de visitas *in loco*, entrevistas com profissionais da área, fabricantes de equipamentos e insumos e da literatura científica.

Segundo ABNT (2009b), os dados coletados, sejam eles medidos, calculados ou estimados, são utilizados para quantificar as entradas e saídas de um processo elementar.

Por fim, os procedimentos de cálculos, além de uniformizar as medidas escolhidas, atribuíram a cada processo a sua devida cota de acordo com sua magnitude, possibilitando uma melhor análise dos impactos ao longo do ciclo de vida da areia.

### ***3.3. Avaliação de impactos do ciclo de vida***

A fase de a AICV da ACV teve como objetivo estudar a significância dos impactos ambientais potenciais, utilizando os resultados do ICV (ABNT, 2009a).

A análise de impacto pôde servir também para: tornar os dados de inventário mais relevantes pelo aumento do conhecimento acerca dos potenciais impactos ambientais; e, facilitar a agregação e interpretação dos dados de inventário em formas que sejam mais manejáveis e significativas para a tomada de decisão (SETAC, 1993).

Esse processo envolve associar dados de inventário com categorias de impacto específicas e indicadores de categoria, tentando dessa forma entender tais impactos. A fase de AICV também forneceu informações para a fase de interpretação do ciclo de vida (ABNT, 2009a).

Segundo Ferreira (2004), para uma AICV, os impactos são definidos como as conseqüências causadas pelos fluxos de entrada e de saída de um sistema na saúde humana, plantas e animais, ou a disponibilidade futura dos recursos naturais.

A fase de AICV da areia incluiu os seguintes elementos obrigatórios (ABNT, 2009b):

- Seleção das categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização: devem refletir um conjunto abrangente de questões ambientais relacionados com o sistema de produto em estudo;
- Classificação: correlação dos resultados do ICV às categorias de impactos selecionadas;
- Caracterização: cálculo dos resultados dos indicadores da categoria.

Tais fases pressupõem a escolha de uma metodologia de avaliação de impactos. Dentre as metodologias disponíveis no mercado, as de uso mais difundido são a Ecoindicator 99 (Goedkoop e Spriensma, 1999), a CML (GUINÉE *et al.*, 2002), a EDIP (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997) e EPS (STEEN, 1999).

A metodologia EDIP é um método clássico de avaliação, que limita incertezas através do agrupamento de impactos. A EDIP, escolhida pela maior variedade de impactos ambientais devidamente caracterizados e calculados, já vem sendo utilizada no Brasil, a exemplo dos trabalhos de Ometto (2005), Sato (2010), Santos, Battistelle e Varum (2011) e outros ainda em andamento.

Dentre as categorias de impacto disponível na metodologia EDIP, escolheu-se aquelas relacionadas ao uso de óleo diesel como combustível, derivado do petróleo altamente poluente e necessário em todas as etapas de manufatura de areia. Assim, os impactos escolhidos para a análise foram:

- Aquecimento Global;
- Ecotoxicidade;

- Toxicidade Humana;
- Acidificação; e
- Formação de Ozônio Troposférico.

O Quadro 3 relaciona as categorias de impactos supracitadas com sua escala geográfica.

**Quadro 3– Caracterização das categorias de impactos**

Categorias de Impactos	Escala Geográfica			
	Global	Regional	Local	Ambiente de trabalho
<b>Aquecimento Global</b>	X			
<b>Acidificação</b>		X	X	
<b>Ecotoxicidade</b>		X	X	
<b>Toxicidade Humana</b>		X	X	X
<b>Formação de Ozônio Troposférico</b>		X	X	

Fonte: Adaptado de Stranddorf, Hoffman e Schmidt (2003a)

Em seguida procedeu-se com a caracterização dos impactos. Tal fase foi realizada através da seleção de indicadores de categoria, que devem ser escolhidos de modo a representam os agentes que promovem os impactos.

No caso da acidificação, por exemplo, o impacto ocorre devido à combinação de prótons ( $H^+$ ) com dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) e nitrogênio ( $NO_2$ ) presentes na atmosfera, logo se têm:

- *Categoria de impacto*: acidificação;

- *Emissões acidificantes (resultados do ICV correlacionados à categoria de impacto)*:  $SO_2$  e  $NO_2$ ;

- *Indicador de categoria*: liberação de próton ( $H^+$ ).

Depois de realizadas as devidas escolhas de categoriais de impactos e indicadores de categorias, correlacionaram-se os valores encontrados no inventário de entradas e saídas do estudo com os impactos escolhidos.

Concluída esta etapa, converteram-se os resultados para unidades comuns e agregaram-se os resultados convertidos dentro de uma mesma categoria de impacto, a partir de fatores de caracterização (ABNT, 2009b).

Além dos elementos obrigatórios supracitados, foram incluídos dois elementos opcionais passíveis de serem utilizados (ABNT, 2009b):

- Normalização: Cálculo da magnitude dos impactos a partir de informações de referência. O objetivo da normalização foi entender melhor a magnitude relativa para cada resultado a partir da conversão das diferentes unidades em uma unidade única;
- Ponderação: Processo de conversão dos resultados das categorias de impacto pela utilização de fatores numéricos baseados em escolha de valores. O objetivo da ponderação foi a comparação entre diferentes impactos decorrentes dos processos estudados, atribuindo pesos diversos para cada impacto analisado.

Além dos valores de normalização e ponderação previstos no EDIP, complementarmente foram utilizados os valores de Stranddorf, Hoffmann e Schmidt (2003a), que normalizaram os fatores de caracterização (valores de referência) de forma a serem aplicáveis à realidade do local de interesse.

É importante ressaltar que há uma certa subjetividade atribuída aos processos de normalização e ponderação. Os valores de referência podem variar sob a ótica do pesquisador ou da metodologia escolhida, não havendo, portanto, consenso no meio acadêmico. Contudo, procurou-se adotar pesos já validados em outros trabalhos, a partir dos quais se torna mais fácil a proposição de alternativas mais ecológicas para os impactos decorrentes da atividade minerária.

A seguir, caracterizam-se os impactos escolhidos para o estudo, citam-se as substâncias que contribuem para os impactos e os fatores de equivalência:

- *Aquecimento Global*

A atmosfera é aquecida por radiação solar e parte desta é refletida pela superfície da Terra. Contudo, os chamados “gases-estufa”, formam uma barreira que impede a saída da radiação, aumentando a temperatura na superfície do planeta.

Tal alteração pode ter várias conseqüências, dentre elas, a elevação do nível do mar devido o derretimento de calotas polares e geleiras e alterações no regime de chuvas e correntes de ar, provocando mudanças climáticas locais ou regionais.

Dentre os gases do efeito estufa (GEE), os mais comuns são: metano (CH<sub>4</sub>); óxido de nitrogênio (N<sub>2</sub>O); gases nitrogenados NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>); monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Estes três últimos são liberados pela queima do óleo diesel, combustível utilizado nos equipamentos da mineradora, justificando a escolha do impacto aquecimento global.

Os GEE são quantificados para horizonte de tempo de 20, 100 ou 500 anos. Quanto ao cálculo, deve-se uniformizar a unidade dos GEE em termos de CO<sub>2</sub>-equivalentes, unidade utilizada para quantificar o potencial de aquecimento global (PAG). A Tabela 1 indica alguns dos valores sugeridos pela metodologia para realizar a conversão.

**Tabela 1– Fatores de equivalência de alguns gases para a caracterização do PAG**

Substância	Fórmula química	Fatores de caracterização (g <sub>CO2 eq</sub> /g subst.)		
		20 anos	100 anos	500 anos
<b>Dióxido de carbono</b>	CO <sub>2</sub>	1	1	1
<b>Metano</b>	CH <sub>4</sub>	62	25	8
<b>Monóxido de carbono</b>	CO	2	2	2
<b>Óxido de Nitrogênio</b>	N <sub>2</sub> O	290	320	180

Fonte: Wenzel, Hauschild e Alting (1997) citado em Ometto (2005)

Depois de multiplicados os valores das substâncias pelos fatores de caracterização bastam somá-los e têm-se o valor total do indicador de categoria em Kg de CO<sub>2</sub>-equivalentes. A normalização transforma tal resultado a partir da divisão deste por um valor de referência. Já a ponderação converte os resultados dos indicadores normalizados multiplicando-os por fatores de ponderação. Os valores sugeridos pelo EDIP são expressos na Tabela 2 a seguir apresentada.

**Tabela 2 – Normalização e ponderação para aquecimento global**

Procedimento	Unidade	Valor sugerido
Normalização	ton. CO <sub>2</sub> -eq./capita/ano	8,7
Ponderação	-	1,3

Fonte: Adaptado de Stranddorf, Hoffmann e Schmidt (2003a)

Embora existam valores de normalização e ponderação específicos para determinados locais, a literatura recomenda o uso de valores globais, haja vista a escala geográfica do PAG.

- *Ecotoxicidade*

A ecotoxicidade – no contexto da ACV – abrange uma série de efeitos como a toxicidade crônica e aguda em diferentes espécies no solo e na água. O destino das substâncias químicas (biodegradabilidade, bioacumulação potencial e distribuição entre diferentes compartimentos) é também incluído na avaliação dos efeitos ecotoxicológicos (STRANDDORF; HOFFMANN; SCHMIDT, 2003b).

As substâncias que podem provocar ecotoxicidade são numerosas e dentre elas os metais, os poluentes orgânicos persistentes (POPs), os pesticidas e hidrocarbonetos de petróleo integram a lista. Este último é o constituinte básico do óleo diesel, combustível utilizado nos processos de extração de areia e passível de extravasar e contaminação de solos e água. Além dos riscos à fauna e flora, a recuperação dos compartimentos ambientais contaminados é complexa e onerosa.

Na metodologia EDIP (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997) o potencial de efeitos ecotoxicológicos são expressos em volume crítico, ou seja, o volume que um certo meio requer para absorver uma emissão específica sem resultar em efeitos adversos. O potencial ecotoxicológico é expresso relacionando-se o compartimento ao qual os organismos foram expostos às substâncias pelas seguintes unidades:

- Água, toxicidade aguda: m<sup>3</sup> água/g substância;
- Água, toxicidade crônica: m<sup>3</sup> água/g substância;
- Solo, toxicidade crônica: m<sup>3</sup> solo/g substância;

Quanto à normalização e ponderação, seguem-se os mesmos procedimentos citados no impacto aquecimento global: divide-se a unidade funcional (neste caso, m<sup>3</sup> de compartimento

ambiental por grama de substância com potencial ecotoxicológico) e em seguida, multiplica-se o valor normalizado por fatores de ponderação. Os valores de normalização e ponderação sugeridos pela metodologia encontram-se na Tabela 3.

**Tabela 3- Normalização e ponderação de ecotoxicidade**

Procedimento	Unidade	Valor sugerido
Normalização	m <sup>3</sup> água/capita/ano	Ecotoxicidade, água, aguda: $4,8 \times 10^4$
	m <sup>3</sup> água/capita/ano	Ecotoxicidade, água, crônica: $4,7 \times 10^5$
	m <sup>3</sup> solo/capita/ano	Ecotoxicidade, solo, crônica: $3,0 \times 10^4$
Ponderação	-	Ecotoxicidade, água, aguda: 2,6
	-	Ecotoxicidade, água, crônica: 2,6
	-	Ecotoxicidade, solo, crônica: 1,9

Fonte: Adaptado de Stranddorf, Hoffmann e Schmidt (2003a)

Outros dados, como uma lista com fatores de equivalência já calculados para algumas substâncias ou a metodologia para calcular novos fatores de equivalência, podem ser encontrados em Wenzel, Hauschild e Alting (1997).

#### ▪ *Toxicidade Humana*

A toxicidade aborda um grande número de diferentes efeitos na saúde humana: toxicidade aguda, irritação e corrosão, efeitos alergênicos, danos a órgãos, genotoxicidade, efeitos carcinogênicos, toxicidade ao sistema reprodutivo, efeitos teratogênicos e neurotoxicidade (STRANDDORF; HOFFMANN; SCHMIDT, 2003a).

Todos esses efeitos são representados em um único parâmetro, o fator de equivalência pra toxicidade, que representa cada um os compartimentos ambientais (ar, água e solo) os quais o homem se expõe.

Dentre as substâncias tóxicas que podem provocar toxicidade cita-se: os compostos orgânicos voláteis (COVs), os metais pesados, os poluentes orgânicos persistentes (POPs), o material particulado (PM<sub>10</sub>), os óxidos nitrogenados (NO<sub>x</sub>) e o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>).

Estes dois últimos são gases liberados pela queima de óleo diesel e podem prejudicar o sistema respiratório humano. Ademais, através do pulmão, pode ocorrer a translação desses poluentes para o sistema circulatório, prejudicando outras funções do organismo. Dentre os

hidrocarbonetos, há ainda, a liberação de hidrocarboneto aromático benzeno, composto que se torna carcinogênico em exposições crônicas.

Na metodologia EDIP (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997) o potencial de efeitos toxicológicos (assim como o potencial de efeitos ecotoxicológicos) são expressos em volume crítico, ou seja, o volume que um certo meio requer para absorver uma emissão específica sem resultar em efeitos adversos. O potencial toxicológico é expresso relacionando-se o compartimento ao qual os organismos foram expostas às substâncias pelas seguintes unidades:

- Ar: m<sup>3</sup> ar/g substância; Água: m<sup>3</sup> água/g substância; Solo: m<sup>3</sup> solo/g substância;

Quanto à normalização e ponderação, os valores utilizados encontram-se na Tabela 4.

**Tabela 4- Normalização e ponderação de toxicidade**

Procedimento	Unidade	Valor sugerido
Normalização	m <sup>3</sup> ar/capita/ano	Toxicidade humana, via ar: 9,18x10 <sup>9</sup>
	m <sup>3</sup> água/capita/ano	Toxicidade humana, via água: 5,09x10 <sup>4</sup>
	m <sup>3</sup> solo/capita/ano	Toxicidade humana, via solo: 9,18x10 <sup>9</sup>
Ponderação	-	Toxicidade humana, via ar: 1,1
	-	Toxicidade humana, via água: 2,9
	-	Toxicidade humana, via solo: 2,7

Fonte: Adaptado de Stranddorf, Hoffmann e Schmidt (2003a)

Outros dados, como uma lista com fatores de equivalência já calculados para algumas substâncias ou a metodologia para calcular novos fatores de equivalência, podem ser encontrados em Wenzel, Hauschild e Alting (1997).

#### ▪ *Acidificação*

Segundo Wenzel, Hauschild e Alting (1997), quando ácidos são emitidos na atmosfera e depositados na água e no solo, a adição do cátion de hidrogênio pode resultar em redução do pH e, conseqüentemente, em aumento da acidez, provocando a acidificação.

Uma das atividades humanas que mais causa a acidificação é o transporte, potencializado quando o combustível utilizado apresenta enxofre, como o óleo diesel. Portanto, a unidade

para tal impacto é o dióxido de enxofre equivalente ( $SO_{2eq.}$ ), que representa a quantidade do efeito de acidificação relativo ao dióxido de enxofre (OMETTO, 2005).

Outras substâncias que podem contribuir para a acidificação são: trióxido de enxofre ( $SO_3$ ), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), ácido nítrico ( $HNO_3$ ), ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), amônia ( $NH_3$ ), sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) e cloreto de hidrogênio. A unidade funcional destas substâncias deve ser convertida em  $SO_{2eq.}$

De forma a uniformizar a unidade funcional (ter mesmo fator de equivalência) dessas substâncias, usa-se um método baseado em estequiometria que é internacionalmente aceito. A conversão para uniformizar o fator de equivalência determinado por Wenzel, Hauschild e Alting (1997) é:

$$FE = \frac{n}{2 * Mw} * 64.06 = \frac{n}{Mw} * 32.03 \quad (1)$$

onde:  $Mw$  é o peso molecular da substância emitida [g/mol];

$n$  é o número de íons de hidrogênio lançado no compartimento;

64.06 g/mol é o peso molecular do  $SO_2$ ;

O potencial de acidificação (PA) pode ser estimado em  $SO_2$ -eq como:

$$PA = \sum_i EF_i * m_i \quad [SO_2 - eq.] \quad (2)$$

Onde  $EF_i$  é o fator de equivalência para a substância  $i$  e  $m_i$  é a emissão da substância  $i$ .

De forma específica, o impacto potencial de acidificação foi escolhido devido ao ácido nítrico e ácido sulfúrico. O primeiro se origina pelo monóxido de hidrogênio liberado pela queima do óleo diesel e o segundo pelo enxofre utilizado para lubricidade do combustível.

O enxofre transforma-se em dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) durante a queima do combustível. O  $SO_2$ , que fica retido na atmosfera, pode sofrer oxidação e dar origem ao trióxido de enxofre ( $SO_3$ ). Tal gás, em contato com águas pluviais e hidrogênio ( $H^+$ ), formará o ácido sulfúrico, responsável pela alteração de pH das denominadas “chuvas ácidas”.

Já o monóxido de nitrogênio (NO) pode se combinar com o oxigênio presente na atmosfera e formar o dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>). O NO<sub>2</sub> pode sofrer novas reações e dar origem ao ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>). Da mesma forma, o ácido nítrico pode se combinar com o próton (H<sup>+</sup>) presente na atmosfera, diminuir o pH da água e provocar chuva ácida, que altera composição química do solo e das águas, prejudica florestas e compromete edificações.

Os valores sugeridos pelo EDIP para a normalização e ponderação estão expressos na Tabela 5 a seguir apresentada.

**Tabela 5– Normalização e ponderação para acidificação**

<b>Procedimento</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor sugerido</b>
Normalização	Kg SO <sub>2</sub> -eq./capita/ano	124
Ponderação	-	1,3

Fonte: Adaptado de Stranddorf, Hoffmann e Schmidt (2003a)

Depois de realizadas as devidas conversões, os procedimentos de uniformização dos dados e os cálculos, obtêm-se os potenciais de impactos ambientais finais e deve-se interpretar tais resultados.

- *Formação de ozônio troposférico*

As substâncias foto-oxidantes, como o ozônio (O<sub>3</sub>) e o Peróxido Acetil Nitrato (PAN) são formadas a partir da reação de compostos orgânicos voláteis (COV) e monóxido de carbono (CO) com compostos oxigenados (OH), estes últimos presentes naturalmente na atmosfera. Segundo Wenzel, Hauschild e Alting (1997), tal reação requer, ainda, a presença de luz e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), que tem um efeito catalítico.

Os COVs, precursores da formação de ozônio, têm como principais fontes de emissão a vegetação de florestas e os processos envolvendo a produção, armazenamento, transporte e queima de combustíveis fósseis, como o óleo diesel (Martins, 2006).

Ainda de acordo com Martins (2006), os COVs, ainda, são conhecidos pelos seus efeitos nocivos que exercem à saúde e por sua interferência indireta nos poluentes em estado particulado.

É importante ressaltar, contudo, que os COVs, *per se*, não causam os problemas ambientais associados à formação fotoquímica do ozônio, mas os produtos intermediários (radicais peroxila) de sua conversão, como o alcóxi (RO<sub>2</sub>) e hidroperóxido (HO<sub>2</sub>) (WENZEL, HAUSCHILD e ALTING, 1997).

A fim de explicar o processo de oxidação dos COVs e a formação dos produtos intermediários, utilizou-se a exemplificação de Martins (2006), que utilizou o metano como precursor das reações:



Estes radicais (RO<sub>2</sub> e HO<sub>2</sub>) por sua vez, reagem com NO, convertendo NO a NO<sub>2</sub>:



O NO<sub>2</sub>, em presença de luz solar, sofre nova reação:



O oxigênio atômico no estado fundamental e o oxigênio molecular sofrem nova reação, dando origem ao O<sub>3</sub>:



De forma simplificada, a formação fotoquímica de ozônio ocorre em quatro fases (WENZEL, HAUSCHILD e ALTING, 1997):

- Reação entre COVs ou CO e OH para formar radicais peroxila;
- Os radicais peroxila oxidam NO para NO<sub>2</sub>;
- O NO<sub>2</sub> é “quebrado” pela luz solar, formando NO e liberando átomos de oxigênio;
- Os átomos de oxigênio reagem com oxigênio molecular, O<sub>2</sub>, e forma o ozônio.

O ozônio, por seu caráter oxidante, exerce diversos efeitos nocivos à saúde humana e ao ecossistema terrestre. Além disso, há suspeitas de que o aumento de ozônio troposférico pode ter um significativo impacto na qualidade do ar e nas mudanças climáticas, uma vez que é um dos gases do efeito estufa (IPCC, 2001).

Segundo Martins (2006), dentre os efeitos à saúde humana podem ser citadas a irritação nos olhos e vias respiratórias e a diminuição da capacidade pulmonar.

Com relação à vegetação, o ozônio produz redução na produtividade agrícola (na Dinamarca, a estimativa dessa redução atinge 10% da produção total), sendo que o impacto afeta principalmente as culturas de soja, feijão, trigo e algodão (OMETTO, 2005).

No que diz respeito ao cálculo, e ainda de acordo com Ometto (2005), a substância de referência, assim como a unidade para tal impacto é o eteno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), representando o potencial de formação de ozônio que seria causado pelo eteno.

Dessa forma, todos os gases contribuintes para a formação do ozônio são convertidos a partir de uma relação numérica com o eteno e somados, resultando no potencial de formação fotoquímica de ozônio troposférico total causado pela atividade em questão.

No que concerne à normalização e ponderação, os valores considerados no estudo encontram-se na Tabela 6:

**Tabela 6 - Normalização e ponderação para formação de ozônio troposférico**

Procedimento	Unidade	Valor sugerido
Normalização	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -eq./capita/ano	124
Ponderação	-	1,3

Fonte: Adaptado de Stranddorf, Hoffmann e Schmidt (2003a)

Os fatores de equivalência para converter os gases com potencial de formação fotoquímica de ozônio e a metodologia para o cálculo de fatores de equivalência não definidos podem ser encontrados em Wenzel, Haushchild e Alting (1997).

### ***3.4. Interpretação***

De acordo com a ABNT (2009a), a interpretação é a fase da ACV em que as constatações da análise de inventário e da avaliação de impacto são consideradas em conjunto.

Tal fase inclui os elementos destacados a seguir (ABNT, 2009b):

- Identificação das questões significativas com base nos resultados das fases de ICV e AICV da ACV: Estruturar os resultados das fases de ICV ou AICV para ajudar a determinar as questões significativas, tais como: dados de inventário, categorias dos impactos e contribuições de estágios do ciclo de vida;
- Uma avaliação do estudo, considerando verificações de completeza, sensibilidade e consistência: O objetivo da verificação da completeza é assegurar que toda a informação relevante e dados necessários para a interpretação estejam disponíveis e completos. O objetivo da verificação de sensibilidade é avaliar a confiança dos resultados e conclusões finais, determinando de que forma eles são afetados pelas incertezas dos dados, métodos de alocação ou cálculos dos resultados dos indicadores de categoria; Já o objetivo da verificação de consistência é determinar se os pressupostos, métodos e dados são consistentes com o objetivo e estudo.
- Conclusões, limitações e recomendações: O objetivo desta parte da interpretação do ciclo de vida é chegar a conclusões, identificar limitações e fazer recomendações.

Além do método EDIP, que possibilita quantificar alguns impactos ambientais, complementarmente utilizou o *check-list* de Lelles *et al.* (2005), que identificou 36 possíveis impactos negativos e 13 possíveis impactos positivos advindos das atividades de mineração de areia, os quais foram comparados à realidade da mineradora em estudo. Embora não seja possível quantificá-los, os impactos identificados por Lelles *et al.* (2005) tem natureza aplicada à areia e envolvem todos os possíveis impactos oriundos de uma mineradora, quer sejam

expressivos ou não. Tal apontamento facilita a elaboração das ações preventivas que poderiam ocorrer na área de extração.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são descritos os resultados obtidos no estudo a partir de visita ao porto de areia na região de São José do Rio Preto – SP.

### *4.1. Determinação do objetivo e do escopo*

Este estudo de ACV teve como objetivo avaliar o ciclo de vida da areia extraída em leito de rio através da valoração de insumos e impactos ambientais nas etapas de extração, beneficiamento, armazenagem e transporte.

Tal estudo justifica-se pela importância social e econômica da areia e pode servir de subsídio para proprietários de mineradoras e demais *stakeholders*. Para realização do trabalho, foram definidos os seguintes elementos para integrar o escopo da ACV da areia:

- **Sistema de produto**

As etapas que integram a extração de areia na mineradora consideradas no estudo são as seguintes:

*Atividade 1: Extração de areia*

Tal etapa envolve a retirada de areia do leito do rio (Figura 7), através de uma draga fixa (plataforma) e de uma draga móvel (barco).

Figura 7 – Sucção de areia do leito do rio através da draga fixa (jato de areia maior, à direita) e da draga móvel (dois jatos de areia menores, à esquerda).



Durante o carregamento, a areia sedimenta e a água permanece na superfície. Quando o barco fica completamente carregado, a água extravasa pelas laterais do barco, restando somente areia úmida armazenada. Após carregamento completo do barco, o mesmo transporta a areia retirada do canal até a margem (Figura 8).

Figura 8 – Transporte do material retirado do leito até a margem



Em seguida, uma outra draga, fixada às margens do rio, bombeia a areia do barco para o beneficiamento.

#### Atividade 2: Beneficiamento

A areia é bombeada por um duto (Figura 9) até ser despejada na primeira peneira, que fica suspensa numa estrutura elevada.

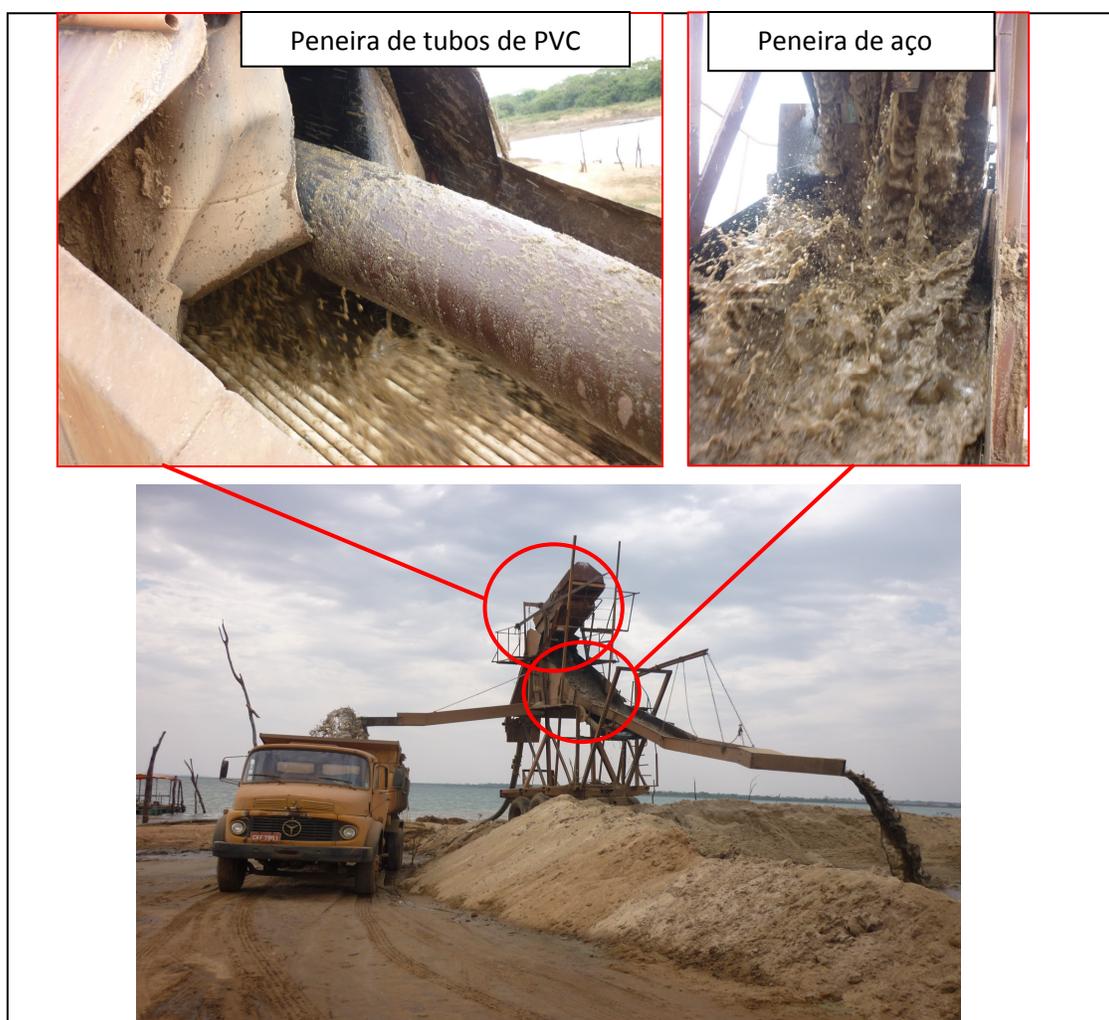
Figura 9 – Bombeamento da areia no até as peneiras



Na fase de peneiramento, o material passa primeiramente por uma peneira de tubos de policloreto de polivinila (PVC) de 0.5'' (cerca de 1,3 centímetros). A peneira mede 2 X 1 metros e os tubos de PVC possuem espaçamento de 0,5 centímetros. Tal peneira separa o material grosseiro (cascalho) da areia.

Na seqüência, a areia passa por uma segunda peneira de malha dupla de aço inox. A primeira malha possui espaçamento de 97 milímetros e a segunda 7 milímetros. A areia que passa pelas malhas é classificada como fina e encaminhada a um caminhão, enquanto que a areia retida (grossa) é encaminhada para um monte ao lado das peneiras. As etapas de peneiramento e classificação podem ser visualizados na Figura10.

Figura 10 – Peneiramento e classificação da areia, que é separada em fina (carregada no caminhão, à esquerda) e grossa (despejada no monte da direita)



Na empresa analisada não há a lavagem da areia. Já a etapa de secagem ocorre na armazenagem.

### Atividade 3: Armazenagem

O caminhão carregado ao lado da peneira despeja a areia fina no pátio de armazenamento. A pá-carregadeira revolve o monte de areia fina e o monte de areia grossa (ao lado da peneira) para promover a secagem (Figura 11).

Figura 11 – Empilhamento e revolvimento do material



A secagem ocorre ao ar livre, tendo apenas o auxílio da pá-carregadeira. Depois de seca, há o carregamento da areia pela pá-carregadeira nos caminhões que irão transportá-la.

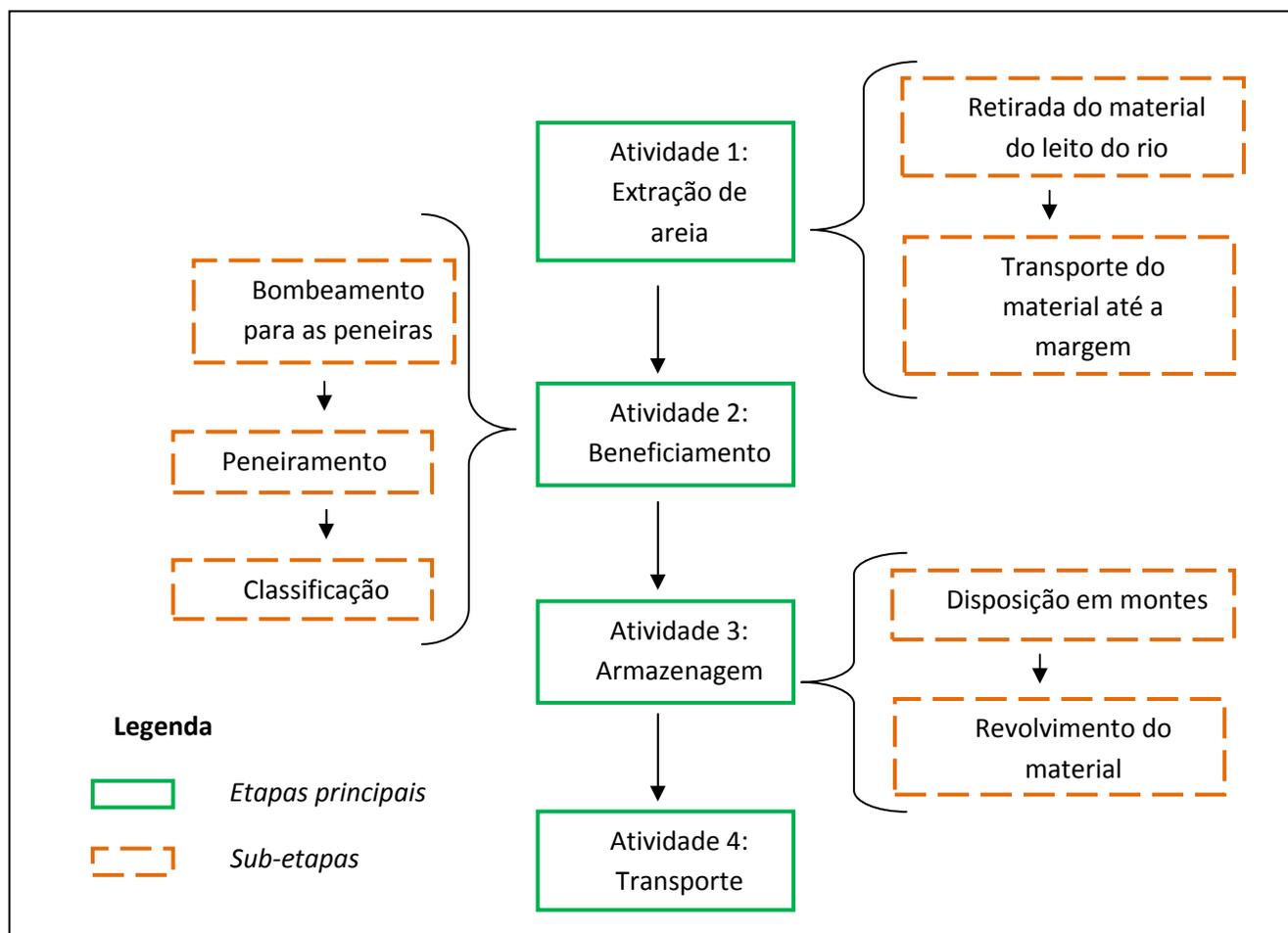
### Atividade 4: Transporte

Esta etapa envolve a expedição do material através de caminhões para local de comercialização ou para onde será diretamente usado.

A etapa de comercialização e uso da areia não foi considerada no estudo devido à magnitude das aplicações do material. Os diversos usos da areia e a caracterização de insumos e impactos nesta etapa demandam maiores recursos e aumentam o nível de complexidade do estudo, fugindo do escopo do trabalho.

Esquemáticamente, a Figura 12 ilustra as 4 etapas e as sub-etapas consideradas na análise.

Figura 12 – Processo de extração da areia



As quatro etapas e as sete sub-etapas analisadas delimitam o sistema considerado e indicam a sequência do processo, favorecendo a identificação dos impactos.

- **Função do sistema**

A areia é utilizada como insumo em diversos setores, como vidrarias, fundições, agregado para construção civil etc.

- **Unidade funcional**

A unidade funcional considerada é de 1 m<sup>3</sup> de areia extraída.

- **Fluxo de referência**

O fluxo de referência relacionado à unidade funcional é de 1 litro de óleo diesel utilizado para movimentar maquinário e caminhões.

### ▪ **Fronteiras do sistema**

Nesta ACV adotou-se a abordagem *Cradle to Gate* (berço ao portão da fábrica), assim como procedeu Viana (2008). Devido seus inúmeros usos, escolher apenas uma única aplicação da areia restringiria sobremaneira o estudo.

No que diz respeito às fronteiras geográficas, foi considerada a extração de areia em condições brasileiras, cuja mineradora localiza-se na região de São José do Rio Preto – SP.

Já para as fronteiras temporais, considerou-se dados coletados entre os anos de 1997 e 2012.

Quanto às fronteiras tecnológicas, verificou-se que os equipamentos da empresa são da década de 80. São utilizadas três dragas com tecnologia equiparável a boa parte das mineradoras brasileiras de pequeno porte.

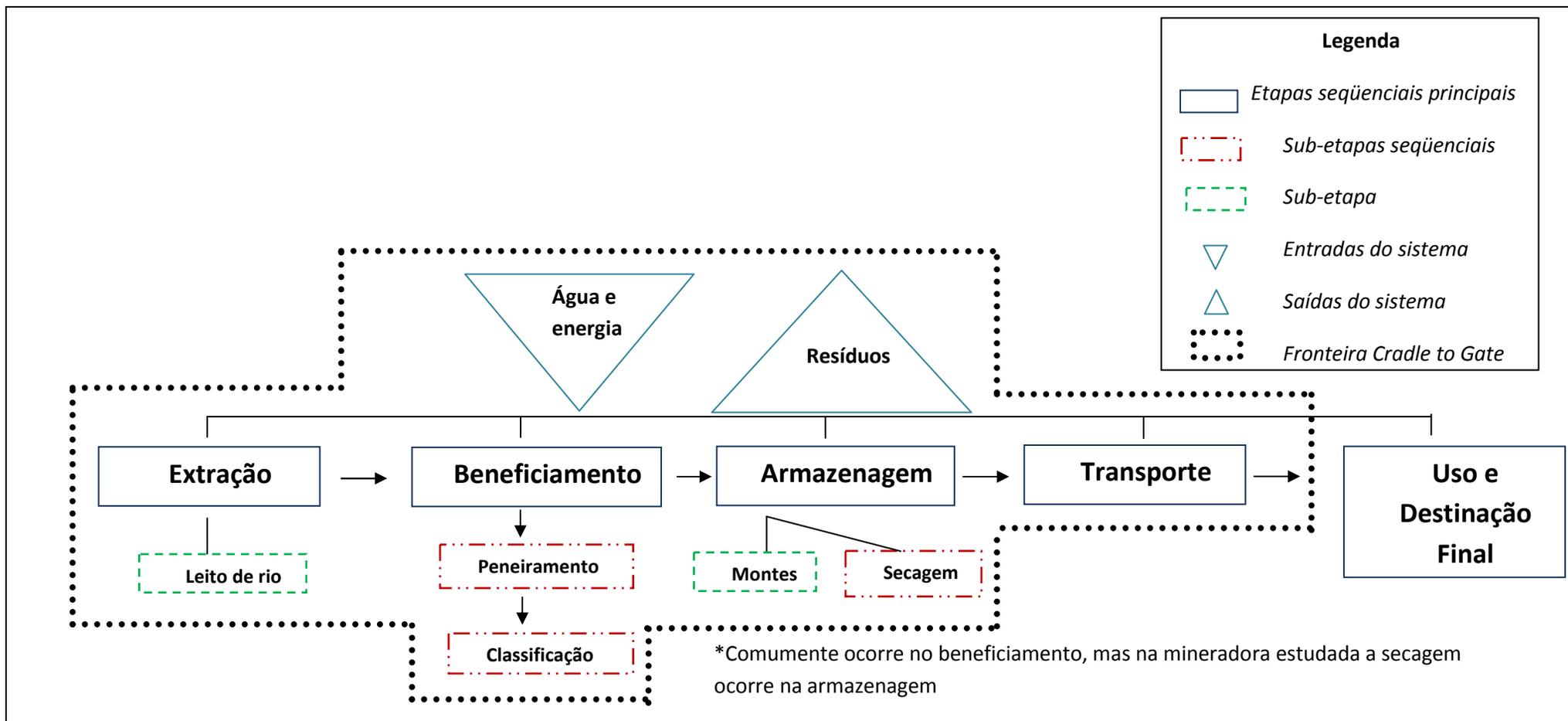
No que diz respeito às entradas do sistema, na extração de areia apenas dois insumos são utilizados: água e energia (óleo diesel). Assim, não houve corte ou limites de insumos no estudo. Quanto às saídas, foram considerados os resíduos sólidos, emissões gasosas e efluentes líquidos mais relevantes.

O uso do óleo diesel, devido à magnitude da aplicação e à relevância ambiental, foi avaliado com maior detalhamento assim como as emissões geradas nas unidades do processo.

No que concerne aos equipamentos, apenas a quantidade de combustível utilizada foi considerada, não sendo relevante considerar a fabricação e manutenção dos mesmos.

Este conjunto de fronteiras delimita o estudo. Na Figura 13 estão apresentadas as fases escolhidas por meio da abordagem *Cradle to Gate*:

Figura 13- Fases consideradas no trabalho com fronteira *Cradle to Gate*



Fonte: Elaborada pela autora (2012)

A abordagem *Cradle to Gate* exclui as etapas de uso e disposição final, considerando apenas, no caso da areia, extração, beneficiamento e armazenagem. A etapa de transporte também foi considerada devido ao seu valor econômico e suas implicações ambientais.

- **Metodologia de AICV e tipos de impactos**

As categorias de impactos foram definidas baseadas no consumo de óleo diesel da mineradora, atividade responsável por várias interferências negativas no meio natural. Tais categorias foram avaliadas a partir da metodologia EDIP de Wenzel, Hauschild e Alting (1997). Os seguintes potenciais de impactos ambientais foram selecionados: aquecimento global, acidificação, ecotoxicidade, toxicidade humana e formação de ozônio troposférico.

- **Requisitos dos dados**

Os dados foram coletados através de visita à unidade mineradora, entrevistas e levantamento de tecnologias e técnicas em bibliografia específica.

A maior parte dos dados de entrada foi obtida diretamente dos processos na mineradora (fonte primária), sendo o restante obtido por consulta ao material bibliográfico e a profissionais especialistas.

- **Pressupostos**

O trabalho considerou atividades tradicionais utilizadas nos processos de extração de areia em uma mineradora comum já instalada e em funcionamento.

Quanto ao nível tecnológico das atividades de extração de areia, este se mantém o mesmo desde a época de inauguração da mineradora, que data de 1983. Embora relativamente antigo, é prática tradicional mineradoras de pequeno a médio porte manterem o mesmo maquinário, sendo apenas realizadas manutenção e revisão preventiva para manter o bom funcionamento dos equipamentos. Assim, considerou-se o escopo tecnológico atual e estático, ou seja, sem previsão de desenvolvimento de novas tecnologias.

Já para fins de determinação do efeito do potencial de impacto de aquecimento global do EDIP, considerou-se um período de 100 anos.

As considerações específicas para o as etapas do ciclo de vida da areia são detalhadas a seguir:

- Extração de areia

O volume de areia retirado do leito do rio é  $200 \text{ m}^3/\text{dia}$  e a sucção é realizada por uma draga móvel e por uma draga fixa localizada em uma plataforma (Figura 14), ambas hidráulicas e com 1 bomba de 130 Cavalo-vapor (CV) cada.

Figura 14 – Draga móvel (à esquerda) e draga fixa da plataforma (à direita)



Durante a extração, aproximadamente  $0,65 \text{ m}^3$  de água são bombeados para cada  $1,00 \text{ m}^3$  de material bombeado. A massa específica considerada para água foi de  $1 \text{ Kg. L}^{-1}$ . O motor do barco e a bomba da draga fixa da margem (Figura 15) também possuem 130 CV. Todos os motores são movidos a óleo diesel.

Figura 15 – Motor localizado no interior do barco (à esquerda) e motor da draga fixa da margem



O consumo considerado para a draga fixa da plataforma, para o motor do barco e para a draga móvel do barco foi somado, totalizando  $2 \text{ L/m}^3$ .

O barco (Figura 16) tem capacidade volumétrica de cerca de 30 m<sup>3</sup> de areia, ou seja, são realizadas 7 viagens, da plataforma até a margem, diariamente, que totalizam 200 m<sup>3</sup> de areia extraída por dia. A distância da plataforma até a margem é de cerca de 3 km.

Figura 16 – Barco utilizado para transportar areia e carregar a draga móvel



A areia retirada do leito do rio é armazenada na parte média do barco (meio), de forma a conferir maior estabilidade. Na popa (traseira) localiza-se o motor do barco e a draga móvel. Na proa (dianteira) há um motor hidráulico utilizado para erguer a tubulação da draga quando submerge para extrair areia.

- Beneficiamento

O consumo considerado para a draga fixa da margem, que bombeia a areia até as peneiras, foi de 2 L/m<sup>3</sup>. Quanto à água, ela é bombeada juntamente com a areia até as peneiras. Em termos de volume, foi considerado que 65% da polpa é composta por água, ou seja, para cada 1,00 m<sup>3</sup> de polpa bombeado, apenas 0,35 m<sup>3</sup> são de areia. A densidade considerada para água foi de 1 Kg.L<sup>-1</sup>.

Depois de passar pelas peneiras, a água é parcialmente separada da areia. O restante da separação ocorre nas duas bacias de decantação (Figura 17) existentes no local, onde a areia sedimenta e a água retorna ao rio através de uma pequena abertura na parte superior da lagoa.

Figura 17 – Uma das bacias de decantação existentes na mineradora



- *Armazenamento*

Nesta etapa não há a utilização de materiais ou água ou energia, exceto o óleo diesel consumido pela pá-carregadeira, que consome 300 mL/m<sup>3</sup>.

- *Transporte*

Quanto ao transporte da areia em solo, são utilizados dois caminhões da marca *Mercedes-Benz*® (*MB*), modelos *MB 1620* e *MB 1935*, sendo todos os motores movidos a óleo diesel. O primeiro possui capacidade total de 12 m<sup>3</sup>, mas carrega cerca de 8 m<sup>3</sup> de areia para se adequar ao Código de Trânsito Brasileiro (CTB) e não exceder o peso nos postos de pesagem.

Já o modelo *MB 1935* possui capacidade de 25 m<sup>3</sup> e transporta cerca de 18 m<sup>3</sup>, também para fins de adequação ao CTB.

O modelo *MB 1620*, por ter capacidade volumétrica menor, é mais utilizado para o transporte de areia fina, extraída em menor quantidade que a areia grossa. Da mesma forma, o modelo *MB 1935* transporta areia grossa, extraída em maior quantidade. O distância média percorrida com um litro de óleo diesel considerada para os caminhões foi de 3,5 km para o *MB 1620* e 1 km para o *MB 1935*.

No que diz respeito à massa específica média do óleo diesel, foram verificados os valores presentes na Tabela 7, a seguir apresentada.

**Tabela 7 – Valores de Massa Específica**

Característica	Unidade	Tipos <sup>1</sup>	
Massa específica a 20°C	Kg/L	<i>Interior (B)</i>	<i>Metropolitano (D)</i>
		0,820 a 0,880	0,820 a 0,865

Fonte: Agência Nacional do Petróleo (2001)

Considerando que a região da mineradora é abastecida por Óleo Diesel Interior (B), o valor médio da massa específica adotado foi de 0,85 Kg/L.

No que se refere aos quilômetros percorridos para transportar o material, a distância média considerada foi de 70 km. Aproximadamente 30% da areia extraída é encaminhada para uma concreteira a cerca de 40 km da mineradora e o restante é vendido para consumidores de várias cidades, que distam até 100 km do local de extração. Do total de viagens realizadas, cerca de 80% são realizadas no *MB 1935* e o restante no *MB 1620*.

#### ▪ Limitações

Uma das maiores limitações do levantamento refere-se aos dados que foram fornecidos pela empresa e não puderam ser verificados quanto à precisão.

Ainda, o consumo de óleo diesel calculado pode variar de acordo com a manutenção do caminhão, forma de conduzir do motorista e quantidade de material transportado, e conseqüentemente, a magnitude dos impactos pode variar.

Outra limitação refere-se à utilização de dados secundários, que podem não ser precisos quanto à realidade da mineradora.

#### ▪ Revisão crítica

Este trabalho foi submetido à apreciação de especialistas através da banca julgadora do Mestrado, de modo que a multiplicidade interdisciplinar e a revisão dos profissionais possibilitem qualificar o estudo.

#### ▪ Tipo e formato do relatório requerido para o estudo

<sup>1</sup> O Óleo Diesel Metropolitano (D) deverá ser obrigatoriamente comercializado nos municípios relacionados no Anexo I (Regulamento Técnico ANP nº 6/2001), conforme determinação do Ministério do Meio Ambiente. Os municípios não constantes no Anexo I serão abastecidos por Óleo Diesel Interior (B).

Os resultados foram expostos de acordo com a estrutura metodológica das normas NBR ISO 14040 ABNT (2009a) e NBR ISO 14044 ABNT (2009b). As correspondentes internacionais também foram utilizadas por pesquisadores como Allen e Shonnard (2002), Owens (1997), Curran (1996), e Hunt *et al.* (1992).

#### 4.2. Análise do inventário do ciclo de vida

Os inventários foram divididos nas quatro etapas estabelecidas no item 4.1: extração, beneficiamento, armazenagem e transporte. Os fluxos foram divididos em fluxos de entrada e saída. Os fluxos de entrada se subdividem ainda em consumo de recursos não renováveis, consumo de energia e consumo de recursos renováveis. Já os fluxos de saída se subdividem em emissões atmosféricas, para o solo e para a água. A seguir, a análise do inventário do processo de extração está concatenada na Tabela 8.

**Tabela 8 – Análise do inventário do processo de extração de areia**

Aspecto Ambiental	Unidade	Qtidade para a extração de 1m <sup>3</sup> de areia	Fonte
FLUXOS DE ENTRADA			
<u>Recursos não renováveis</u>			Primária
- Diesel	Kg	0,17E+01	
<u>Recursos Renováveis</u>			Primária
- Água superficial	Kg	6,50E+02	
<b>TOTAL ENTRADA</b>	<b>Kg</b>	<b>6,517E+02</b>	
-----			
FLUXOS DE SAÍDA			
<u>Emissões atmosféricas</u>			
- C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	Kg	0,48E-04	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- CO	Kg	0,12E-02	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- NO <sub>x</sub>	Kg	0,14E-02	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- MP	Kg	0,24E-03	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- SO <sub>x</sub>	Kg	0,47E-03	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- CH <sub>4</sub>	Kg	0,60E-05	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- N <sub>2</sub> O	Kg	0,26E-04	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- CO <sub>2</sub>	Kg	0,52E+01	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
<u>Emissões para a água</u>			
- Água da polpa	Kg	4,00E+02	Primária
<b>TOTAL SAÍDA</b>	<b>Kg</b>	<b>4,052E+02</b>	

Para as etapas de extração, beneficiamento e armazenagem utilizou-se, para os dados não primários, os valores de Sheehan *et al.*, 1998, que inventariariam a geração de 1 GJ de energia pelo óleo diesel.

É importante ressaltar que cerca de 80% da água superficial utilizada na etapa de extração extravasa do barco e o restante fica incorporado à areia. Para o cálculo do inventário converteu-se 1 GJ de energia, unidade utilizada por Sheehan *et al.*, 1998, em Kg de óleo diesel necessário para extrair 1 m<sup>3</sup> de areia. A base de dados de Sheehan *et al.*, 1998 não considera relevantes as emissões para a água ou para o solo.

Na Tabela 9 podem ser observados os resultados do inventário da atividade 2 – beneficiamento.

**Tabela 9 - Análise do inventário do processo de beneficiamento de areia**

Aspecto Ambiental	Unidade	Qtde para o benef. de 1m <sup>3</sup> de areia	Fonte
FLUXOS DE ENTRADA			
<u>Recursos não renováveis</u>			Primária
- Diesel	Kg	0,17E+01	
<u>Recursos Renováveis</u>			Primária
- Água superficial	Kg	6,50E+02	
<b>TOTAL ENTRADA</b>	<b>Kg</b>	<b>6,517E+02</b>	
-----			
FLUXOS DE SAÍDA			
<u>Emissões atmosféricas</u>			
- C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	Kg	0,48E-04	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- CO	Kg	0,12E-02	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- NO <sub>x</sub>	Kg	0,14E-02	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- MP	Kg	0,24E-03	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- SO <sub>x</sub>	Kg	0,47E-03	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- CH <sub>4</sub>	Kg	0,60E-05	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- N <sub>2</sub> O	Kg	0,26E-04	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- CO <sub>2</sub>	Kg	0,52E+01	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
<u>Emissões para a água</u>			
- Água da polpa	Kg	4,00E+02	Primária
<b>TOTAL SAÍDA</b>	<b>Kg</b>	<b>4,052E+02</b>	

A atividade beneficiamento apresenta os mesmos valores da etapa de extração. Isso se deve, sobretudo, às características dos equipamentos: os três motores das dragas são idênticos.

O consumo da draga fixada às margens do rio, entretanto, é igual ao consumo somado da draga flutuante, draga instalada no leito do rio e motor do barco. Tal fato ocorre, pois a draga do fixada às margens e utilizada no beneficiamento consome mais energia haja vista que tem de transportar o material através de dutos e em seguida elevá-lo até as peneiras.

Em seguida, analisou-se o inventário da etapa 3 – armazenagem. A secagem, que deveria ocorrer no beneficiamento, ocorre nesta fase. Entretanto, não se utilizam equipamentos para promover a secagem, com exceção da pá-carregadeira, que também é responsável por carregar os caminhões para a posterior distribuição do material.

É possível visualizar a análise de inventário da armazenagem na Tabela 10.

**Tabela 10 - Análise do inventário do processo de armazenagem de areia**

Aspecto Ambiental	Unidade	Qtidade para armazen. de 1m <sup>3</sup> de areia	Fonte
FLUXOS DE ENTRADA			
<u>Recursos renováveis</u>	não		Primária
- Diesel	Kg	0,03E+01	
<b>TOTAL ENTRADA</b>	<b>Kg</b>	<b>0,03E+01</b>	
-----			
FLUXOS DE SAÍDA			
<u>Emissões atmosféricas</u>			
- C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	Kg	0,72E-05	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- CO	Kg	0,18E-03	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- NO <sub>x</sub>	Kg	0,21E-03	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- MP	Kg	0,24E-03	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- SO <sub>x</sub>	Kg	0,36E-04	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- CH <sub>4</sub>	Kg	0,90E-06	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- N <sub>2</sub> O	Kg	0,40E-05	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
- CO <sub>2</sub>	Kg	0,08E+01	Sheehan <i>et al.</i> , 1998
<b>TOTAL SAÍDA</b>	<b>Kg</b>	<b>0,08E+01</b>	

Para o balanço de massa e energia da etapa de transporte da areia, utilizou-se a base de dados da metodologia EDIP. Os valores da EDIP *database* (2003), extraídos de Ometto (2005), permitem quantificar as emissões atmosféricas, as emissões para o solo e para a água.

A unidade de referência do EDIP *database* (2003) é [kg da substância/tonelada de areia para cada km transportado em caminhão a diesel]. Para uniformizá-la, considerou-se como peso específico da areia seca o valor de 1600 kg.m<sup>-3</sup> (PIANCA, 1979) e a distância média percorrida como sendo de 70 km (fonte primária).

Fazendo as devidas conversões, obteve-se a análise de inventário da atividade 4 – transporte. Devido à diferença de valores na capacidade de transporte, quilometragem por litro e volume total transportado, distinguiu-se os modelos dos caminhões na Tabela 11.

**Tabela 11 - Análise do inventário do transporte de areia por caminhão:**

Aspecto Ambiental	Unidade	Qtidade para trans. de 1m <sup>3</sup> de areia		Total
FLUXOS DE ENTRADA		<i>MB 1935</i>	<i>MB 1620</i>	
<u>Recursos não Renováveis</u>				
- Diesel	Kg	2,64	0,42	<b>3,06</b>
- Proveniente do diesel				
Óleo cru	Kg	0,12	0,06	<b>0,18</b>
<b>TOTAL ENTRADA</b>	<b>Kg</b>	<b>2,76</b>	<b>0,48</b>	<b>3,24</b>
-----				
FLUXOS DE SAÍDA				
<u>Emissões atmosféricas</u>				
- C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	Kg	0,18E-02	0,10E-02	<b>0,28E-02</b>
- CO	Kg	0,15E-02	0,08E-02	<b>0,23E-02</b>
- NO <sub>x</sub>	Kg	0,67E-02	0,37E-02	<b>1,04E-02</b>
- MP	Kg	0,52E-03	0,29E-03	<b>0,81E-02</b>
- SO <sub>x</sub>	Kg	0,11E-02	0,06E-02	<b>0,17E-02</b>
- Aldeídos	Kg	0,47E-05	0,26E-05	<b>0,73E-05</b>
- Amônia	Kg	0,23E-05	0,13E-05	<b>0,36E-05</b>
- N <sub>2</sub> O	Kg	0,56E-05	0,32E-05	<b>0,88E-05</b>
- CO <sub>2</sub>	Kg	0,41	0,23	<b>0,64</b>
<u>Emissões para o solo</u>				
- Resíduo não inerte	Kg	0,18E-03	0,10E-03	<b>0,28E-03</b>
<u>Emissões para a água</u>				
- DBO	Kg	0,57E-06	0,32E-06	<b>0,89E-06</b>
- DQO	Kg	0,21E-05	0,11E-05	<b>0,32E-05</b>
- Óleo cru	Kg	0,19E-04	0,11E-04	<b>0,30E-04</b>
- Sólidos dissolvidos	Kg	0,15E-02	0,08E-02	<b>0,23E-02</b>
- Sólidos suspensos	Kg	0,70E-06	0,39E-06	<b>1,09E-06</b>
<b>TOTAL SAÍDA</b>	<b>Kg</b>	<b>0,42</b>	<b>0,24</b>	<b>0,66</b>

Complementarmente, fez-se as seguintes considerações específicas para cada modelo de caminhão utilizado na mineradora:

- O caminhão *MB 1935* transporta  $18 \text{ m}^3$  por cerca de 70 km, ou seja, 3,89 km para cada  $\text{m}^3$  de areia transportada [ $3,89 \text{ km.m}^3$ ]. Além disso, o *MB 1935* percorre  $1 \text{ km.L}^{-1}$  e realizada cerca de 80% das viagens, ou seja, o valor total das emissões deste modelo foi multiplicado por 0,8.

O caminhão *MB 1620* transporta  $8 \text{ m}^3$  por cerca de 70 km, ou seja, 8,75 km para cada  $\text{m}^3$  de areia transportada [ $8,75 \text{ km m}^3$ ]. Além disso, o *MB 1620* percorre  $3,5 \text{ km.L}^{-1}$  e realiza cerca de 20% das viagens, ou seja, o valor total das emissões este modelo foi multiplicado por 0,2.

Todos os valores de referência da Tabela 11 se basearam na EDIP *database* (2003), com exceção do diesel (recurso não-renovável) no fluxo de entrada, obtido por fonte primária.

A partir da quantificação e avaliação dos impactos associados aos resíduos sólidos, aos efluentes líquidos e, principalmente, as emissões atmosféricas de cada etapa do ciclo de vida da areia, pode-se discutir alguns dos impactos com vistas a minimizar as interferências ambientais.

### ***4.3. Avaliação de impactos do ciclo de vida***

Foram selecionadas as seguintes categorias de impactos: potencial de aquecimento global, ecotoxicidade, toxicidade humana, formação fotoquímica de ozônio e acidificação. Para todas as categorias de impacto foi utilizado o método EDIP como modelo de caracterização. Os indicadores de categoria, a classificação e os resultados são descritos para cada um a seguir:

#### Potencial de Aquecimento Global (PAG)

O efeito estufa “natural” é causado pela presença de vapor d’água, que retém parte da radiação refletida pela Terra e mantém a temperatura adequada na superfície terrestre. Entretanto, vêm ocorrendo à intensificação do efeito estufa, provocada pela emissão de gases por atividades antrópicas. Tais gases retêm mais radiação, elevando a temperatura para valores superiores aos do efeito estufa natural.

Assim, o indicador de categoria adequado para ser correlacionado ao PAG é o forçamento radioativo infravermelho ( $W/m^2$ ), um balanço entre a energia que entra e sai do planeta. Tal indicador permite verificar, de forma indireta, se a radiação incidente está sendo retida na atmosfera e re-emitida para a superfície terrestre, provocando o aumento da temperatura global.

No que se refere à classificação, o PAG é definido como sendo as substâncias que (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997) :

- absorvem radiação infravermelha e permanecem na atmosfera por tempo suficiente para provocar contribuição significativa ao aquecimento global; e
- têm origem petroquímica e são degradadas com liberação de  $CO_2$ .

Destas substâncias, as que apresentam valores mais significativos no inventário do ciclo de vida são:

- $CO_2$ ,  $CH_4$ , e  $N_2O$ , que provocam efeitos diretos;
- $CO$ , hidrocarbonetos (exceto  $CH_4$ ) e  $NO_x$ , que provocam efeitos indiretos a partir de sua influência nos gases que provocam efeitos diretos.

Para fins de avaliação de impacto ambiental, o  $NO_x$  foi excluído da análise, pois a determinação de um fator de equivalência com o  $CO_2$  é complexa, não havendo consenso de valor ou faixa de valores entre os pesquisadores.

No que diz respeito aos fatores de equivalência das outras substâncias, o método EDIP utiliza dados do IPCC, cujos valores estão no “*Climate Change 2001: The Scientific Basis*” (IPCC, 2001). Assim, os gases considerados no estudo e os últimos fatores de equivalência divulgados pelo IPCC podem ser vistos na Tabela 12.

**Tabela 12 - Fatores de equivalência para a caracterização do PAG**

Substância	Fórmula química	Fatores de equivalência (g <sub>CO2 eq./g subst.)</sub>
		100 anos
<b>Dióxido de carbono</b>	CO <sub>2</sub>	1
<b>Metano</b>	CH <sub>4</sub>	25
<b>Hidrocarbonetos</b>	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	3
<b>Monóxido de carbono</b>	CO	2
<b>Óxido de Nitrogênio</b>	N <sub>2</sub> O	298

Fonte: IPCC (2001)

Depois de realizadas as devidas equivalências, foram obtidos os seguintes valores de potencial de aquecimento global (Tabela 13).

**Tabela 13 – Valores de PAG para cada fase do ciclo de vida da areia**

Fase	PAG (Kg CO <sub>2</sub> eq. / m <sup>3</sup> )
Extração	5,210
Beneficiamento	5,210
Armazenagem	0,801
Transporte	0,656
<b>Total</b>	<b>11,877</b>

Conforme na Tabela 13, às atividades de extração e beneficiamento são aquelas com maior potencial de aquecimento global, devido o uso de óleo diesel nas dragas. Dos gases emitidos pelos motores, o dióxido de carbono, além de ser o poluente liberado em maior quantidade, é o principal GEE.

A fim de permitir uma posterior comparação com os outros impactos ambientais do ciclo de vida da areia, os valores do PAG foram normalizados e ponderados, obtendo-se os seguintes resultados:

- PAG normalizado: 1,365 Kg CO<sub>2</sub> eq. / m<sup>3</sup> ;

- PAG ponderado: 1,775 Kg CO<sub>2</sub> eq. / m<sup>3</sup>

O PAG ponderado, obtido a partir da multiplicação do PAG normalizado por um valor de referência (Tabela 2), representa uma fração de espaço ambiental requerida para neutralizar as emissões, de forma que não se exceda a capacidade de remoção natural da atmosfera.

### Ecotoxicidade

A ecotoxicidade é uma categoria de impacto que inclui várias substâncias que podem resultar em um impacto direto na saúde dos ecossistemas.

Assim, o indicador de categoria que expressa a ocorrência deste impacto é o conjunto de alterações no funcionamento e estrutura de ecossistemas, como a redução na reprodução ou crescimento de espécies ou a morte de indivíduos ou um grupo.

Tais alterações são causadas por diversas substâncias, que atuam como inibidoras de enzimas específicas, agentes de alteração de características hereditárias, agentes de promoção de efeitos narcóticos etc.

No que se refere à classificação, as propriedades das substâncias correlacionadas com a categoria de impacto são (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997):

- Ecotoxicidades aguda e crônica, ou seja, o quão tóxica uma substância pode ser para diferentes organismos, em exposição curta e intensa e exposição prolongada e leve, respectivamente, determinadas por testes empíricos; e
- Persistência da substância, também determinada empiricamente.

Já para a fase de caracterização, partiu-se do pressuposto de que efeitos ecotoxicológicos adviriam somente de derramamentos de óleo diesel, diretamente no compartimento ambiental. Para o cálculo das quantidades de substâncias potencialmente ecotoxicológicas, foram adotados valores médios das substâncias constituintes do óleo diesel, presentes na Tabela 14.

**Tabela 14 – Composição média do óleo diesel**

<b>Substâncias</b>	<b>% da composição</b>
Parafinas	42,1
Monocicloparafinas	20,6
Dicicloparafinas	6,7
Tricicloparafinas	1,2
Benzenos	10,8
Indanes/Tetralins	8,4
C <sub>n</sub> H <sub>2n-10</sub>	3,5
Naftalenos	3,5
C <sub>n</sub> H <sub>2n-14</sub>	1,8
C <sub>n</sub> H <sub>2n-6</sub>	1,3
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Fonte: Petroleum HPV Testing Group Member Company, 1997

Das substâncias citadas na Tabela 14, 70,7% são de parafinas e 29,3% são de compostos aromáticos. Destes últimos, existem três compostos com maior importância ambiental (componentes mais solúveis) e potencialmente ecotoxicológicos: benzeno, tolueno e xileno (BTX), presentes em 0,008%, 0,062% e 0,193%, respectivamente, na composição do óleo diesel (PETROLEUM HPV TESTING GROUP MEMBER COMPANY, 1997).

Para se estimar o potencial de ecotoxicidade, foram calculadas as quantidades de BTX em cada etapa de extração. Em seguida, tais quantidades foram multiplicadas por seus fatores de equivalência ( $m^3$  de compartimento ambiental/ g de substância com efeitos ecotoxicológicos), que representam, ao final, o volume do compartimento ambiental necessário para neutralizar cada substância.

Os valores adotados para os procedimentos de cálculos podem ser vistos na Tabela 15.

**Tabela 15 – Substâncias com efeitos ecotoxicológicos, suas composições no óleo diesel e seus fatores de equivalência**

Substância	(g/ kg óleo diesel)	Efeitos (m <sup>3</sup> /g)		
		Água, crônico	Água, agudo	Solo, Crônico
Benzeno	0,08 <sup>1</sup>	4,0 <sup>2</sup>	10,0 <sup>2</sup>	3,6 <sup>2</sup>
Tolueno	0,62 <sup>1</sup>	4,0 <sup>2</sup>	10,0 <sup>2</sup>	0,97 <sup>2</sup>
Xileno	1,93 <sup>1</sup>	4,0 <sup>2</sup>	10,0 <sup>2</sup>	0,40 <sup>2</sup>

Fonte: <sup>1</sup> Petroleum HPV Testing Group Member Company, 1997

<sup>2</sup> Wenzel, Hauschild e Alting, 1997

Realizando-se as devidas conversões e somando os valores, obteve-se os seguintes resultado para o potencial de ecotoxicidade (Tabela 16).

**Tabela 16 – Valores do potencial de ecotoxicidade para o ciclo de vida da areia**

Fase	Potencial de ecotoxicidade (m <sup>3</sup> de compartimento/ m <sup>3</sup> de areia)			Total
	Água, crônico	Água, agudo	Solo, crônico	
Extração	17,88	44,71	2,82	<b>65,41</b>
Beneficiamento	17,88	44,71	2,82	<b>65,41</b>
Armazenagem	3,16	7,89	0,50	<b>11,55</b>
Transporte	32,19	80,48	5,08	<b>117,75</b>
<b>Total</b>	<b>71,11</b>	<b>177,80</b>	<b>11,22</b>	<b>260,12</b>

É importante ressaltar que os impactos associados à ecotoxicidade podem variar em função do tipo de substâncias emitidas, da concentração das substâncias, das circunstâncias em que as substâncias são emitidas, e das condições do ambiente que recebe as substâncias (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 1997).

Depois de caracterizar o impacto, encontraram-se os seguintes valores para o potencial de ecotoxicidade normalizado e ponderado (Tabela 17).

**Tabela 17 - Valores do potencial de ecotoxicidade para cada fase do ciclo de vida da areia**

Procedimento	Potencial de ecotoxicidade		
	Água, crônico	Água, agudo	Solo, crônico
Normalização	1,48E-03	3,78E-04	0,37E-03
Ponderação	3,85E-03	9,83E-04	0,71E-03

Como é possível visualizar na Tabela 17, o maior potencial de ecotoxicidade ocorre na água, em casos de contaminação aguda. A introdução de substâncias de forma rápida e em concentrações elevadas dificulta a ação de resiliência do compartimento, comprometendo sua autodepuração e impactando diretamente na fauna e flora dependentes do corpo hídrico.

#### Toxicidade humana

A toxicidade humana é uma categoria de impacto cujos efeitos são extremamente variáveis. Dentre alguns efeitos que substâncias tóxicas podem provocar na saúde humana, citam-se, por exemplo: mutações no DNA, danos a fetos e embriões e alergias.

Dessa forma, o indicador da toxicidade humana é a quantidade de indivíduos afetados depois de expostos aos poluentes.

A exposição humana às substâncias pode ser (WENZEL, HAUSCHILD e ALTING, 1997):

- Direta, através de inalação e ingestão dos poluentes;
- Indireta, através ingestão de alimentos contaminados.

Já a classificação da toxicidade humana é baseada nas seguintes propriedades das substâncias (WENZEL, HAUSCHILD e ALTING, 1997):

- Toxicidade (capacidade de prejudicar funções humanas vitais);
- Persistência (baixa degradabilidade no meio ambiente);
- Bioacumulação (capacidade de reter contaminantes e acumulá-los).

No que se refere aos procedimentos de cálculos, utilizou-se, além do mesmo trinômio de contaminantes usados na ecotoxicidade (BTX), o monóxido de carbono e os NO<sub>x</sub>.

Os BTX foram incluídos devido suas propriedades carcinogênicas, enquanto que o CO e os NO<sub>x</sub> têm amplo efeito negativo na saúde humana, conforme explicitado na análise de

inventário (item 4.2). Todos estes poluentes são constituintes do óleo diesel, insumo responsável pelos pela emissão dos poluentes calculados nos inventários.

Dessa forma, para se calcular o potencial de toxicidade humana, foram calculadas as quantidades de BTX em cada etapa do ciclo de vida da areia. Assim como procedido para a ecotoxicidade, tais quantidades foram multiplicadas por seus fatores de equivalência. As quantidades de CO e NO<sub>x</sub>, calculadas na análise de inventário, também por multiplicadas por seus fatores de equivalência (Tabela 18).

**Tabela 18 - Substâncias com efeitos toxicológicos, suas composições no óleo diesel e seus fatores de equivalência**

Substância	(g/ Kg oleo diesel)	Efeitos (m <sup>3</sup> /g)		
		Ar,	Água,	Solo,
Benzeno	0,08 <sup>1</sup>	1,0E+07 <sup>2</sup>	2,3 <sup>2</sup>	14,0 <sup>2</sup>
Tolueno	0,62 <sup>1</sup>	2,5E+03 <sup>2</sup>	4,0E-03 <sup>2</sup>	1,0E-03 <sup>2</sup>
Xileno	1,93 <sup>1</sup>	6,7E+03 <sup>2</sup>	1,1E-03 <sup>2</sup>	6,7E-05 <sup>2</sup>
CO	Variável*	8,3E+02 <sup>2</sup>	0	0
NO <sub>x</sub>	Variável*	2,0E+03 <sup>2</sup>	0	0

Fonte: <sup>1</sup> Petroleum HPV Testing Group Member Company, 1997. <sup>2</sup> Wenzel, Hauschild e Altling, 1997

\*As emissões de CO e NO<sub>x</sub> variam de acordo com a metodologia utilizada em cada inventário (item 4.2)

Realizando-se as devidas conversões e somando os valores, obteve-se os seguintes resultados para o potencial de toxicidade humana (Tabela 19).

**Tabela 19 – Valores do potencial de toxicidade humana para o ciclo de vida da areia**

Fase	Potencial de toxicidade (m <sup>3</sup> de compartimento/ m <sup>3</sup> de areia)			
	Ar	Água	Solo	Total
Extração	138,8E+04	0,3206	1,9050	<b>138,8E+04</b>
Beneficiamento	138,8E+04	0,3206	1,9050	<b>138,8E+04</b>
Armazenagem	24,5E+04	0,0566	0,3362	<b>24,5E+04</b>
Transporte	251,5E+04	0,5771	3,4295	<b>251,5E+04</b>
<b>Total</b>	<b>553,6E+04</b>	<b>1,275</b>	<b>7,576</b>	<b>553,6E+04</b>

Depois de calcular do impacto, encontraram-se os seguintes valores para o potencial de toxicidade humana normalizado e ponderado (Tabela 20).

**Tabela 20- Valores do potencial de toxicidade humana para cada fase do ciclo de vida da areia**

Procedimento	Potencial de toxicidade humana		
	Ar	Água	Solo
Normalização	6,03E-04	2,50E-05	8,25E-10
Ponderação	6,63-04	7,26E-05	0,2E-08

Como é possível perceber, existe maior potencial de toxicidade humana no ar, através da inalação dos contaminantes. O CO e o NO<sub>x</sub> também são poluentes exclusivos desse compartimento, contribuindo para que haja uma maior propensão de toxicidade na atmosfera.

#### Acidificação

A acidificação é provocada pela incapacidade do sistema ambiental de neutralizar substâncias ácidas. Assim, o indicador de categoria desse impacto é a liberação de próton (H<sup>+</sup> aq.), que na presença de emissões acidificantes (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> etc) pode alterar o pH do ambiente.

No que concerne à classificação, para uma substância ser classificada como acidificante, as seguintes condições devem ocorrer (WENZEL, HAUSCHILD e ALTING, 1997):

- A substância deve ser responsável pela adição ou liberação de íons de hidrogênio no ambiente;
- Os ânions devem ser retirados do sistema.

Já para o cálculo do impacto de potencial de acidificação, foram considerados os NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub>. Conforme explicitado anteriormente, tais substâncias, quando em contato com a umidade do ar ou a água presente no solo, sofrem reações que as tornam acidificantes.

De forma a padronizar a unidade das emissões, os NO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub> foram quantificados em termos de Kg de SO<sub>2</sub>, a partir dos os seguintes fatores de equivalência (FE) (Tabela 21).

**Tabela 21- Fatores de equivalência das substâncias acidificantes do ciclo de vida da areia**

<b>Fórmula</b>	<b>Reação</b>	<b>Mw (g/mol)</b>	<b>N</b>	<b>FE (Kg SO<sub>2</sub>/ kg subs.)</b>
SO <sub>x</sub> *	SO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O ► H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ► H <sup>+</sup> + SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	64,06	2	1
NO <sub>x</sub> *	NO <sub>2</sub> + ½H <sub>2</sub> O + ¼ O <sub>2</sub> ► H <sup>+</sup> + NO <sub>3</sub> H-	46,01	1	0,70

\* Assume-se “x” como tendo valor médio 2. Fonte: Wenzel, Hauschild e Alting, 1997.

Depois de uniformizar a unidade de medida, somaram-se as emissões em cada etapa do ciclo de vida da areia. O resultado encontra-se expresso na Tabela 22.

**Tabela 22 – Valores de potencial de acidificação para cada fase do ciclo de vida da areia**

<b>Fase</b>	<b>Acidificação (Kg SO<sub>2</sub> eq. / m<sup>3</sup> areia)</b>
Extração	1,45E-03
Beneficiamento	1,45E-03
Armazenagem	0,18E-03
Transporte	8,98E-03
<b>Total</b>	<b>12,06</b>

De acordo com os valores da Tabela 22, o maior potencial de acidificação, quer seja da água ou do solo, é decorrente da atividade de distribuição da areia, devido às emissões da frota de veículos.

No que concerne à normalização e ponderação, os valores obtidos foram, respectivamente: 0,092 e 0,126 Kg SO<sub>2</sub> eq. / m<sup>3</sup> areia.

#### Formação de ozônio troposférico

A formação fotoquímica de ozônio corre a partir de reações de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) ou monóxido de carbono na presença de luz. Tal formação pode afetar um amplo espectro de indivíduos ou ambientes, resultando assim, em multiplicidade de impacto. Para fins deste estudo, foi selecionado como indicador de categoria a quantidade de PAN presente na atmosfera, devido à sua estabilidade a baixas temperaturas.

No que diz respeito à classificação, para um COV formar um radical peróxido na atmosfera, este deverá (WENZEL, HAUSCHILD e ALTING, 1997):

- Conter hidrogênio; e
- Ser insaturado.

Quanto à caracterização, a partir da análise da composição do óleo diesel (um dos maiores responsáveis pelas emissões de COVs) e dos resíduos dos inventários (item 4.2), foram estabelecidas 8 substâncias com capacidade de contribuir para a formação fotoquímica do ozônio, cujos fatores de equivalência foram selecionados para o pior cenário (alta concentração do catalisador NOx, emitido pela queima de óleo diesel).

A descrição das substâncias selecionadas, as quantidades para cada etapa do ciclo de vida da areia e seus respectivos fatores de equivalência (FE) encontram-se na Tabela 23.

**Tabela 23- Substâncias com potencial de formação de ozônio troposférico, quantidade emitida e fatores de equivalência**

Substância	Qtidade de substância emitida (g)				FE (g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> / g gás)
	Ativ. 1	Ativ. 2	Ativ. 3	Ativ. 4	
<b>CO</b>	1,200	1,200	0,180	2,300	0,04
<b>Benzeno</b>	0,136	0,136	0,024	0,245	0,4
<b>Tolueno</b>	1,054	1,054	0,186	1,897	0,6
<b>Xileno</b>	3,281	3,281	0,579	5,906	1,0
<b>Etilbenzeno</b>	0,799	0,799	0,141	1,438	0,6
<b>Metano</b>	0,006	0,006	0,0009	0	0,007
<b>1,2,4 trimetilbenzeno</b>	3,808	3,808	0,672	6,854	1,2
<b>Aldeídos</b>	0	0	0	0,0047	0,5

Para a construção da Tabela 23, foram utilizadas as emissões de CO, CH<sub>4</sub> e aldeídos descritas nos inventários. As outras substâncias foram calculadas tendo como base os valores de referência do Petroleum HPV Testing Group Member Company (1997), que estabelece as porcentagens médias destas substâncias na composição do óleo diesel. Já os fatores de equivalência foram retirados do método EDIP, de Wenzel, Hauschild e Alting (1997).

Para o cálculo do potencial de formação fotoquímica de ozônio, as emissões das atividades são multiplicadas fatores de equivalência e somadas (Tabela 24).

**Tabela 24 - Valores de potencial de formação de ozônio troposférico**

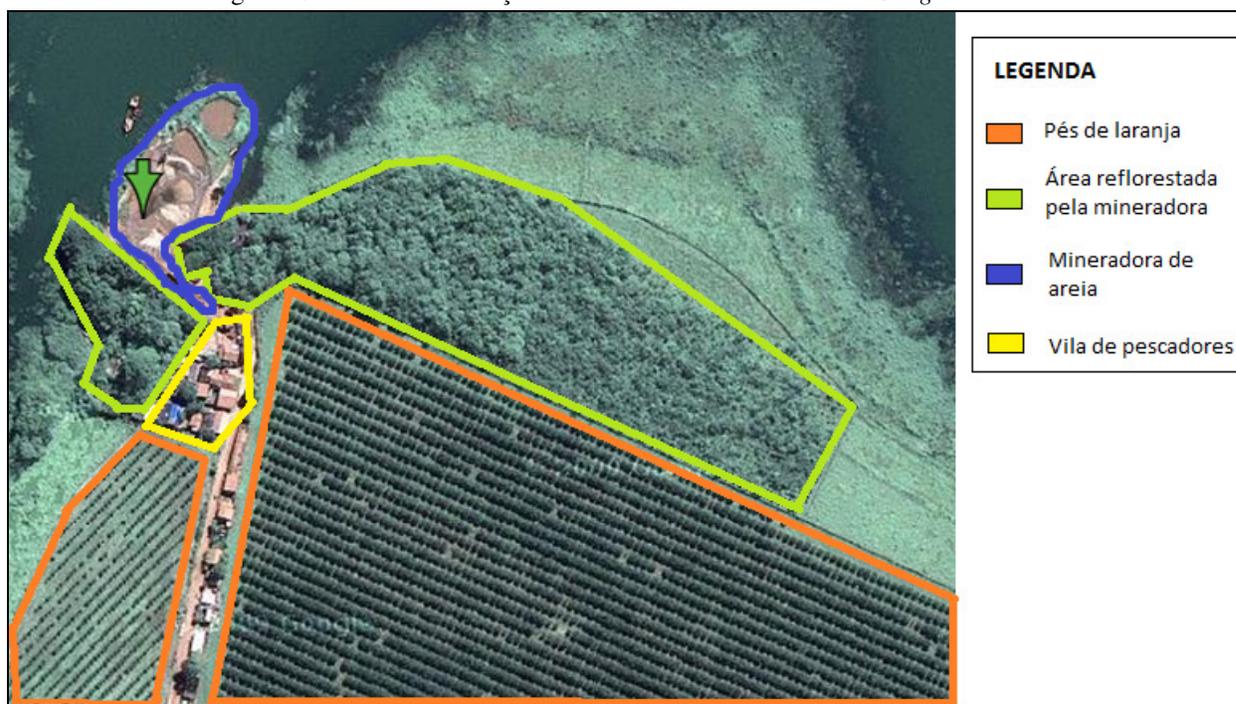
<b>Fase</b>	<b>Formação de ozônio troposférico (Kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq. / m<sup>3</sup> de areia)</b>
Extração	9,06
Beneficiamento	9,06
Armazenagem	1,60
Transporte	16,32
<b>Total</b>	<b>36,04</b>

Quanto à normalização e ponderação, os valores encontrados, foram, respectivamente: 0,291 e 0,378 Kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq. / m<sup>3</sup> de areia.

#### ***4.4. Interpretação***

Para desenvolvimento do presente trabalho, houve uma vistoria técnica na mineradora, que possibilitou a caracterização da área de lavra e entorno (Figura 18).

Figura 18 – Área da mineração e entorno extraída do software *Google Earth*



Como é possível visualizar, no entorno da mineradora há uma área reflorestada com 8 mil mudas pela empresa. Há também uma extensa plantação de laranja e uma pequena vila de pescadores, com atividades de subsistência baseadas na ictiofauna do rio.

Além disso, verificou-se as interferências positivas e negativas advindas da extração de areia, cujas alterações foram caracterizadas a partir do trabalho de Lelles *et al.* (2005), que utilizaram o método *check-list* para explicitar analiticamente os impactos ambientais de uma mineradora de areia.

No que diz respeito aos impactos positivos, sua maximização partiria, obviamente, do aumento da extração do agregado miúdo.

Já no que concerne às interferências prejudiciais, algumas ações preventivas pontuais e específicas podem ser executadas na mineradora, direcionadas aos principais impactos negativos verificados na área de extração.

O Quadro 4 ilustra os impactos negativos potenciais que podem ocorrer em uma mineradora a partir de Lelles *et al.* (2005), a verificação *in loco* na empresa e as medidas necessárias para prevenção, que serão detalhadas a seguir.

**Quadro 4- Impactos negativos, verificação *in loco* e medidas preventivas**

<b>Impactos potenciais negativos de Lelles <i>et al.</i> (2005)</b>	<b>Verificação <i>in loco</i></b>	<b>Sugestão de medidas preventivas</b>
1. Depreciação da qualidade do ar, devido ao lançamento de gases provenientes dos motores e de partículas sólidas, em virtude da utilização de maquinarias em diferentes operações.	Há o uso de dragas e motores movidos a diesel, que lançam gases na atmosfera	Instalação de catalisadores especiais para controle da poluição
2. Aumento da concentração de partículas em suspensão (turbidez) no curso d' água, em virtude do surgimento de fenômenos erosivos, decorrentes da exposição do solo às intempéries.	Não verificado. A área utilizada pela empresa é pequena. Às áreas contíguas ao empreendimento são vegetadas	Análise de cor aparente e turbidez e cuidados adequados a fim de evitar o carreamento de materiais para o corpo d' água
3. Contaminação do curso d' água causada pelos resíduos (óleos, graxas, lubrificantes) provenientes de maquinarias utilizadas nos diferentes tipos de operações.	Não há impermeabilização dos pisos das dragas, que estavam com manchas de vazamentos	Análise do teor de óleos e graxas na água. Além disso, os profissionais responsáveis pela manutenção deverão tomar os devidos cuidados a fim de evitar vazamentos ou o descarte de materiais contaminados (estopa, embalagens e afins) com diesel, lubrificante ou graxa na água.
4. Aumento da concentração de partículas em suspensão (turbidez) no curso d' água, devido ao atrito do material mineral com o corpo líquido, durante o processo de extração de areia.	Durante a extração de areia, é perceptível o aumento de turbidez ocasionado pelo revolvimento do fundo do leito	Análises periódicas cor aparente e turbidez e instalação de peneiras nas laterais dos barcos
5. Depreciação da qualidade física, química e biológica da água superficial, pelo lançamento de efluentes advindos do esgoto sanitário.	Não verificado. A mineradora utiliza banheiros químicos.	-----

**Quadro 4 - Impactos negativos, verificação in loco e medidas preventivas (cont.)**

<b>Impactos potenciais negativos de Lelles <i>et al.</i> (2005)</b>	<b>Verificação <i>in loco</i></b>	<b>Sugestão de medidas preventivas</b>
6. Alteração da calha original dos cursos d' água, em virtude do uso de equipamentos de extração de areia nos leitos dos rios.	A instalação do maquinário e das bacias de decantação às margens do rio criou um "bolsão de areia", que alterou a calha original do rio.	Procurar otimizar o espaço ocupado pela mineradora às margens do rio, de forma a minimizar as alterações na calha.
7. Possibilidade de interferência na velocidade e direção do curso d' água, tendo em vista a eliminação de bancos de sedimentos presentes nos leitos dos	Não verificado. A quantidade de areia extraída é pequena comparada ao volume de água do curso d' água.	-----
8. Diminuição da infiltração de água no solo, devido à compactação ocasionada pelo uso de máquinas pesadas e à impermeabilização promovida pela instalação da infra-estrutura do empreendimento.	Não verificado. A área utilizada pela minerada é muito pequena e não é impermeabilizada.	-----
9. Desregularização da vazão dos cursos d' água, devido à erradicação da cobertura vegetal e da compactação do solo.	Em uma pequena área às margens do rio houve a retirada da vegetação e há compactação do solo, consequência do uso de maquinários.	Como compensação, já houve o reflorestamento de 8 mil mudas em uma área contígua à APP do empreendimento
10. Depreciação da qualidade do solo, decorrente da diminuição da sua fertilidade, plasticidade e aeração, por causa da compactação pelo uso de maquinarias pesadas, e da remoção da matéria orgânica nas áreas onde o solo foi exposto.	De fato, o uso de pá-carregadeira e caminhões às margens do rio pode compactar o solo.	Como compensação, já houve o reflorestamento de 8 mil mudas em uma área contígua à APP do empreendimento
11. Incidência de processos erosivos no solo, em virtude da interferência advinda da compactação, com a consequente depreciação da sua qualidade.	Não verificado. A área utilizada pela empresa é pequena.	-----
12. Indução a uma instabilidade do solo nos ambientes ribeirinhos, tendo em vista a concentração de operações nestes locais para a extração de areia.	Não verificado. O número de maquinários pesados é pequeno.	-----

**Quadro 4 - Impactos negativos, verificação in loco e medidas preventivas (cont.)**

<b>Impactos potenciais negativos de Lelles <i>et al.</i> (2005)</b>	<b>Verificação <i>in loco</i></b>	<b>Sugestão de medidas preventivas</b>
13. Danos à microbiota do solo, ocasionados pelos trabalhos de remoção da vegetação e abertura da rede viária e pela interferência direta nesta, decorrente da compactação dos solos, em virtude do tráfego de maquinarias pesadas.	Não verificado. A rede viária já pré-existia no local em virtude de população ribeirinha próxima.	-----
14. Danos à microbiota do solo, em virtude da maior exposição do solo às intempéries, decorrente da retirada da vegetação nessas áreas.	Houve supressão da vegetação para instalação das dragas, equipamentos do beneficiamento e área de armazenagem.	Como compensação, já houve o reflorestamento de 8 mil mudas em uma área contígua à APP do empreendimento
15. Depreciação da qualidade do solo, decorrente da contaminação causada pelos resíduos (óleos, graxas, lubrificantes etc.) provenientes das máquinas utilizadas nos diferentes tipos de trabalho.	A draga localizada à margem do rio, os caminhões e a pá-carregadeira são passíveis de vazamento de óleos.	Análise do teor de óleos e graxas na água. Tomar os devidos cuidados a fim de evitar vazamentos ou o despejo de materiais contaminados (estopa, embalagens e afins) com diesel, lubrificante ou graxa na água.
16. Estresse da fauna silvestre, ocasionado pela geração de ruídos advindos do trânsito de maquinarias e pelo aumento de presença humana no local.	Não houve a identificação visual de espécimes animais na área, possivelmente afugentadas pelos ruídos.	Programa de Manejo da Fauna e instalação de amortecedores acústicos especiais.
17. Redução espacial do “habitat” silvestre por ocasião da erradicação da cobertura vegetal nativa nas áreas destinadas à instalação das estruturas de extração de areia e da rede viária.	Não verificado. A cobertura vegetal nativa, que inexistia na época de instalação do empreendimento, foi reflorestada.	-----
18. Diminuição da capacidade de suporte do meio para a fauna silvestre, devido à redução do “habitat”.	Não verificado. Além de a mineradora ocupar uma área muito pequena, houve o reflorestamento da APP.	-----
19. Estresse da fauna aquática, ocasionado pela geração de turbulência no curso d’água durante a extração de areia.	Não houve a identificação visual de espécimes aquáticas na água, possivelmente afugentadas pela turbulência das águas.	Programa de Manejo da fauna, em especial, as aquáticas

**Quadro 4 - Impactos negativos, verificação in loco e medidas preventivas (cont.)**

<b>Impactos potenciais negativos de Lelles <i>et al.</i> (2005)</b>	<b>Verificação <i>in loco</i></b>	<b>Sugestão de medidas preventivas</b>
20. Tendência ao achatamento da base genética das espécies animais aquáticas, advindo das conseqüências negativas no corpo líquido, por possíveis derramamentos de óleos, graxas e lubrificantes.	O possível vazamento de óleos, graxas e lubrificantes será insignificante frente ao volume de água do corpo d'água	-----
21. Comprometimento da vida aquática devido à diminuição da produtividade global do seu ecossistema típico, decorrente do aumento da turbidez nas coleções d' água.	O revolvimento de fundo do leito e o extravase de material lavrado pelas laterais do barco aumentam em muito a concentração de turbidez na água.	Análises periódicas cor aparente e turbidez e instalação de peneiras nas laterais dos barcos
22. Tendência ao achatamento da base genética das espécies vegetais aquáticas, pelo aumento do fluxo d' água induzido pela extração de areia, o que dificulta a fixação destes vegetais no corpo líquido.	Não houve a identificação visual de espécimes vegetais na água, possivelmente ocasionada pela turbulência gerada pelas dragas.	Programa de Manejo da Flora, em especial as aquáticas.
23. Redução do banco de propágulos do solo, devido a erradicação da vegetação para abertura da malha viária e instalação das estruturas de extração de areia.	A estrada utilizada para transporte de areia já pré-existia no local. Houve revegetação da APP	-----
24. Achatamento da base genética das espécies vegetais terrestres, em função da erradicação da cobertura vegetal nativa para a instalação do empreendimento, inclusive em ambientes de preservação permanente.	O reflorestamento realizado pela empresa teve o embasamento de um projeto de manejo florestal, diversificando o número e o tipo dos espécimes plantados.	-----
25. Tendência ao achatamento da base genética das espécies vegetais aquáticas, induzido pelas conseqüências negativas do aumento de turbidez nos cursos d' água.	O elevado aumento de turbidez na área de extração pode prejudicar as plantas aquáticas	Programa de Manejo da Flora
26. Depreciação da qualidade de vida dos trabalhadores e de vizinhos situados no entorno do empreendimento, devido aos ruídos causados pelas máquinas nas diferentes operações de implantação do empreendimento.	Além dos colaboradores, a vila de pescadores é prejudicada pelos ruídos	Aproveitamento da cortina verde; Periodicidade e horários rígidos durante o funcionamento da mineradora; Instalação de amortecedores acústicos especiais.

**Quadro 4 - Impactos negativos, verificação in loco e medidas preventivas (cont.)**

<b>Impactos potenciais negativos de Lelles <i>et al.</i> (2005)</b>	<b>Verificação <i>in loco</i></b>	<b>Sugestão de medidas preventivas</b>
27. Impacto visual, associado às instalações das estruturas, ao processo de retirada da vegetação, à estocagem da areia e à descaracterização da paisagem natural.	O empreendimento deteriora a paisagem natural da APP e do curso do rio	Manejo florestal da área reflorestada
28. Possíveis danos à saúde pública, pela importação e disseminação de vetores e doenças com a vinda de trabalhadores de outras regiões.	Todos os trabalhadores empregados na mineradora são moradores da cidade	-----
29. Diminuição da possibilidade de usos múltiplos da água, tendo em vista o aumento da sua turbidez e a possibilidade de sua contaminação	O aumento da turbidez não é suficiente para diminuir os usos múltiplos dada a grande vazão do rio.	-----
30. Depreciação do patrimônio público, em virtude das trepidações ocorridas com o uso de máquinas pesadas, podendo provocar avarias em pontes, estradas e construções próximas ao local.	Nas proximidades da mineradora existe apenas a vila de pescadores, mas o maquinário utilizado não é suficientemente pesado para provocar danos às construções	-----
31. Possibilidade de ocorrência de acidentes com animais peçonhentos, em razão da permanência de entulhos e detritos advindos da extração.	Os resíduos oriundos das peneiras, denominado “cascalho”, podem atrair escorpiões e outros animais venenosos, possibilitando a ocorrência de acidentes	Limpeza constante da área da mineração e retirada dos resíduos, destinando-os adequadamente.
32. Risco de acidentes de trabalho, tendo em vista a grande utilização de mão-de-obra braçal durante toda a vida útil do empreendimento.	Foi verificada a inobservância à legislação pode provocar acidentes aos trabalhadores	Observância da Norma Regulamentadora NR nº 22, aprovada pela Portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978.
33. Risco de acidentes para os banhistas, devido à formação de “panelões” pela ação das dragas.	A extração de areia ocorre a quase 3 quilômetros da margem, impedindo o risco de acidentes com banhistas.	----
34. Possibilidade de ocorrência de acidentes automobilísticos, por causa da queda de areia durante o transporte para as fontes de consumo.	A falta de manutenção nos veículos utilizados pra transportar areia pode provocar acidentes	Controle rigoroso da velocidade dos caminhões, treinamento para os motoristas e manutenção dos veículos

**Quadro 4 - Impactos negativos, verificação in loco e medidas preventivas (cont.)**

<b>Impactos potenciais negativos de Lelles <i>et al.</i> (2005)</b>	<b>Verificação <i>in loco</i></b>	<b>Sugestão de medidas preventivas</b>
35. Aumento da possibilidade de ocorrer acidentes nos ambientes onde houve instabilidade do solo, por ocasião da concentração de operações para a extração de areia.	Não foi verificada a instabilidade do solo na área de mineração	-----
36. Diminuição da oferta de areia, em virtude da desativação do empreendimento, repercutindo negativamente na sociedade.	A empresa está em pleno funcionamento, com projeto para expansão	-----

De forma detalhada, além da depreciação da qualidade de vida dos funcionários e vizinhos situados no entorno, o ruído oriundo dos maquinários utilizados pode provocar estresse e afugento da fauna local.

Assim, para evitar os ruídos decorrentes dos equipamentos de retirada do material mineral e de seu beneficiamento, deve-se aproveitar a cortina verde oriunda da área reflorestada pela empresa, que atua como um obstáculo natural ao ruído e também impede a formação de processos erosivos acelerados. Para tanto, a cortina verde deverá receber adequado manejo florestal.

Outra recomendação refere-se ao horário de funcionamento da lavra, que deverá ser devidamente seguido. A periodicidade e os horários rígidos proverão maior conforto acústico à circunvizinhança.

Adicionalmente, sugere-se a instalação de amortecedores acústicos especiais, que diminuirão o ruído advindo dos equipamentos e caminhões movidos a diesel.

Outro aspecto a ser considerado refere-se à poluição das águas. Durante a extração de areia, há revolvimento dos sedimentos do fundo do leito do rio e extravase de material mineral durante o carregamento do barco, para eliminar a parte líquida da polpa (Figura 19).

Figura 19– Extravase do material pela lateral do barco durante carregamento



Ademais, os resíduos oriundos do beneficiamento também são fontes de poluição das águas do rio. Os resíduos ficam armazenados em bacias de decantação, que promovem a sedimentação dos finos e retornam a água ao canal através de aberturas em sua parte superior. As bacias de decantação deverão receber manutenção frequente de forma a evitar o despejo de finos no canal e entupimento das aberturas, com conseqüente extravase de material.

O extravase de material com o conseqüente despejo de finos no rio aumenta a concentração de partículas em suspensão (turbidez) e dissolvidas (cor aparente), o que diminui a entrada de luz no corpo d'água e compromete a produção de oxigênio por organismos fotossintetizantes.

Outra fonte de poluição hídrica advém do vazamento de óleos, graxas e lubrificantes provenientes dos motores das dragas, que também pode contaminar o curso d'água.

Dessa maneira, sugere-se que análises periódicas de turbidez e teor de óleos e graxas sejam realizadas e que se faça uso de peneiras nas laterais do barco, que reterão a areia e permitirão a passagem da água. Durante a manutenção das dragas, os profissionais responsáveis deverão tomar os devidos cuidados a fim de evitar vazamentos ou o despejo de materiais contaminados (estopa, embalagens e afins) com diesel, lubrificante ou graxa na água.

Complementarmente, como forma de compensar a redução da complexidade estrutural da área que abriga a fauna e flora locais e que compromete o desenvolvimento da biota e sua

variabilidade genética, sugere-se a criação de programas de manejo de fauna e flora, em especial, as aquáticas.

Tais programas visariam à manutenção da diversidade de espécies e o monitoramento de densidades populacionais e estruturas demográficas. As espécies mais sensíveis às atividades da mineradora deverão ter seus habitats críticos monitorados e seus aspectos ecológicos, biológicos e genéticos, compreendidos, a fim de se desenvolver biotecnologias aplicadas à sua reprodução.

Além disso, a depreciação da qualidade do ar também é um impacto ocasionado pela atividade mineradora. O tráfego de veículos e o uso de equipamentos movidos a diesel provocam o lançamento de gases na atmosfera.

Assim, recomenda-se um controle rigoroso da velocidade dos caminhões, treinamento para os motoristas sobre forma adequada de conduzir os veículos, limpeza e manutenção preventiva dos veículos e do maquinário e catalisadores para controle da poluição através do gerenciamento e monitoramento da frota e equipamentos.

Já os riscos de acidentes de trabalho advindos da utilização de mão de obra braçal decorrem da imprudência e desrespeito a normalização por parte de empresários e funcionários. Alguns aspectos relacionados à mineradora analisada referem-se ao transporte inadequado de funcionários, falta de uso de equipamento de proteção individual – EPI - (ausência de protetores auriculares e uso de calçados inadequados) e falta de segurança na draga flutuante (inexistência de corrimão).

Tais riscos podem ser minimizados a partir da observância dos preceitos de organização no ambiente de trabalho estabelecidos pela Norma Regulamentadora NR nº 22, aprovada pela Portaria nº 3.214, de 08 de junho de 1978. Tal norma objetiva compatibilizar o planejamento e desenvolvimento da atividade mineira com a busca permanente da segurança e saúde dos trabalhadores.

#### 4.4.1. Identificação de questões significativas

Para a identificação das questões mais relevantes, foi adotada a análise de contribuição das quatro etapas consideradas no estudo. Segundo ABNT (2009b), a análise de contribuição é um procedimento estatístico opcional que identifica aqueles dados que têm a maior contribuição para o resultado do indicador.

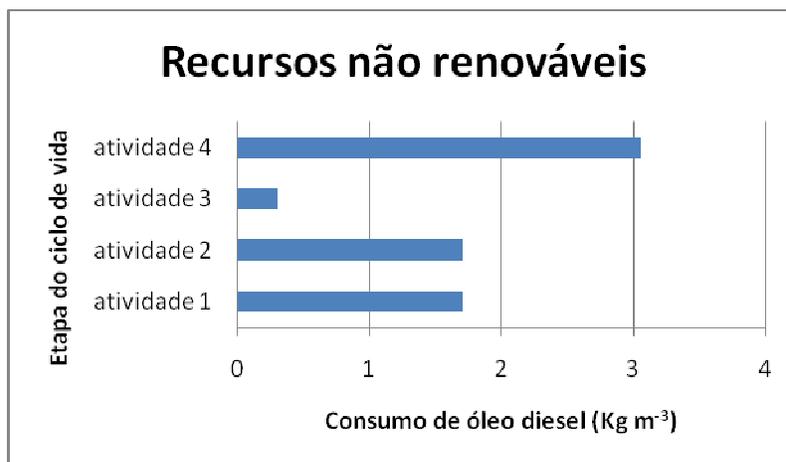
Primeiramente, analisou-se a contribuição dos inventários. Optou-se por examinar as emissões atmosféricas e, conjuntamente, os recursos renováveis e não renováveis.

##### Recursos renováveis e não renováveis

O petróleo integra diversos produtos que estão cotidianamente inseridos no uso doméstico, comercial, agrícola ou industrial. O óleo diesel, originado do refino de petróleo, é o principal combustível e recurso não renovável utilizado como fonte de energia nas etapas do ciclo de vida da areia.

As quantidades de óleo diesel necessárias para a manufatura da areia podem ser vistas na Figura 20.

Figura 20 - Consumo de óleo diesel para cada fase do ciclo de vida



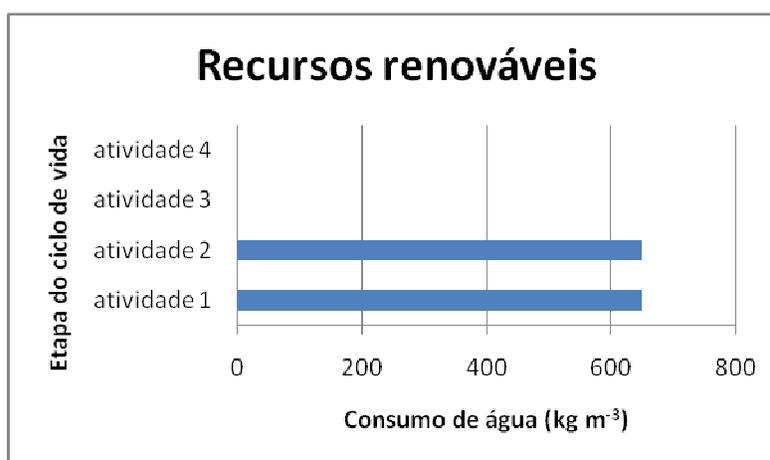
Na atividade 4 (transporte) ocorre a maior demanda por óleo diesel, pois este é o combustível fóssil base dos veículos utilizados para distribuição. Na seqüência, as maiores

demandas ocorrem nas atividades 1 e 2 (extração e beneficiamento), tendo em vista que óleo diesel abastece todo o maquinário das dragas.

Já a água, insumo vital para todas as atividades antrópicas, é essencial para a sobrevivência da vida no planeta. Embora seja considerado um recurso renovável, a água, depois de poluída, torna-se uma fonte que pode ter um tratamento complexo e oneroso, além de prejudicar fauna, flora e todo o ecossistema dependente.

Na Figura 21 é possível visualizar os montantes de água utilizados para se produzir o agregado.

Figura 21– Consumo de água para cada fase do ciclo de vida da areia



Como é possível observar, as etapas de extração e beneficiamento são responsáveis por cerca de 100% de toda a água utilizada. Tal situação ocorre, pois nesses sistemas existe um alto consumo do recurso, necessário para dragar a areia. Nestas etapas, a água é utilizada como veículo facilitador do transportar da areia, já que a polpa, por seu formato mais fluido, é mais facilmente distribuída pelos dutos.

É importante ressaltar, contudo, que a análise das quantidades dos recursos utilizados é parcial e incompleta. A qualidade dos recursos, embora não abordada no estudo, é fator ímpar; o uso de 1 quilo de água, por exemplo, tem implicações ambientais diferentes de 1 quilo de óleo diesel.

### Emissões atmosféricas

A introdução de diferentes substâncias na atmosfera pode provocar alterações em suas propriedades, podendo prejudicar a biota ou até mesmo fatores abióticos, através de modificações físico-químicas. Assim, as emissões atmosféricas foram compiladas a fim de facilitar a interpretação dos dados (Tabela 25).

**Tabela 25 – Emissões atmosféricas totais nas etapas do ciclo de vida da areia**

<b>Emissões atmosf.</b>	<b>Atividade 1</b>	<b>Atividade 2</b>	<b>Atividade 3</b>	<b>Atividade 4</b>	<b>Total</b>
	Kg.m <sup>-3</sup> de areia				
<b>C<sub>x</sub>H<sub>y</sub></b>	0,48E-04	0,48E-04	0,72E-05	0,28E-02	<b>0,29E-02</b>
<b>CO</b>	0,12E-02	0,12E-02	0,18E-03	0,23E-02	<b>0,49E-02</b>
<b>NO<sub>x</sub></b>	0,14E-02	0,14E-02	0,21E-03	1,04E-02	<b>0,13E-01</b>
<b>MP</b>	0,24E-03	0,24E-03	0,24E-03	0,81E-02	<b>0,48E-03</b>
<b>SO<sub>x</sub></b>	0,47E-03	0,47E-03	0,36E-04	0,17E-02	<b>0,26E-02</b>
<b>CH<sub>4</sub></b>	0,60E-05	0,60E-05	0,90E-06	0	<b>0,13E-04</b>
<b>N<sub>2</sub>O</b>	0,26E-04	0,26E-04	0,40E-05	0,88E-05	<b>0,65E-04</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	0,52E+01	0,52E+01	0,08E+01	0,06E+01	<b>11,8</b>
<b>Total</b>	<b>5,20</b>	<b>5,20</b>	<b>0,80</b>	<b>0,62</b>	<b>11,82</b>

Como é possível perceber, as atividades de extração e beneficiamento, além de ter uma maior demanda por recursos renováveis, são também responsáveis pelas maiores quantidades de emissões atmosféricas (cerca de 44% cada uma).

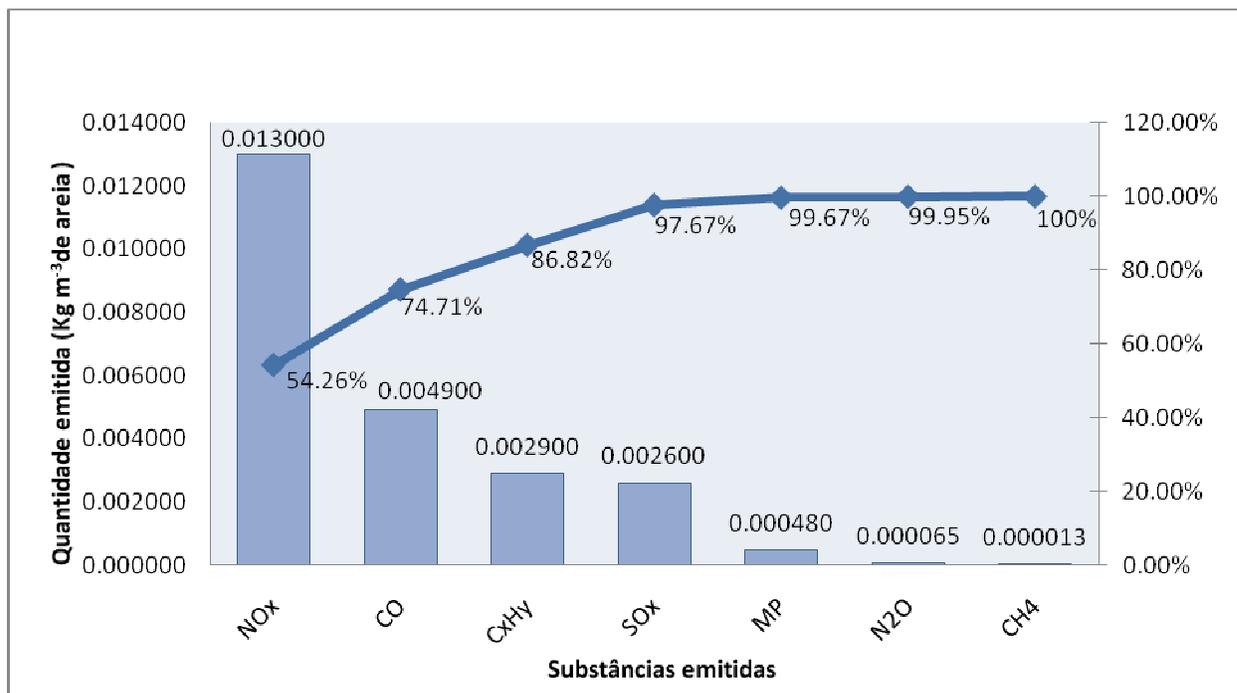
Verificou-se que 99,8% das emissões atmosféricas são oriundas do dióxido de carbono. O CO<sub>2</sub>, embora não afete diretamente a saúde humana, é um dos gases causadores do aquecimento global devido à acentuação do efeito estufa.

Especificamente para o setor de transporte, observou-se que 96,8% das emissões advêm do CO<sub>2</sub>. Tal valor é corroborado pelo IPCC (*International Panel on Climate Change*, Painel Internacional de Mudanças Climáticas) (2000), que afirma que o dióxido de carbono é responsável por cerca de 97% das emissões provenientes do setor de transporte.

Já as outras 0,2% das emissões atmosféricas, incluem gases potencialmente prejudiciais à saúde humana. Com o intuito de visualizar as contribuições em porcentagem de

cada uma das outras substâncias emitidas analisadas, construiu-se um diagrama de Pareto, com as sete substâncias restantes e a quantidade emitida por m<sup>3</sup> de areia manufacturado (Figura 22).

Figura 22 – Diagrama de Pareto com as emissões atmosféricas, excluindo-se CO<sub>2</sub>



Observa-se que as maiores emissões são de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e monóxido de carbono, com percentagens de 54,26% e 20,45%, respectivamente, em relação ao volume total das emissões atmosféricas (exceto dióxido de carbono).

Dentre alguns efeitos prejudiciais do NO<sub>x</sub>, cita-se: metemoglobinemia, problemas pulmonares, chuvas ácidas e alteração da permeabilidade das membranas celulares das plantas.

A metemoglobinemia é uma síndrome clínica causada pelo aumento da concentração de metemoglobina no sangue, cujo maior efeito é a diminuição da oxigenação do corpo humano, que pode ser fatal (UDEH, BITTIKOFER e SUM-PING (2001), citados em NASCIMENTO *et al.*, 2008).

Asmáticos e pessoas que sofrem de doenças pulmonares obstrutivas crônicas são muito sensíveis aos impactos dos NO<sub>x</sub> sobre a função pulmonar. Além disso, o NO<sub>x</sub> é um importante contribuinte para a formação de chuvas ácidas (RIBEIRO e ASSUNÇÃO, 2002).

O NO<sub>x</sub> é também responsável por edemas pulmonares, pois é solúvel em gordura, penetrando profundamente nos alvéolos, provocando, além disso, a desnaturação de proteínas, tornando porosas as paredes dos alvéolos e capilares (STELLMAN e DAUM, 1975). Com isto, os pulmões vão acumulando lentamente um líquido espumoso. O estágio final do edema é a morte por sufocamento (MARTINS, 2001).

Nos vegetais, NO<sub>x</sub> diminui a permeabilidade das membranas celulares. São destruídos clorofila e carotenóide, diminuindo a capacidade fotossintética (STELLMAN e DAUM, 1975).

Martins (2001), corrobora afirmando que os oxidantes bloqueiam a troca gasosa das folhas. Um outro efeito característico do NO<sub>x</sub> é a formação de nitrito no interior da célula que tem atividade metagênica, alterando as características hereditárias.

No que diz respeito ao monóxido de carbono, os efeitos na saúde humana dependem essencialmente da duração da exposição ao CO, da concentração do CO e da ventilação alveolar (GANONG, 1999).

No Quadro 5 estão discriminados os principais efeitos clínicos e fisiológicos de diferentes concentrações de CO em função do tempo de exposição:

**Quadro 5– Efeitos do CO em função do tempo de exposição**

Qtidade de CO (ppm) no ambiente		Efeitos
Tempo de exposição		
1h	8h	
<b>0</b>	0	Padrão fisiológico em não fumantes
<b>55-80</b>	15-18	Diminuição da função cardíaca em indivíduos debilitados, alterações na corrente sanguínea e após prolonga exposição, respostas hemopoéticas.
<b>110-170</b>	30-45	Diminuição da capacidade visual, redução da vigilância e decréscimos na capacidade de trabalho máxima.
<b>280-575</b>	75-155	Fraca dor de cabeça, cansaço, dispnéia em esforço, vasodilatação cutânea, alterações eletrofisiológicas e problemas psicomotores gerais.
<b>575-860</b>	155-235	Dores de cabeça intensas e náuseas.
<b>860-1155</b>	235-310	Fraqueza muscular, náuseas, vômitos, visão obscura e dores de cabeça intensas
<b>1430-1710</b>	390-470	Coma, atividade cardíaca e respiratória debilitada, às vezes fatal.
<b>2000-2280</b>	550-630	Falência respiratória e morte.

Fonte: Adaptado de Armstrong (2000)

Diante do exposto, as maiores emissões atmosféricas, oriundas do ciclo de vida areia, requerem atenção especial por seu caráter prejudicial, quer seja ao meio ambiente, quer seja à saúde humana.

Com relação à identificação de questões significativas da avaliação de impacto ambiental, primeiro converteram-se as interferências ambientais em potenciais de impactos ambientais, obtendo-se os seguintes resultados (Tabela 26).

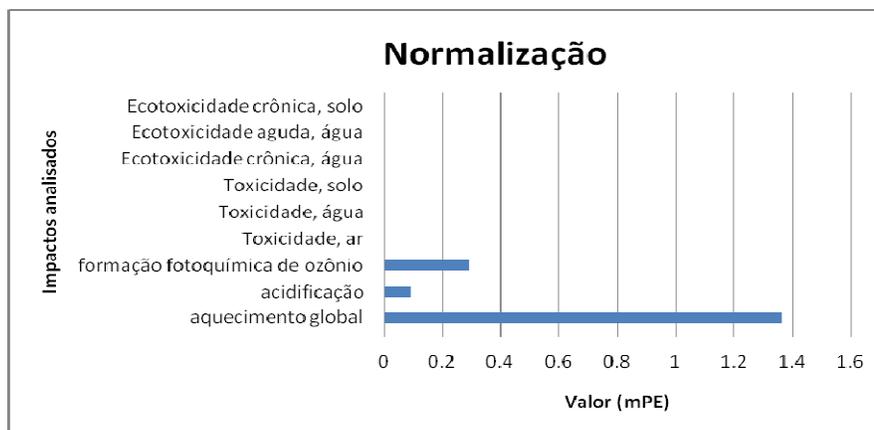
**Tabela 26 – Potenciais de impactos ambientais, unidade de referência e valor encontrado**

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
<i>Impactos Globais</i>		
Aquecimento Global	Kg CO <sub>2</sub> eq m <sup>-3</sup>	11,88
<i>Impactos Regionais</i>		
Acidificação	Kg SO <sub>2</sub> eq m <sup>-3</sup>	12,06
Formação fotoquímica de ozônio	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq m <sup>-3</sup>	36,04
Toxicidade humana	m <sup>3</sup> de ar.m <sup>-3</sup> areia	5536000
	m <sup>3</sup> de água.m <sup>-3</sup> areia	1,275
	m <sup>3</sup> de solo.m <sup>-3</sup> areia	7,576
Ecotoxicidade	m <sup>3</sup> de água (crônico).m <sup>-3</sup> areia	71,11
	m <sup>3</sup> de água (agudo).m <sup>-3</sup> areia	177,80
	m <sup>3</sup> de solo (crônico).m <sup>-3</sup> areia	11,22

Em seguida, verificou-se da magnitude das contribuições. A normalização e a ponderação interpretam a contribuição da areia em mPE (mili-Per capita-Equivalente), unidade que define, em partes por mil, o consumo médio de cada pessoa.

O perfil ambiental, ilustrado na Figura 23, mostra que, com relação ao consumo médio per capita, a areia contribui especialmente para o aquecimento global, seguido pela formação fotoquímica de ozônio.

Figura 23 – Normalização dos impactos ambientais

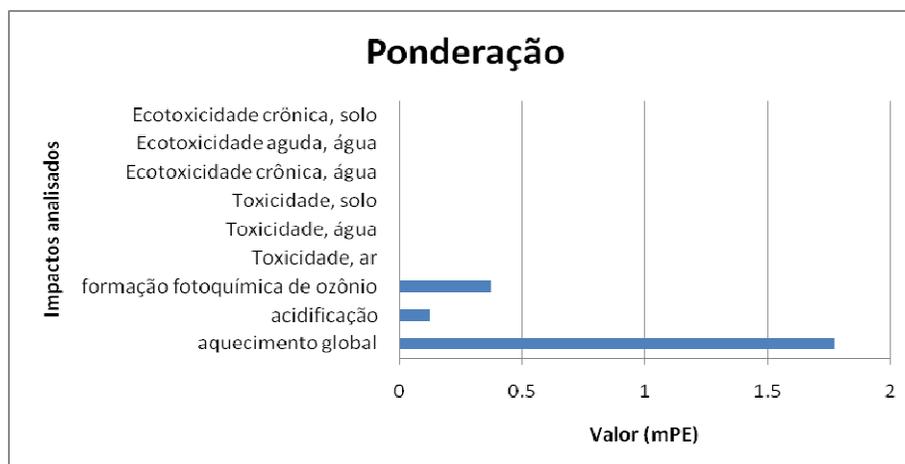


Os valores para toxicidade e ecotoxicidade são menos significativos quando comparados com os outros impactos, o que justifica sua inexpressividade na Figura 23.

Entretanto, boa parte dos compostos presentes no óleo diesel é classificada como carcinogênicos potenciais ou tóxicos, assim, é importante que a mineradora tenha um plano para situações de emergência provocadas por derrame de óleo diesel no solo e na água.

Quanto à atribuição de magnitude, a normalização por si só não é capaz de determinar o impacto mais crítico. Para tanto, os valores dos impactos são, depois de normalizados, ponderados a partir de valores que expressam metas de redução de impactos. Com base neste critério, a contribuição do aquecimento global apresenta a maior prioridade. Os resultados encontram-se expressos na Figura 24.

Figura 24 – Ponderação dos impactos ambientais

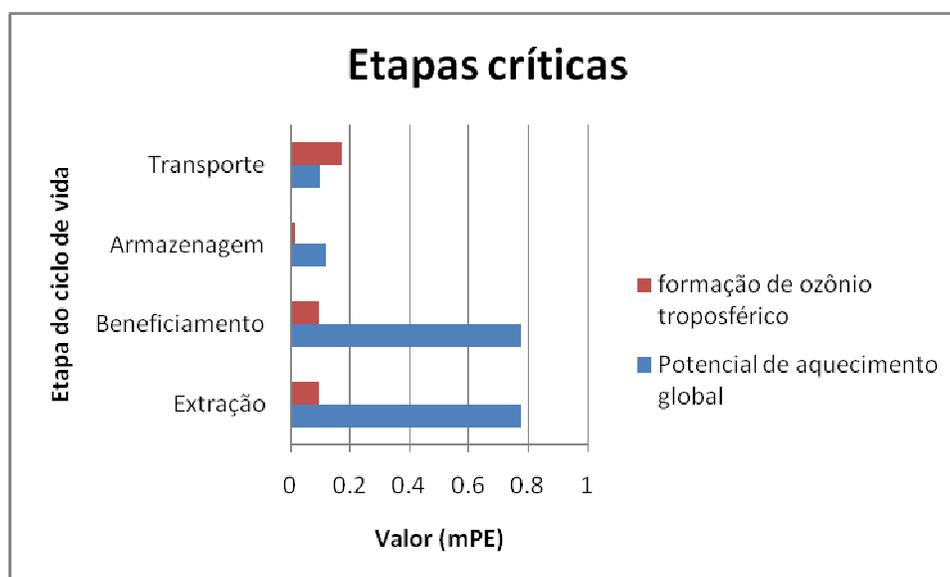


Considerando que a intensificação da formação fotoquímica de ozônio e do aquecimento global está diretamente relacionada ao consumo de óleo diesel, recomenda-se um adequado programa de gerenciamento e monitoramento da frota de veículos e equipamentos de dragagem.

Dentre os direcionamentos de tal programa, sugere-se: controle rigoroso da velocidade e treinamento para os motoristas sobre forma adequada de conduzir os caminhões, limpeza e manutenção preventiva dos veículos e do maquinário e instalação de catalisadores especiais para controle da poluição.

De forma específica, verificou-se quais são as etapas críticas, ou seja, aquelas que implicam em maior impacto ambiental (Figura 25).

Figura 25 – Etapas críticas do ciclo de vida da areia



Como é possível observar, as etapas de extração e beneficiamento são as que implicam em maior contribuição para o potencial de aquecimento global.

A fim de minimizar tal contribuição, recomenda-se o adequado dimensionamento das bombas centrífugas, destinadas ao bombeamento da polpa. Tais bombas são fundamentais para a otimização da potência necessária para extração e beneficiamento da areia, baixando o consumo de óleo diesel.

De forma exemplificativa, Martins (2003) estudou a otimização de um sistema de bombeamento, constatando que a bomba a ser utilizada deve ter diferentes revestimentos (ligas

metálicas, elastômeros etc.) e desenhos, principalmente na parte hidráulica, que variam de acordo com as características da polpa.

Ainda no estudo de Martins (2003), foi verificado que o adequado dimensionamento das bombas implicou em uma diminuição de 40% no consumo de óleo diesel e os tempos de carregamento e descarregamento diminuíram cerca de 15%.

Assim, sugere-se a substituição das dragas e suas respectivas bombas centrífugas, a fim de diminuir o número de horas com equipamentos parados para manutenção, aumentar a eficiência operacional e a capacidade produtiva e diminuir o consumo de óleo diesel, o que implica em ganhos econômicos e ambientais.

Já a etapa de transporte é a etapa que mais contribui para a formação fotoquímica do ozônio. Diante de tal panorama, sugerem-se medidas a curto, médio e longo prazo. A curto e médio prazos recomenda-se a implementação do programa de gerenciamento da frota, que inclui: manutenções preventivas, estoque e descarte corretos de combustíveis e lubrificantes, controle de pneus, instalação de controladores de velocidade e a devida gestão de recursos humanos.

A longo prazo, sugere-se a troca dos veículos. Equipamentos mais novos tem sistemas de tratamento de gases de escape mais eficientes, o que reduz o nível de poluentes emitido pelos caminhões.

#### **4.4.2. Verificação de completeza, sensibilidade e consistência**

Neste item estão descritas as verificações da completeza, sensibilidade e consistência das fases de ICV e AICV, etapas previstas para ampliar o grau de certeza e confiabilidade dos resultados do estudo.

##### Análise de Completeza

Com relação à fronteira geográfica, observou-se que a maior parte utilizada é proveniente de fontes secundárias, com exceção dos dados obtidos para o óleo diesel e água, coletados diretamente na mineradora. Tal procedimento se deu, sobretudo, devido a falta de banco de dados nacionais, que seriam mais precisos quanto à realidade da área de estudo.

Assim, houve consultas a publicações internacionais a fim de buscar valores de referência para os efluentes e as emissões de cada fase da manufatura da areia e para quantificar os impactos potenciais.

Os impactos com escala global, contudo, apresentam valores de referência mais precisos, pois, assim como a própria metodologia EDIP (1997) dispõe, para impactos dessa magnitude espacial, referências globais são recomendadas.

No que concerne à fronteira temporal, todos os dados coletados e os valores de referência utilizados ficaram compreendidos entre os anos de 1997 até 2012, assim como previa a fronteira estabelecida no escopo.

Quanto à fronteira tecnológica, houve vistorias e visitas na área da mineradora, o que permitiu coletar informações sobre técnicas e tecnologias utilizadas diretamente *in loco* e respeitar os limites precedentes estabelecimentos no escopo.

Comparativamente, a fronteira geográfica é a mais deficiente em termos de exatidão dos dados. Assim, é importante que novos estudos sejam realizados, a fim de originar novos bancos de dados, mais completos e precisos, e que permitam maior verossimilhança no que concerne aos resultados oriundos da ACV.

### Análise de sensibilidade

A verificação da sensibilidade para a ACV de areia como um todo não pode ser realizada, haja vista o caráter incipiente de estudos de ACV aplicados à areia ou outros agregados da construção civil. Dessa forma, a análise de sensibilidade para as fronteiras tecnológicas foi realizada para o caminhão de pequeno porte (três eixos, modelo *MB 1620*) e para a carreta (*MB 1935*), ambos utilizados para transportar a areia.

Para tanto, houve a comparação do consumo médio de óleo diesel utilizado pelo *MB 1620* e pelo *MB 1935* com o *Volkswagen (VW) 24250* e com o *Volkswagen (VW) 19320*, dois veículos mais novos, equivalentes em termos de capacidade de volume transportado. Os valores encontrados encontram-se nas tabelas 27 e 28, respectivamente.

**Tabela 27 – Análise de sensibilidade para os caminhões de pequeno porte**

Consumo médio de óleo diesel	Valor
- Caminhão <i>MB 1620</i>	3,5 Km L <sup>-1</sup>
- Caminhão <i>VW 24250</i>	4,0 Km L <sup>-1*</sup>
<b>Diferença</b>	-0,5 Km L <sup>-1</sup>
<b>Sensibilidade</b>	14,3%

\* Valor informado por um funcionário de vendas do setor automotivo

O consumo de óleo diesel, considerando o uso do caminhão *VW 24250*, é 14,3% menor quando comparado com o consumo do caminhão *MB 1620*.

**Tabela 28 - Análise de sensibilidade para os caminhões de grande porte**

Consumo médio de óleo diesel	Valor
- Caminhão <i>MB 1935</i>	1,0 Km L <sup>-1</sup>
- Caminhão <i>VW 19320</i>	2,8 Km L <sup>-1*</sup>
<b>Diferença</b>	-1,8 Km L <sup>-1</sup>
<b>Sensibilidade</b>	180%

\* Valor informado por um funcionário de vendas do setor automotivo

Neste caso, o consumo de óleo diesel, considerando o uso do caminhão *VW 19320*, é 180% menor quando comparado com o consumo do caminhão *MB 1935*. Tamaña diferença implicaria em menor consumo de óleo diesel e menor quantidade de emissões atmosféricas e outros resíduos.

Não obstante, os valores do consumo médio de óleo diesel são utilizados em praticamente todos os cálculos de impactos ambientais. Deste modo, a mudança de tecnologia, mais especificamente o modelo do caminhão utilizado, exerceria grande influência no resultado final do estudo.

Ainda, os novos modelos supraditos visam cumprir as exigências do Programa de Controle da poluição do ar por Veículos automotivos (PROCONVE), instituído pela Resolução

CONAMA nº 18, de 6 de maio de 1986. Assim, veículos mais novos tem maior eficiência energética e menor emissão de substâncias nocivas.

Quanto à comparação entre outros equipamentos, há um prognóstico de troca de maquinário no empreendimento, o que permitirá verificar as emissões e os impactos potenciais gerados futuramente. Por hora, os dados de outros equipamentos não puderam ser verificados em campo e tampouco foram encontrados na literatura, dado o ineditismo de estudos de ACVs aplicados à areia extraída de rio, quer seja no Brasil ou no exterior.

No que concerne à outras verificações e comparações, estas não puderam ser realizadas dada a unicidade do sistema analisado, ou seja, não foram estudados e comparados diferentes métodos de extração. A análise de diferentes técnicas extrativistas demandaria maior tempo e necessitaria de um maior número de dados coletados em outras mineradoras; contudo, muitos valores oriundos dos processos de mineração de areia são mantidos em confidencialidade pelos empreendedores, dificultando tal verificação.

Todavia, é certo que novas tecnologias, mais eficientes e menos poluentes, alterarariam sobremaneira os resultados finais do estudo, devendo ser analisadas como forma de se buscar instrumentos mais adequados sob os pontos de vista econômico e ambiental.

### Análise de consistência

O processo de verificação das suposições, métodos e modelos utilizados é fundamental, pois para muitos dos dados aplicados em uma ACV não há um consenso internacional, implicando em subjetividade nos resultados finais deste e da grande maioria dos estudos realizados nesta área.

No que diz respeito às suposições, fez-se todas as considerações e justificativas a respeito no escopo. O processo de extração de areia em leito de rio foi escolhido face a representatividade deste método em escala nacional. Com relação aos equipamentos utilizados, verificou-se que os sistemas adotados para o trabalho baseiam-se no *modus operandi* da grande maioria das mineradoras de pequeno porte brasileiras.

Quanto à elaboração do fluxograma com as entradas e saídas, fez-se dois modelos: um contemplando todas as possibilidades de métodos de extração e características e outro mais

específico, adaptado para a mineradora em estudo. Procurou-se fazer jus a realidade da região estudada, verificando os processos empregados em outros empreendimentos.

Em relação a fonte de dados utilizadas no estudo, obteve-se de fonte primária: o consumo médio de óleo diesel utilizado pelos caminhões, pela pá-carregadeira e pelos motores das dragas; o volume de areia extraído; o número de viagens realizadas pelo barco diariamente; a distância média percorrida para transportar areia; o tipo de veículo empregado; e a distribuição de areia, em termos de volume, entre os caminhões. Em suma, todas as entradas dos inventários puderam ser elaborados com dados de fontes primárias.

Contudo, a quantificação das emissões atmosféricas e dos resíduos gerados pelos processos de extração da areia foi realizada com dados (valores de referência) de fontes secundárias internacionais, bem como para o cálculo dos impactos ambientais.

Para tanto, foram realizadas consultas a banco de dados internacionais e publicações científicas. Face a inexistência de dados em unidade compatível com a do estudo, foram efetuados cálculos baseados em balanços de massa, que tiveram seus procedimentos e etapas relatados na análise de inventário e avaliação de impacto. Apesar do ineditismo de uma ACV aplicada á areia, buscou-se, sempre que disponível, comparação com dados da literatura, a fim de confirmar a consistência do estudo.

Apesar de fontes primárias ou fontes secundárias nacionais serem de melhor qualidade no que diz respeito à exatidão, banco de dados brasileiros ainda são incipientes, o que prejudica o levantamento de dados.

Não obstante, alguns dados relevantes são mantidos em sigilo pelas mineradoras. É condição *sine qua non* que tais empreendimentos facilitem a dispersão de dados dessa natureza, incrementando o desenvolvimento das pesquisas científicas nacionais.

## 5. CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

A ACV de areia estudada nesta pesquisa objetivou mensurar as entradas e saídas de sua produção na abordagem *Cradle-to-gate* e identificar os impactos ambientais do sistema. Embora a abordagem *Cradle-to-grave* seja a mais indicada para estudos de ACV, a multiplicidade de usos da areia e o tempo necessário para a coleta de dados, restringiria as possibilidades de aplicação e precisão dos resultados apresentados neste trabalho.

Outra limitação refere-se à utilização de dados internacionais para a elaboração dos inventários e para a análise dos impactos ambientais. A falta de um banco de dados nacional e a grande demanda de tempo e recursos humanos e financeiros, especialmente no levantamento de dados dos inventários, dificulta sobremaneira a geração de resultados mais verossímeis e precisos.

Além disso, restrições do próprio modelo de avaliação de impactos ambientais dificultam uma análise *multi-media*, ou seja, em todos os compartimentos ambientais (água, ar, solo etc.) e uma análise *multi-atributos*, que poderia mensurar todos os impactos ambientais.

O estabelecimento de pressupostos e fronteiras assumidos ao longo do estudo podem gerar resultados diferentes. Contudo, tais limitações não invalidam o presente estudo, uma vez que procurou-se manter as informações e decisões apresentadas de forma clara e transparente e adaptar os dados à realidade brasileira.

Considerando os poucos estudos voltados para a ACV de areia, os resultados encontrados no presente trabalho podem ser entendidos e utilizados como uma das tentativas iniciais de complementação do banco de dados nacionais, o qual poderá facilitar a aplicação de futuros trabalhos.

Dentro desse panorama, a ACV da areia se mostrou como um bom mecanismo de suporte de decisão ambiental, subsidiando alternativas bio-eficientes no sistema produtivo e gerando propostas de melhoria de desempenho ecológico a partir da identificação das etapas que demandam maior consumo de recursos ambientais.

Duas destas etapas referem-se às etapas de extração e beneficiamento, que foram identificadas como as mais críticas, seguidas pela etapa do transporte. Devido a sua maior interferência no meio natural, as atividades de extração e beneficiamento devem ter prioridade na implantação de operações de melhoria, cujas linhas de otimização se baseiam em maior eficiência na extração e menor número de poluentes emitidos.

A diminuição da perda lavrado através de medidas de melhor aproveitamento do material pode se dar através da instalação de retentores de sedimentos nas laterais do barco.

O estudo também permitiu identificar o potencial de aquecimento global e a formação fotoquímica de ozônio como sendo os impactos ambientais mais expressivos oriundos da mineração de areia.

A reposição do maquinário por equipamentos mais novos, que podem ser mais eficientes e que lançam menores quantidades de poluentes, seria a ação mais indicada para melhoria do desempenho ambiental referente aos poluentes da mineradora.

Este investimento teria um retorno financeiro, tendo em vista que equipamentos mais novos podem extrair maior quantidade de material, usando menos combustível e, provendo economia nos gastos com óleo diesel.

A vistoria técnica à mineradora, inerente à ACV, possibilitou diagnosticar outros impactos ambientais menos expressivos, cujas propostas preventivas foram explanadas ao longo da discussão dos resultados do presente trabalho.

Nesse sentido, sugere-se que novos estudos de ACV sejam aplicados aos produtos brasileiros, especialmente aos agregados da construção civil. Dado o caráter embrionário de pesquisas de ACV voltados à areia ou outros materiais da indústria da construção civil, novos trabalhos são fundamentais para o enriquecimento e aprimoramento dos bancos de dados nacionais. Além disso, a produção de novos trabalhos fortalecerá a ACV como ferramenta de gestão ambiental, repercutindo no poder público, setor privado e demais segmentos da sociedade a visão sistêmica e a ecoeficiência das cadeias produtivas.

Espera-se que o presente estudo, bem como todas as medidas propostas, contribua de alicerce para uma extração de areia mais sustentável, subsidiada por programas de gestão ambiental pró-ativos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estrutura:** NBR ISO 14040. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2009. 21 p.

\_\_\_\_\_. **Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações:** NBR ISO 14044. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2009. 46 p.

\_\_\_\_\_. **Agregados - terminologia:** NBR 9935. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2011. 12 p.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO - ANP. **Regulamento Técnico nº 6/2001.** Disponível em <[http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/1983a5804836aeabb898ff701e58e651/P310\\_2001.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=1983a5804836aeabb898ff701e58e651](http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/1983a5804836aeabb898ff701e58e651/P310_2001.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=1983a5804836aeabb898ff701e58e651)> Acesso em 13 out. 2011.

AGUIRRE, A. de B.; HENNIES, W. T. Logística para agregados (brita e areia) em grandes centros urbanos. **Rem: Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 63, n. 4, Dez. 2010. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672010000400007&lng=en&enrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672010000400007&lng=en&enrm=iso)>. Acesso em 08 Out. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672010000400007>.

AHBE, S.; BRAUNSCHWEIG, A.; MÜLLER-WENK, R. Methodologie des Ecobilans sur la base de l'optimisation écologique. In l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) (Eds.). **Cahier de l'environnement**, 133. Berne, 1991.

AKERMAN, M. **A elaboração do vidro.** São Paulo: CETEV, 2000. Disponível em: <<http://www.saint-gobain-cetev.com.br/elabora/elaboracao.pdf>> Acesso em 06 fev. 2012.

ALLEN, D. T.; SHONNARD, D. R. **Green engineering:** environmentally conscious design of chemical processes. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.

ANDRADE, F. F.; MELHADO, S. B. O Método de melhorias PDCA. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, Departamento de Engenharia de Construção Civil: BT/PCC/371, 2004.

ANNIBELLI, M. B.; SOUZA FILHO, C. F. M. Mineração de Areia e seus Impactos Sócio-Econômico- Ambientais. Ln: CONGRESSO NACIONAL do CONPEDI, 16, 2007, Manaus. **Anais...** Manaus-AM: CONPEDI, 2007.

ARMANGE, L. C. **Utilização de Areia de Fundição Residual para Uso em Argamassas**. 2005. Dissertação. (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2005.

ARMSTRONG, L.E. **Performing in extreme environments**. Champaign: Human Kinetics, 2000.

BARRETO, M. L. **Formalização da Mineração a Pequena Escala (Mpe) na América Latina e Caribe**. Estudo Financiado pelo Programa Mineria Artesanal Y En Pequeña Escala (Mpe) do IDRC/CRDI/MPRI/IIPM. 2003. Disponível em: <[www.idrc.ca/uploads/user-S/11177213001form\\_barreto.pdf](http://www.idrc.ca/uploads/user-S/11177213001form_barreto.pdf)> Acesso em 03 mar. 2012.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: LTC, 1979.

BAUERMEISTER, K. H.; MACEDO, A. B. Quadro da recuperação de áreas mineradas na região leste de São Paulo. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO e II SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRAGADAS, 1, 1994, Curitiba **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p. 225-235.

BITAR, O. Y.; IYOMASA, W. S.; CABRAL JR., M. Geotecnologia: tendências e desafios. **São Paulo Perspec.**, v.14, n.3, p.78-90, Jul/Set. 2000, ISSN 0102-8839.

BRANDT, W. Avaliação de cenários em planos de fechamento de minas. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: UFV/DPS/Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p. 131-134.

CAMPOS, V. F. **TQC – Controle da Qualidade Total no Estilo Japonês**. Belo Horizonte: INDG, 1992.

CAMPOS, E. F; PUNHAGUI, K, R. G.; JOHN, V. M. Emissão de CO<sub>2</sub> do transporte de madeira nativa da Amazônia. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 157-172, abr./jun. 2011.

CHEGATTI, C.; SOARES, S.R. Análise do Inventário do Ciclo de Vida de Areias Descartadas de Fundição. Ln: I CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 1, 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ICBGV, 2008.

CUCHIERATO, G. **Caracterização tecnológica de resíduos da mineração de agregados da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), visando seu aproveitamento econômico**. 2000. 201 f. Dissertação (Mestrado em recursos minerais e hidrogeologia) – Centro de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

CURRAN, M. A. **Environmental life-cycle assessment**. New York: McGraw-Hill, 1996.

CYBIS, L. F.; SANTOS, C. V. J. Análise do ciclo de vida (ACV) aplicada à indústria da construção civil – Estudo de Caso. CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26, 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre- RS: ABES, 2000.

DAVIS, L. L.; TEPORDEI, V. V. **Sand and gravel**. In: Mineral Facts and Problems, 1995 Edition, Bureau of Mines, Preprint from Bulletin 675, 15p. 1985

DEMING, W. E. **Qualidade**: a revolução da administração. São Paulo: Marques Saraiva, 1990.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. **Sumário Mineral 2009**. Brasília: Junho de 2010. Vol. 29. ISSN: 01012053. Disponível em: <[https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=4544](https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=4544)> Acesso 30 mar 2011.

\_\_\_\_\_ **Lista de Decretos-Lei sobre Mineração**. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67eIDPagina=83eIDLegislacaoCategoria=1efiltro=1epag=1>> Acesso em 03 mar. 2012.

EDIP *Database*. Banco de dados do EDIP. SimaPRO *software*. Universidade Técnica da Dinamarca (DTU), Dinamarca, 2003.

FARIA, R. C.; *et al.* A contabilidade como ferramenta para gestão ambiental. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 5, 2009. Anais... Niterói: UFF, 2009.

FRANKL, P.; RUBIK, F. **Life Cycle assessments in Industry and Business, Adoption Patterns, Applications and Implications**. New York: Springer, 2000.

FRAZÃO, E. B. **Tecnologia de rochas na construção civil**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia e Engenharia, 2002.

FERREIRA, J. V. F. **Análise do ciclo de vida de produtos**. Apontamentos de aula. Instituto Politécnico de Viseu, 2004. Disponível em <<http://www.estv.ipv.pt/paginaspessoais/jvf/gest%C3%A3o%20ambiental%20-%20an%C3%A1lise%20de%20ciclo%20de%20vida.pdf>> Acesso em 25 jun 2011.

FINK, P. The Roots of LCA in Switzerland: Continuous Learning by Doing. **International Journal of LCA**, vol. 2, n. 3, p. 131-134. Landsberg, Germany: Ecomed, 1997.

- GANONG, W.F. **Review of Medical Physiology**. 19. ed. Stanford: Appleton e Lange, 1999.
- GUINÉE, J. **Development of a Methodology for the Environmental Life-Cycle Assessment of Products (with a case study on margarines)**. Ph. D. thesis. Leiden University, Leiden, 1995.
- GOEDKOOP, M. J.; SPRIENSMA, R.S. **The Eco-indicator 99: Methodology report. A damage oriented LCA method**; VROM, A Haia, Holanda, 1999.
- HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. Pini; Brasília, DF : SENAI, 1992.
- HERRMANN, H. **Política de aproveitamento de areia no estado de São Paulo: dos conflitos existentes às compatibilizações possíveis**. 1990. Dissertação (Mestrado em Geociências), Centro de Tecnologia Mineral, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 1990.
- HINDLE, P.; OUDE, N. T. SPOLD-Society for the Promotion of Life Cycle Development. **International Journal of LCA**, vol. 1, n. 1, p 55-56. Landsberg, Germany: Ecomed, 1996.
- HOFFMAN, A. **Avaliação de impactos ambientais diretos em porto de areia no município de Santa Terezinha de Itaipu**. Trabalho Final de Graduação. União Dinâmica de Faculdade Cataratas. Foz do Iguaçu – PR, 2009.
- HUNT, R. FRANKLIN, E. LCA - How it Came About. Personal Reflections on the Origin and the Development of LCA in the USA. **International Journal of LCA**, vol. 1, n. 1, p. 4-7. Landsberg, Germany: Ecomed, 1996.
- HUNT, R. G.; SELLERS, J.D., FRANKLIN, W. E. Resource and environmental profile analysis: a life cycle environmental assessment for products and procedures. **Environmental Impact Assessment Reviews**, 1992;12:245–69.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Avaliação preliminar dos problemas causados pela mineração no meio ambiente no Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1980. (relatório nº. 14684).
- \_\_\_\_\_. **Subsídios para aperfeiçoamento da legislação relacionada à mineração e ao meio ambiente**. São Paulo: Pró-Minério, 1987.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO DINAMARQUÊS. DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE. Task 2: **Environmental Baseline and Indicators**. Eco-serve, 2004. Disponível em [http://www.eco-serve.net/uploads/747845\\_Env\\_Baseline\\_Ind\\_Task%20-report,%20Nov.2004.pdf](http://www.eco-serve.net/uploads/747845_Env_Baseline_Ind_Task%20-report,%20Nov.2004.pdf)> Acesso em 18 jun 2011

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Relatório Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories**. 16<sup>th</sup> session in Montreal, 1-8 May, 2000. Disponível em: < [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/2\\_Energy.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/2_Energy.pdf)> Acesso em 13 fev. 2012.

\_\_\_\_\_. **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: University Press, 2001, 881 p.

JOHN, V. M. **Textos técnicos: A construção e o Meio Ambiente**. Tutorial que caracteriza o impacto ambiental da construção civil e demonstra a importância da reciclagem de resíduos como materiais de construção civil, constituindo uma forma de redução e controle desse impacto. Disponível em: < [http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a\\_construcao\\_e.htm](http://www.reciclagem.pcc.usp.br/a_construcao_e.htm)> Acesso em 23 agosto 2011.

LEINZ, V.; LEONARD, O. H. **Glossário Geológico**. São Paulo: Cia Editora Nacional, 1977.

LELLES, L. C. *et al.* Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água. **Revista Árvore, Viçosa-MG, v.29, n.3, p.439-444, 2005**. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n3/a11v29n3.pdf>> Acesso 30 mar 2011

MARCONDES FILHO, E. *et al.* O uso futuro das áreas de mineração de areia no sub-trecho compreendido entre Jacareí e Pindamonhangaba, SP e sua inserção na dinâmica local e regional – In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: O EUCALIPTO E O CICLO HIDROLÓGICO, 1, 2007, Taubaté. **Anais...** Taubaté: IPABHi, 2007, p. 139-146.

MARTINS, C. A. **Emissões de NOx em combustor pulsante do tubo de RJKE operando com combustível gasoso**. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciência espacial, combustão e Propulsão). INPE, São José dos Campos – SP, 2001.

MARTINS, L. D. **Sensibilidade da formação do ozônio troposférico às emissões veiculares na Região Metropolitana de São Paulo**. 2006. Tese (Doutorado em Ciências atmosféricas). Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2006

MARTINS, M. A. S. Bombas e ciclones nas minerações de areia. **Boletim Sindareia**, n. 41 abr. mai.jun, 2003. Disponível em: < <http://www.sindareia.com.br/41/41arttec.htm>> Acesso em 20 jun 2012

MATA-LIMA, H. Aplicação de Ferramentas da Gestão da Qualidade e Ambiente na Resolução de Problemas. **Apontamentos da Disciplina de Sustentabilidade e Impactos Ambientais**. Universidade da Madeira (Portugal), 2007.

MELO, T. F. S. CARVALHO, S. M. Avaliação dos impactos ambientais causados pela extração mineral: o caso do porto de areia Estrela. Ln: XII ENCUESTRO DE GEOGRAFOS DE AMERICA LATINA, 12, 2009. **Anais...** Universidad de La Republica: Montevideo, Uruguay, 2009.

MEYER, M. M. **Gestão Ambiental no Setor Mineral**: um estudo de caso. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2000.

MILLER, K.B.; BLUMENSCHNEIN, R. N.; TOMÉ, M. V. F. D. A sustentabilidade da produção de areia reciclada no Distrito Federal. Ln: CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PAR AO PLANEJAMENTO URBANO, REIGONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, 5,, 2012, Brasília **Anais...** Brasília: Universidade de Brasília, 2012, 12 p.

MIRANDA, L.; AGUIAR, G.; SELMO, S. M. S. Análise da variabilidade de agregados miúdos pela Usina de Socorro. Ln: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM DA CONSTRUÇÃO CIVIL, 5, 2002. São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEN, 2002.

NASCIMENTO, T. S. *et al.* Metemoglobinemia: do diagnóstico ao tratamento. **Rev. Bras. Anestesiol.**, Campinas, v. 58, n. 6, Dez. 2008 . Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-0942008000600011&lng=en&rm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-0942008000600011&lng=en&rm=iso)>. Acesso em 14 Fev. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-70942008000600011>.

OFFICE FÉDÉRAL DE L'ENRIRONNEMENT, DES FORÊTS ET DU PAYSAGE - OFEFP. Bilan Écologique dès Matériaux D'emballage. **Cahiers de l'environnement**, 24. Berne, 1984.

OIT. Organização Internacional do Trabalho. Programa de Actividades Sectoriais. **Los problemas Sociales y laborales em las explotaciones mineras pequeñas**. Ginebra, 1999.

OLIVEIRA, F. L. MELLO, E. F. A mineração de areia e os impactos ambientais na bacia do rio São João, RJ. **Revista Brasileira de Geociências**. vol. 37(2):374-389, junho de 2007

OMETTO, A. R. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, EXERGIA E EMERGIA**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia hidráulica e saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos-SP, 2005.

OWENS, J. W.; Life cycle assessment: constraints on moving from inventory to impact assessment. **Journal of Industrial Ecology** 1997;1(1):37–49.

PAIVA, C. T.; CANÇADO, R. Z. L. Melhoria da qualidade da água em bacias de decantação localizadas em áreas de extração de areia. **Rem: Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 61, n. 3, Set. 2008. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672008000300008&lng=en&rm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672008000300008&lng=en&rm=iso)>. Acesso em 08 Out. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672008000300008>.

PEREIRA, S. W.; SOARES, S. R. Inventário da produção de pisos cerâmicos para a avaliação do ciclo de vida. Ln: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 4, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABES-RS, 2004.

PETROLEUM HPV TESTING GROUP MEMBER COMPANY. **Gas oils category analysis document and hazard characterization**. USEPA. 1997. Disponível em <[http://www.petroleumhvp.org/docs/gas\\_oil/2011\\_aug31\\_Interim%20Gas%20Oils%20CAD%208\\_31\\_2011%20final.pdf](http://www.petroleumhvp.org/docs/gas_oil/2011_aug31_Interim%20Gas%20Oils%20CAD%208_31_2011%20final.pdf)> Acesso em 22 fev. 2012.

PIANCA, J. B. **Manual do construtor**. Porto Alegre: Editora Globo, 1973. 450 p.

PORMIN – PORTAL DE APOIO AO PEQUENO PRODUTOR MINERAL. Informações Minerais: **agregados minerais para construção civil: areia, brita e cascalho**. Disponível em: <[http://www.pormin.gov.br/informacoes/arquivo/agregados\\_minerais\\_propiedades\\_aplicabilidade\\_ocorrencias.pdf](http://www.pormin.gov.br/informacoes/arquivo/agregados_minerais_propiedades_aplicabilidade_ocorrencias.pdf)> Acesso em 06 fev. 2012a.

\_\_\_\_\_ Biblioteca: **Legislação Mineral**. Disponível em <[http://www.pormin.gov.br/biblioteca/arquivo/legislacao\\_mineral\\_resumida.pdf](http://www.pormin.gov.br/biblioteca/arquivo/legislacao_mineral_resumida.pdf)> Acesso em 03 mar. 2012b.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE - PNUMA. Life cycle assessment: **what it is and how to do it**. Paris: UNEP (ISBN 92-807-1546-1), 1996, 91 p.

RESENDE, M. **Pedologia**. Publicação 140 da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa- MG, 1992.

RIBEIRO, H; ASSUNCAO, J. V. de. Efeitos das queimadas na saúde humana. **Estud. av.**, São Paulo, v. 16, n. 44, Abril 2002. Disponível em <<http://www.scielo.br/scielo.php?>

script=sci\_arttextepid=S0103-40142002000100008eInq=enenrm=iso>. Acesso em 14 Fev. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142002000100008>.

RODRIGUES, E. H. V. Agregados. In: RODRIGUES, E. H. V.; ARAÚJO, R. C. L.; FREITAS, E. das G. A. **Materiais de Construção**. Coleção Construções Rurais. Rio de Janeiro: Editora da Universidade Federal Rural (ISBN 85-85720-23-9), 2000, P. 1-18.

SANTANNA, V. C. **Obtenção e estudo das propriedades de um novo fluido de fraturamento hidráulico biocompatível**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2003.

SANTOS, D. N. **Extração de areia e dinâmica sedimentar no alto curso do rio Paraná na região de Porto Rico, PR**. 87f. 2008. Dissertação (Mestrado em análise geoambiental) – Universidade Guarulhos, Guarulhos-SP, 2008

SANTOS, D. N.; STEVAUX, J. C. Alterações de longa duração na dinâmica hidrossedimentar por extração de areia no alto curso do rio Paraná na região de Porto Rico, PR. **Geociências**, São Paulo v. 29, n. 4, p. 603-612, 2012.

SANTOS, M. F. N.; BATTISTELLE, R. A. G.; VARUM, H. S. A. Avaliação do ciclo de vida de painéis produzidos a partir de resíduos da cana-de-açúcar. CONGRESSO IBERO-LATINO AMERICANO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO, 1, Coimbra. **Anais...Coimbra**: Universidade de Coimbra, 2011.

SATO, D. H. **Um estudo de impacto ambiental no desenvolvimento de produtos**. 126f. 2010. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2010.

SCHUURMANS, A.; ROUWETTE, R.; VONK, N.; BROERS, J. V.; RIJNSBURGER, H. A. PIETERSEN, H. S. LCA of Finer Sand in Concrete. **International Journal of Life Cycle Assessment**, vol. 10, n. 2, p. 131- 135, 2005.

SELMO, S. M. S. **Agregados miúdos para argamassas e revestimentos**. Anais EPUSP, Série a: Engenharia Civil, São Paulo, Vol. 1, n. 5, pag 129 – 148, 1988.

SETAC-Society of Environmental Toxicology and Chemistry. **A Conceptual Framework for Life-Cycle Impact Assessment**. Em Fava, J., Consoli, F., Denison, R., Dickson, K. e Mohin, T., (Eds.). Sandestin, Florida: Springer, 1993.

SHEEHAN, J.; *et al.* **Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum diesel for use in an Urban Bus**. Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 1998. Disponível em <<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>> Acesso em 7 fev 2012.

SILVA, H. V. Propostas para avaliar o impacto ambiental em mineração: primeira tentativa. **Ambiente**, São Paulo: CETESB, v. 2, n. 2, 1988, p. 88-90.

SILVA, M. R. **Materiais de construção**. 2. ed. rev. São Paulo: Pini, 1991.

SINDING-LARSEN, R.; *et al.* **Recursos – A caminho para um uso sustentável**. Leiden, Holanda: PlanetaTerra, 2006.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Editora Atlas, 1996.

SOARES, S. R.; PEREIRA, S. W. Balança de massa da produção de tijolos: introdução à análise do ciclo de vida (ACV). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, Joinville. **Anais...** Joinville: ABES, 2003.

SOARES, S. R.; SOUZA, D. M.; PEREIRA, W. P. **A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil**. In: Construção e Meio Ambiente. Porto Alegre: Coletânea Habitare. V. 7, 2006, p. 99.

SOUZA, R. **Metodologia para desenvolvimento e implantação de sistemas de gestão da qualidade em empresas construtoras de pequeno e médio porte**. 387p. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.

STEEN, B. On uncertainty and sensitivity of LCA-base priority setting. **Journal of Cleaner Production**, v. 5, n. 4. P. 255-262, 1997.

STELLMAN, J.M.; DAUM, S.M. **Trabalho e saúde na indústria: riscos físicos e químicos e prevenção de acidentes**. São Paulo: EPU, 1975. v. 2

STRANDDORF, H.; HOFFMANN, LEIF.; SCHMIDT A. LCA technical report: Impact categories, normalization and weighting in LCA: **Update on selected EDIP97-data**. FORCE Technology – Dk – TEKNIK. Dinamarca: Serietitel, 2003a. Disponível em: <[http://www.lca-center.dk/lca-center\\_docs/showdoc.asp?id=041104075344etype=docefname=EHN\\_Microsoft+Word+-+Delprojekt+4+-+Technical+report++nmVOC2\\_22.pdfpdf=true](http://www.lca-center.dk/lca-center_docs/showdoc.asp?id=041104075344etype=docefname=EHN_Microsoft+Word+-+Delprojekt+4+-+Technical+report++nmVOC2_22.pdfpdf=true)> Acesso em 13 out 2011.

STRANDDORF, H.; HOFFMANN, LEIF.; SCHMIDT A. LCA Guideline: Update on Impact categories, normalization and weighting in LCA: **Selected EDIP97-data**. TEKNIK ENERGY e ENVIRONMENT Dinamarca: Serietitel, 2003b.

TEXIER, G. Visão Governamental Européia. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON CONSTRUCTION AGGREGATES. 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANEPAC, 2001. p. 24-28

TIBOR, T.; FELDMAN, I., ISO 14000: **A Guide to the New Environmental Management Standards**. USA: Times Mirror Higher Education Group, 1996.

UDEH, C.; BITTIKOFER, J.; SUM-PING, S. T. J. Severe methemoglobinemia on reexposure to benzocaine. **J Clin Anesth**, 2001;13:128-130

VALT, R. B. G. **Análise do ciclo de vida de embalagens de PET, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais**. 208f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2004.

VIANA, M. M. **Inventário do ciclo de vida do biodiesel etílico do óleo de girassol**. 237f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade de São Paulo. São Paulo-SP, 2008.

WENZEL. H.; HAUSCHILD, M.; ALTING. L. **Environmental Assessment of Products**. Bontou/Dordrecht/London: Kluwer Academic Publishers. 1997. v. 1 e 2.

WILLERS, C. D.; RODRIGUES, L. B.; SILVA, C. A. da. Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. **Prod.**, São Paulo, 2012 . Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-65132012005000037&lng=en&nm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132012005000037&lng=en&nm=iso)>. Acesso em 08 out. 2012. Epub Junho 05, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132012005000037>.