



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS  
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES  
DA EXTRAÇÃO DE AGREGADO NATURAL E  
PRODUÇÃO DE AGREGADO RECICLADO: ESTUDO DE  
CASO NO RS**

**JAQUELINE RAMOS GRABASCK**

São Leopoldo, Março de 2016.



JAQUELINE RAMOS GRABASCK

**ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA  
EXTRAÇÃO DE AGREGADO NATURAL E PRODUÇÃO DE  
AGREGADO RECICLADO: ESTUDO DE CASO NO RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

**Orientador:** Prof<sup>ª</sup>. Dra. Andrea Parisi Kern

**Co-Orientador:** Prof.Dr. Carlos Alberto Mendes  
Moraes

**Banca examinadora:** Prof. Dr. Sérgio Cirelli Angulo  
Prof<sup>ª</sup>. Dra. Daniela Montanari  
Migliavacca Osório  
Prof<sup>ª</sup>. Dra. Regina Espinosa  
Modolo

São Leopoldo, março de 2016.

G727a

Grabasck, Jaqueline Ramos.

Aspectos e impactos ambientais decorrentes da extração de agregado natural e produção de agregado reciclado : estudo de caso no RS / Jaqueline Ramos Grabasck. – 2016.

164f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016.

“Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Andrea ParisiKern ;co-orientador: Prof.Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes.”

1. Indústria de construção civil – Aspectos ambientais 2. Agregados (Materiais de construção) – Reciclagem. 3. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 4. Impacto ambiental. I. Título.

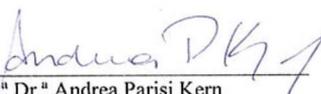
CDU 628.477.6:666.972

JAQUELINE RAMOS GRABASCK

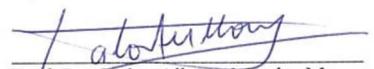
**“ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES  
DA EXTRAÇÃO DE AGREGADO NATURAL E PRODUÇÃO  
DE AGREGADO RECICLADO: ESTUDO DE CASO NO RS”**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Gerenciamento de Resíduos, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

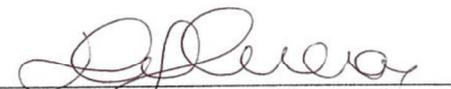
Aprovada em 31 de março de 2016

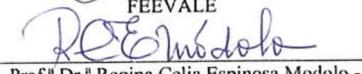
  
Prof.ª Dr.ª Andrea Parisi Kern  
Orientadora - UNISINOS

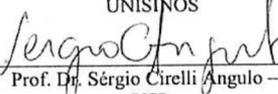
  
Prof.ª Dr.ª Luciana Paulo Gomes  
Coordenadora do PPGE - UNISINOS

  
Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes  
Coorientador - UNISINOS

BANCA EXAMINADORA

  
Prof.ª Dr.ª Daniela Montanari Migliavacca Osório -  
FEEVALE

  
Prof.ª Dr.ª Regina Celia Espinosa Modolo -  
UNISINOS

  
Prof. Dr. Sérgio Cirelli Angulo -  
USP

(Participação por webconferência)



Dedico aos meus pais (*in memoriam*), Maria de Lourdes Ramos e José Luiz Grabasck.



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, pelos exemplos, amor e dedicação.

À minha família, pelo carinho, apoio e incentivo, principalmente as minhas tias, Hélia e Carmem, pela acolhida, amor e compreensão.

Aos meus sogros, Cláudia e Paulo, por me acolherem como filha.

Ao meu namorado, Rodrigo, pelo amor, pela compreensão, paciência e as milhares de revisões.

À Lyra e à Gaia, pela motivação e companheirismo.

Ao Roberto Gomes e à Angélica Koppe, pela paciência e tempo dedicado no auxílio à estatística.

Às minhas amadas amigas, Adriana, Alice, Angélica, Débora, Fernanda, Giseli, Ilana, Joana, Luísa e Suélen, por todo incentivo e carinho.

Ao professor Adalberto Heck, pela amizade, incentivo e inspiração.

À minha querida orientadora, Andrea Parisi Kern, por ser extremamente paciente e um grande exemplo de professora e mulher.

Ao professor Carlos Alberto Moraes, pela orientação e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos professores do PPGEC, Andrea, Carlos, Feliciane, Marlova, Maurício, Claudio, Marco, Luciana, Luís e Bernardo, por transmitirem seus conhecimentos.

Aos professores Rogério Paiva, Paulo Wander e Walter Fontana, pelas contribuições a esta pesquisa.

À professora Maria Luiza Sperb, pela paciência, orientação e excelentes contribuições.

Ao engenheiro e professor Emilio Roberto Wild, pelos conhecimentos transmitidos e pelas contribuições a esta pesquisa.

À professora Daniela Migliavacca, pela paciência, orientação, os conhecimentos transmitidos e os equipamentos disponibilizados.

À Regina Espinosa Modolo, pela amizade e todas as contribuições.



Ao colega Flávio Folleto, pela amizade e contribuições a esta pesquisa.

À jazida visitada, especialmente a Sra Loreci e ao Sr Rogério, pela receptividade, amizade e conhecimentos transmitidos.

À usina visitada, especialmente ao Sr Luis Felipe, por todas as informações prestadas e receptividade.

Aos bolsistas de iniciação científica, Martina, Laura, Caren, Bruna, Gabriel, Laila, Guilherme e Jenifer, por todo auxílio e tempo disponibilizado.

À bolsista Sabrina Schuck, por todo suporte, dedicação e amizade.

Às laboratoristas, Jalir, Marluci, Elisangela e Aimée, por toda compreensão e auxílio.

À Roxane Oliveira, pela amizade, pelos conhecimentos transmitidos e por todo auxílio laboratorial.

Ao Sr João, pela paciência e auxílio na fabricação dos amostradores passivos.

A todos os colegas do PPGEC, que tornaram essa jornada mais divertida.

À Universidade Feevale, pelo empréstimo de equipamentos.

À Unisinos, por ser uma excelente instituição.

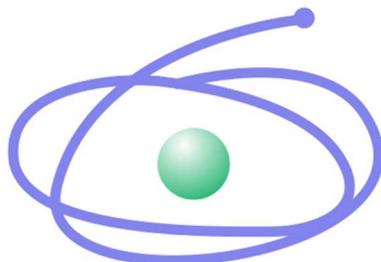
Ao CNPq, pela realização do projeto de desenvolvimento dos amostradores passivos.

E, principalmente, aos órgãos de fomento à pesquisa, CAPES e FAPERGS, pela concessão da bolsa.



## **FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA**

**A REALIZAÇÃO DESTA PESQUISA FOI POSSÍVEL, DEVIDO AO APOIO DAS  
SEGUINTE FONTES FINANCIADORAS:  
CAPES/FAPERGS**



**C A P E S**

**COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR**



**FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**



**CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E  
TECNOLÓGICO**



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>35</b>
1.1	OBJETIVOS	37
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	37
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	37
1.2	JUSTIFICATIVA	38
1.3	ESTRUTURA DA PESQUISA	39
1.4	DELIMITAÇÕES	40
<b>2</b>	<b>AGREGADOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO</b>	<b>41</b>
2.1	AGREGADOS NATURAIS	41
2.2	AGREGADOS ARTIFICIAIS E RECICLADOS	44
2.2.1	<i>LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO</i>	44
2.2.2	<i>RECICLAGEM DE RESÍDUOS CLASSE A COMO AGREGADOS</i>	47
2.2.3	<i>ESTRUTURAÇÃO DE USINAS DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DECONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO</i>	50
<b>3</b>	<b>ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS</b>	<b>53</b>
3.1	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DO CICLO DE VIDA	58
<b>4</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA</b>	<b>61</b>
4.1	ETAPA 01: LOCALIZAÇÃO DE JAZIDAS DE AREIA E USINAS DE RECICLAGEM DE RCD	61
4.1.1	<i>Jazidas de extração de areia</i>	62
4.1.2	<i>Usinas de reciclagem de RCD</i>	66
4.2	ETAPA 02: ANÁLISE DA SIGNIFICÂNCIA DE IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA EXTRAÇÃO DE AREIA E DO BENEFICIAMENTO DO AGREGADO RECICLADO DE RCD	69
4.3	ETAPA 03: AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE IMPACTOS AMBIENTAIS	73
4.3.1	<i>Qualidade do ar: material particulado</i>	73
4.3.2	<i>Qualidade do ar: taxa de sulfatação</i>	77
4.3.3	<i>Níveis de ruído</i>	81
4.3.4	<i>Emissões de CO<sub>2</sub></i>	82
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>85</b>
5.1	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE JAZIDAS DE EXTRAÇÃO DE AREIA E USINAS DE RECICLAGEM DE RCD	85
5.2	ANÁLISE DE SIGNIFICÂNCIA DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS	96
5.3	AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE IMPACTOS AMBIENTAIS	106
5.3.1	<i>Avaliação de material particulado</i>	106
5.3.2	<i>Taxa de sulfatação</i>	111
5.3.3	<i>Ruído</i>	114
5.3.4	<i>Avaliação referente ao transporte</i>	115
5.3.5	<i>Unidade Funcional</i>	121
	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>125</b>
	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>127</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>129</b>
	<b>APÊNDICE 01</b>	<b>137</b>
	<b>APÊNDICE 02</b>	<b>139</b>
	<b>APÊNDICE 03</b>	<b>147</b>
	<b>APÊNDICE 04</b>	<b>151</b>
	<b>APÊNDICE 05</b>	<b>153</b>



<b>ANEXO 01.....</b>	<b>161</b>
----------------------	------------



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Legislação brasileira aplicada aos resíduos de construção.....	45
Tabela 2 - Usinas brasileiras de reciclagem de resíduos de construção e demolição em operação.....	48
Tabela 3 - Empreendimentos cadastrados no Mapa Abrecon .....	49
Tabela 4 - Aspectos e impactos ambientais contabilizados na avaliação do ciclo de vida na construção civil.....	53
Tabela 5 - Entradas e saídas na produção de areia .....	55
Tabela 6 - Métodos de avaliação de impacto do ciclo de vida estudados por Mendes (2013).	59
Tabela 7 - Exames de aspectos e impactos ambientais .....	71
Tabela 8 - Classificação de abrangência.....	72
Tabela 9 - Classificação de severidade.....	72
Tabela 10 - Classificação de frequência.....	72
Tabela 11 - Classificação de aspectos e impactos ambientais.....	73
Tabela 12 - Localização dos pontos de coleta do material particulado na jazida de extração de areia e na usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição .....	74
Tabela 13 - Guia de qualidade do ar e objetivos intermédios para o material particulado para concentrações de 24 horas .....	76
Tabela 14 - Classes de risco para a variável taxa de sulfatação .....	79
Tabela 15 - Localização dos pontos de coleta dos amostradores passivos na jazida de extração de areia e na usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição.....	80
Tabela 16 - Localização dos pontos de medições de nível pressão sonora (ruídos) na jazida de extração de areia e na usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição .....	82
Tabela 17 - Nível de critério de avaliação (NCA) para ambientes externos em dB (A).....	82
Tabela 18 - Quantificação de empreendimentos legalizados para extração de areia no Brasil	86
Tabela 19 - Comparativo de área de extração legalizada (hectares), produção anual de areia (toneladas) e número de processos de extração de areia nas Regiões Brasileiras.....	89
Tabela 20 - Correlação processos de extração de areia <i>versus</i> consumo de agregados .....	90
Tabela 21 - Média (dias) do consumo de combustível (litros) e do volume de areia extraída (m <sup>3</sup> ), conforme informações fornecidas pelo proprietário da jazida, aplicável a este estudo de caso .....	98
Tabela 22 - Aspectos e impactos ambientais: agregado natural e agregado reciclado de resíduos de construção e demolição .....	101
Tabela 23 - Planilha de aspectos e impactos ambientais - Etapa de transporte (agregado natural/agregado reciclado de resíduo de construção e demolição) .....	102
Tabela 24 - Significância de aspectos e impactos ambientais: extração e beneficiamento do agregado natural .....	103
Tabela 25 - Significância de aspectos e impactos ambientais: processo de beneficiamento do resíduo de construção e demolição.....	105
Tabela 26 - Pontuação obtida com a classificação de aspectos e impactos ambientais durante o processo de extração de areia e reciclagem de RCD.....	106
Tabela 27 - Emissão de CO <sub>2</sub> por km percorrido.....	117
Tabela 28 - Parâmetros analisados neste estudo de caso, utilizando como unidade funcional 1,00 m <sup>3</sup> de areia extraída .....	124
Tabela 29 - Quantificação de empreendimentos legalizados para extração de areia no Brasil .....	138
Tabela 30 - Avaliação de significância do processo de extração e beneficiamento do agregado natural realizada por equipe multidisciplinar .....	148



Tabela 31 - Avaliação de significância de aspectos e impactos ambientais ocasionados pelo beneficiamento do agregado reciclado de RCD realizada por equipe multidisciplinar .....	149
Tabela 32 - Calendário de medições realizadas na jazida de extração de areia .....	151
Tabela 33 - Calendário de medições na usina de reciclagem de RCD .....	152
Tabela 34 - Dados para a construção da curva de calibração .....	153
Tabela 35 - Medições dos níveis de pressão sonora (dB).....	157
Tabela 36 - Medições dos níveis de pressão sonora (dB).....	159
Tabela 37 - Pesquisa de dados de licenciamento ambiental, conforme o ramo de atividade do empreendimento .....	162



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Danos ocasionados pela extração ilegal as margens do Rio Jacuí.....	38
Figura 2 - Consumo de agregados no Brasil (em milhões de toneladas) .....	41
Figura 3 - Consumo de agregados por segmentos .....	42
Figura 4 - Planta de reciclagem de resíduos de construção e demolição .....	52
Figura 5 - Fluxo de materiais com foco na ACV .....	56
Figura 6 - Fases da ACV .....	56
Figura 7 - Etapas do processo "berço ao túmulo" .....	58
Figura 8 - Etapas do processo "berço ao berço" .....	58
Figura 9 - Delineamento da pesquisa .....	61
Figura 10 – Fotografia aérea da jazida visitada.....	63
Figura 11 - Processos de extração e beneficiamento do agregado natural (areia).....	65
Figura 12 - Detalhamento do processo de extração de areia .....	66
Figura 13 – Fotografia aérea da usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição visitada.....	67
Figura 14 - Processo de beneficiamento do agregado reciclado de resíduo de construção e demolição .....	68
Figura 15- Detalhamento do processo de beneficiamento do agregado reciclado de resíduo de construção e demolição .....	69
Figura 16 - Diagrama de blocos a ser utilizado .....	70
Figura 17 - Etapas avaliadas para areia .....	70
Figura 18 - Etapas avaliadas para o agregado reciclado de RCD.....	71
Figura 19 - Localização do ponto de coleta de material particulado (MP) na jazida.....	74
Figura 20 - Localização do ponto de coleta de material particulado (MP) na usina.....	74
Figura 21 - Holder utilizado nas coletas.....	75
Figura 22 - Filtros de 2 µm e 10 µm.....	75
Figura 23–Fluxômetro .....	75
Figura 24 - Amostradores passivos de SO <sub>2</sub> utilizados nesta pesquisa.....	77
Figura 25 - Localização dos amostradores passivos de SO <sub>2</sub> na jazida de areia.....	80
Figura 26 - Localização dos amostradores passivos de SO <sub>2</sub> na usina de resíduos de construção e demolição.....	80
Figura 27 - Decibelímetro utilizado nas medições .....	81
Figura 28 - Localização dos pontos de medições de ruídos na jazida.....	82
Figura 29 - Localização dos pontos de medições de ruídos na usina.....	82
Figura 30 - Área superficial de extração de areia <i>versus</i> área territorial das regiões brasileiras (dados em escala logarítmica) .....	87
Figura 31 - Área de extração de areia (ha) e volume de areia extraída (t) por unidade federativa .....	88
Figura 32 - Distribuição geográfica de usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil .....	91
Figura 33 - Divisão territorial do Rio Grande do Sul, conforme o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (2014), com quantitativo de processos de extração de areia, municípios e população.....	93
Figura 34 - Localização dos processos na Mesorregião Metropolitana de Porto Alegre .....	95
Figura 35 - Quantitativo de processos de concessão de lavra na Mesorregião Metropolitana de Porto Alegre com suas respectivas áreas.....	96
Figura 36 - Diagrama de blocos – Etapa de extração e beneficiamento do agregado natural – Areia .....	97



Figura 37 - Diagrama de blocos - Etapa de beneficiamento do agregado reciclado de resíduo de construção e demolição.....	98
Figura 38 - Diagrama de blocos - Etapa de transporte para ambos os processos produtivos...	99
Figura 39 - Concentração de material particulado (MP), na jazida de extração de areia (JMP01).....	107
Figura 40 - Concentração de material particulado (MP) na usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição (UMP01).....	108
Figura 41 - Concentração de material particulado (MP) na usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição (UMP02).....	109
Figura 42 - Alimentação do britador para beneficiamento dos resíduos de construção e demolição.....	110
Figura 43 - Processo de beneficiamento do agregado reciclado de resíduos de construção e demolição.....	110
Figura 44 - Taxas de sulfatação encontradas na jazida de extração de areia e na usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição.....	112
Figura 45 - Nível do rio durante o período de seca.....	113
Figura 46 - Nível do rio em condições navegáveis.....	113
Figura 47 - Medição do nível de pressão sonora na jazida de extração de areia (dB).....	114
Figura 48 - Medição do nível de pressão sonora na usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição (dB).....	114
Figura 49 - Faixas de distâncias de transporte com origem na cidade de Porto Alegre.....	117
Figura 50 - Faixas de distâncias de transporte com origem na cidade de São Leopoldo.....	118
Figura 51 - Faixas de distâncias de transporte com origem na cidade de Santa Maria.....	119
Figura 52 - Raios de distâncias com origem da cidade de Nova Prata, cenário de implantação da usina de reciclagem de RCD para estudo de caso.....	121
Figura 53 - Concentração de material particulado para 1m <sup>3</sup> de areia extraída (µg/m <sup>3</sup> ).....	122
Figura 54 - Taxa de sulfatação referente à 1m <sup>3</sup> de areia extraída.....	123
Figura 55 - Medição de ruído referente à 1m <sup>3</sup> de areia extraída.....	124
Figura 56 - Quantificação de processos de extrações de areia na Mesorregião Sudeste Rio-grandense.....	139
Figura 57 - Localização dos processos de extrações de areia na Mesorregião Sudeste Rio-Grandense.....	140
Figura 58 - Localização dos processos de extrações de areia na Mesorregião Centro Ocidental Rio-grandense.....	141
Figura 59 - Quantificação dos processos de extrações de areia na Mesorregião Centro Ocidental Rio-grandense.....	141
Figura 60 - Localização dos processos de extrações de areia na Mesorregião Centro Oriental Rio-grandense.....	142
Figura 61 - Quantificação dos processos de extrações de areia na Mesorregião Centro Oriental Rio-grandense.....	142
Figura 62 - Localização dos processos de extrações de areia na Mesorregião Sudoeste Rio-grandense.....	143
Figura 63 - Quantificação dos processos de extrações de areia na Mesorregião Sudoeste Rio-grandense.....	143
Figura 64 - Localização dos processos de extrações de areia na Mesorregião Noroeste Rio-grandense.....	144
Figura 65 - Quantificação de processos de extrações de areia na Mesorregião Noroeste Rio-grandense.....	144
Figura 66 - Mesorregião Nordeste Rio-grandense.....	145



Figura 67 - Quantificação de processos de extrações de areia na Mesorregião Nordeste Rio-grandense .....	145
Figura 68 - Curva de calibração resultante das soluções analisada.....	153
Figura 69 - Médias obtidas no ponto de medição JR01 .....	155
Figura 70 - Médias obtidas no ponto de medição JR02 .....	156
Figura 71 - Médias obtidas no ponto de medição JR03 .....	156
Figura 72 - Médias obtidas no ponto de medição UR01 .....	157
Figura 73 - Médias obtidas no ponto de medição UR02 .....	158
Figura 74 - Médias obtidas no ponto de medição UR03 .....	158



## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição  
ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais  
ABS – Absorbância  
ACV – Avaliação do Ciclo de Vida  
AICV – Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida  
ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção  
ATT – Área de Transbordo e Triagem  
CDW – Construction and Demolition Waste  
CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
CFCs – Clorofluorcarbonetos  
CML – Centro de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden  
CO – Monóxido de Carbono  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CVs – Cavalos de Potência  
dB – Decibels  
DM – Decímetro  
DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral  
EDIP – Environmental Design of Industrial Products  
EPI – Equipamento de Proteção Individual  
EPS – Environmental Priority Strategies in Product Development  
FEEVALE – Federação de Estabelecimento de Ensino Superior em Novo Hamburgo  
FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler  
GQA – Guia de Qualidade do Ar  
H<sub>2</sub>O – Água  
HA – Hectares  
HC – Hexacloroetano  
HCl – Ácido Clorídrico  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração  
IMPACT 2002+ – Impact Assessment of Chemical Toxics  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
ISO – International Organization for Standardization  
K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – Carbonato de Potássio  
LIME – Life-cycle Impact Assessment Method Based on Endpoint Modeling  
LO – Licença de Operação  
LUCAS – LCIA (life-cycle impact assessment) Method Used for a Canadian-Specific Context  
MEEuP – Methodology Study for Eco-design of Energy-using Products  
MMA – Ministério do Meio Ambiente  
MOL – Molar  
MP – Material Particulado



MPF – Ministério Público Federal  
N<sub>2</sub> – Nitrogênio  
NBR – Norma Brasileira  
NCA – Nível de Critério de Avaliação  
NM – Nanômetro  
NO<sub>x</sub> – Número de Oxidação  
O<sub>2</sub> – Oxigênio  
OMS – Organização Mundial da Saúde  
P + L – Produção Mais Limpa  
PERS – Plano Estadual de Resíduos Sólidos  
PIB – Produto Interno Bruto  
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos  
RCC – Resíduo de Construção Civil  
RCD – Resíduo de Construção e Demolição  
SGA – Sistema de Gestão Ambiental  
SO<sub>2</sub> – Dióxido de Enxofre  
SO<sub>3</sub> – Trióxido de Enxofre  
SO<sub>4</sub> – Sulfato  
T – Toneladas  
TRACI – Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other  
Environmental Impacts  
UF – Unidade Federativa  
UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos  
VOCs – Compostos Orgânicos Voláteis



## LISTA DE SÍMBOLOS

$\mu$  – Microns

$\rho$  – Massa Específica



## RESUMO

GRABASCK, J. R. **Aspectos e impactos ambientais decorrentes da extração de agregado natural e produção de agregado reciclado: estudo de caso no RS.** São Leopoldo, 2016. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2016.

Os altos índices de consumo de recursos naturais e a geração de resíduos contribuem para os altos impactos ambientais da indústria da construção civil. A utilização de agregado reciclado a partir do beneficiamento dos resíduos de construção e demolição (RCD), embora seja fortemente incentivada pela legislação brasileira, ainda é incipiente. Porém, tanto o processo de extração de areia quanto o de beneficiamento de resíduos geram impactos ambientais e devem seguir uma série de legislações e limites de diferentes aspectos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho consiste em analisar aspectos e impactos ambientais decorrentes da extração de areia natural e do beneficiamento do agregado reciclado de resíduos de construção e demolição. A primeira etapa da pesquisa consistiu em localizar as jazidas de extração de areia e as usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição, em âmbito nacional, por meio de pesquisas bibliográficas, sites do Governo e de organizações. Na segunda etapa da pesquisa, para realizar as avaliações de significância de aspectos e impactos ambientais foram visitados dois empreendimentos, uma usina de reciclagem de RCD na Mesorregião Metropolitana de Porto Alegre e uma jazida de extração de areia na Mesorregião Centro Oriental Rio-Grandense. Ambos os processos apresentaram impactos com classificação crítica, ou seja, que acarretam em danos irreversíveis ao meio ambiente. Para averiguar a classe de risco na qual a qualidade do ar se enquadra, foram realizadas medições de concentrações de material particulado e determinada a taxa de sulfatação, sendo que apenas a emissão de material particulado apresentou valores acima dos estabelecidos pelas legislações vigentes. Por meio da quantificação do nível de pressão sonora, ficou evidente a necessidade de utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's) durante a operação da draga de extração e do britador. Os cálculos de emissões de CO<sub>2</sub> indicaram que grandes deslocamentos fazem com que a utilização de areia natural extraída próxima ao consumo seja menos impactante do que o agregado reciclado, considerando a falta de usinas em todas as regiões. Entretanto, em locais que não há jazidas de areia natural, a instalação de usinas de reciclagem faz-se oportuna.

Palavras-chave: aspectos e impactos ambientais; avaliação de significância; CO<sub>2</sub>; SO<sub>2</sub>; ruído.



## ABSTRACT

GRABASCK, J.R. **Environmental aspects and impacts of natural aggregate extraction and recycled aggregate production: case study in RS.**São Leopoldo, 2016. 164 p. Dissertação (Master Degree in Civil Engineering) – Postgraduate Civil Engineering Program, Unisinos, São Leopoldo.

The high rates of natural resource consumption and waste generation contribute to the high environmental impacts of the construction industry. The use of recycled aggregate from Construction and Demolition Waste (CDW) processing, although it is strongly encouraged by Brazilian law it, is still incipient. However, either the sand mining process as waste processing generate environmental impacts and must follow a series of laws and limits of different aspects. In this context, the objective of this study was to analyze the environmental aspects and impacts of natural sand extraction compared to the processing of recycled household waste from construction and demolition. The first stage of the research was to find the sand extraction mines and plants of recycling of waste from construction and demolition, nationwide, through literature searches, government sites and civil organizations. In the second stage of the research, to undertake the assessments of significance of environmental aspects and impacts two enterprises were visited, one construction and demolition waste (CDW) recycling plant in Metropolitan Porto Alegre and sand extraction quarry in Mesoregion East Center Rio Grande. Both processes presented critical impact rating, ie, which lead to irreversible damage to the environment. To determine the risk class in which the air quality falls, measurements were made of particulate matter concentrations and determined the sulfation rate. Only the emission of particulate matter presented values above established by current legislation. By quantifying the sound pressure level, it was evident the need for use of equipments for individual safety (EIF) during operation of the dredge mining and crusher. The calculation of CO<sub>2</sub> emissions indicated that because of large displacements cause the next extracted using natural sand consumption is less harmful than the recycled aggregate, considering the lack of plants in all regions. However, in places where there is no natural sand deposits, the installation of recycling plants becomes urgent.

Key-words: environmental aspects and impacts; significance assessment; CO<sub>2</sub>; SO<sub>2</sub>; noise.



# 1 INTRODUÇÃO

A construção civil tem grande importância no cenário econômico e configura como uma das principais geradoras de empregos. Contudo, também tem grande participação nos impactos ambientais atualmente discutidos, como extração de recursos naturais, aquecimento global, contaminação da água, do solo e do ar.

No Brasil em 2013, os dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), apontam que foram coletados nos municípios mais de 117 mil toneladas de resíduos de construção e demolição por dia, o que equivale a 0,584 kg/hab/dia. Nos dados oficiais, a região Sudeste aparece como a maior geradora, com 61.487 t/dia, seguida da Nordeste com 22.162 t/dia, Sul com 16.067 t/dia, Centro-Oeste com 13.439 t/dia e Norte, sendo o menor gerador, com 4.280 t/dia. (ABRELPE, 2013). Porém esses dados não contemplam a informalidade muito presente no setor, tanto do ponto de vista das construções informais (não legalizadas), ou pela falta de controle e fiscalização no transporte e destinação final dos resíduos.

Não apenas no Brasil, mas em vários países, há uma grande preocupação com o resíduo gerado proveniente do setor da construção civil (resíduo de construção e demolição – RCD), tendo em vista o volume expressivo e os impactos causados ao meio ambiente. Por exemplo, estudos indicaram que 48% dos resíduos gerados no Reino Unido eram provenientes da indústria da construção civil. (EDWARDS, 2005). Na Espanha, em torno de 40 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição eram geradas anualmente, o que corresponde a 32% do total de resíduos produzidos. (ORTIZ, PASQUALINO e CASTELLS, 2009).

Em contraponto, o continente europeu destaca-se como maior reciclador mundial de RCD. Apenas nos Países Baixos<sup>1</sup> havia em torno de 40 plantas de reciclagem, que beneficiavam 70% dos resíduos gerados. (FERREIRA e PEREIRA, 2009). Em 2003, na Catalunha, foram reciclados 6,3 milhões de toneladas de RCD, o que corresponde a 1000 kg/hab. (ARC, 2006 apud ORTIZ, PASQUALINO e CASTELLS, 2009).

No Brasil, duas questões centrais ainda desafiam o gerenciamento de resíduos no país: o descarte inadequado destes resíduos, em muitos municípios, e o tímido aproveitamento destes em termos de reciclagem em agregado, que, além de diminuir o descarte em aterros,

---

<sup>1</sup>Território de 41.528 km<sup>2</sup> (4.152.800 ha) (WIKIPEDIA, 2015), apresentando em 2014 uma população de 16.85 milhões (THE WORLD BANK, 2016).

diminui a extração de areia e brita, recursos naturais extraídos da natureza, amplamente utilizados pelo setor. Também pode ser citada a dificuldade na obtenção de dados quantitativos sobre a geração de resíduos, tendo em vista a grande informalidade presente no setor.

Santos (2014) argumenta que devido à falta de planejamento por parte do Poder Público e aos impedimentos acarretados pelas leis ambientais, a extração de areia tem se dado cada vez mais distante das áreas de consumo, o que faz com que o material seja comercializado com valores altos. Segundo o autor, regiões como Porto Alegre, Fortaleza, Recife e Rio de Janeiro buscam por materiais alternativos, como a areia de britagem e a areia de resíduos da construção civil.

No Brasil, em 2012, houve um aumento de 7,1% na produção de brita e 6,4% na de areia. Contudo, esses dados são estimados através do consumo de cimento, o que torna o levantamento impreciso, principalmente pelas extrações de agregados realizadas ilegalmente. (DNPM, 2013). Por exemplo, após uma ação civil pública, em 2014, o estado do Rio Grande do Sul sofreu com a falta de areia, ocasionada pela suspensão da extração de areia no Rio Jacuí, que ocorria ilegalmente. A extração era realizada por três empresas mineradoras, responsáveis pelo abastecimento de 95% da Região Metropolitana de Porto Alegre. (CIGANA, 2013).

Através de um Termo de Compromisso assinado entre o Governo Estadual, o Ministério Público e o Tribunal de Contas do Estado do Rio Grande do Sul foram implantadas ações emergenciais para rever o processo de licenciamento, a emissão de licenças ambientais para os locais de extração, dragas de extração mineral e depósitos de minério, tendo como objetivo facilitar a fiscalização e preservar o meio ambiente, perante a crescente degradação. (MARIANE, 2013).

Guacelli (2010) assegura que a importância da extração da areia só entrou em destaque após as jazidas localizadas nos centros urbanos chegarem próximo ao esgotamento, ocasionando, com isso, a necessidade de investir em áreas mais distantes, que consequentemente, acarretam no aumento do valor do agregado, devido às grandes distâncias percorridas.

Em algumas regiões no Brasil, as reservas de brita e areia estão há mais de 100km distantes do consumidor. (FERREIRA e PEREIRA, 2009). Um exemplo disto é a Região Metropolitana de São Paulo, devido às restrições aplicadas pelas políticas ambientais. Essas

grandes distâncias percorridas fazem com que o produto final seja comercializado com um valor mais alto, repassando este acréscimo ao consumidor e ao poder público, além do impacto ambiental produzido pelo próprio transporte, como emissão de CO<sub>2</sub>, e danos às estradas. O transporte é responsável por 2/3 do valor final dos produtos, o que reforça a necessidade de produzir os materiais o mais próximo possível do local de consumo. (QUARESMA, 2009).

Segundo Guacelli (2010), a falta de areia, devido às extrações ilegais, e as grandes distâncias percorridas foram os principais motivos para as empresas procurarem materiais alternativos para substituição do agregado, sendo imprescindível que estes apresentem vantagens competitivas.

A reciclagem de RCD em agregado é fortemente indicada pela legislação, pois garante um destino adequado aos resíduos e, ainda pode gerar materiais com boa relação custo/benefício, que anteriormente necessitariam ser extraídos da natureza. Porém, convém ressaltar que a reciclagem do RCD também gera impactos ao meio ambiente, através das etapas de transporte, reprocessamento e geração de resíduos. (ANGULO, 2000).

Neste contexto propõe-se a realização de uma Dissertação a fim de analisar aspectos e impactos ambientais decorrentes da extração do agregado natural comparado ao beneficiamento do agregado reciclado de resíduos de construção e demolição.

## **1.1 OBJETIVOS**

A seguir encontra-se a apresentação do objetivo geral e dos objetivos específicos deste estudo.

### **1.1.1 Objetivo geral**

Identificar os aspectos e avaliar os impactos ambientais ocasionados na extração do agregado natural (areia) e decorrentes do beneficiamento do agregado reciclado de resíduo de construção e demolição.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos serão apresentados a seguir:

- Identificar as áreas para extração de areia e usinas de reciclagem de RCD
- Analisar a significância de aspectos e impactos ambientais gerados nos processos de extração de areia e beneficiamento de RCD em agregado reciclado

- Avaliar quantitativamente impactos ambientais ocasionados pelos processos: de extração e beneficiamento de areia, de beneficiamento do RCD e do transporte em ambos os processos.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Após cinco anos da tramitação de uma ação judicial, no início de 2013 foi proibida a extração de areia no Rio Jacuí, responsável pelo abastecimento de 95% da Região Metropolitana de Porto Alegre. (CIGANA, 2013). No decorrer deste período, as extrações ilegais ocasionaram danos irreparáveis ao meio ambiente, como alteração na profundidade do rio, o desaparecimento de praias, pontais e bancos de areia. (ALMEIDA, 2013; CIGANA, 2013).

Devido à exaustão dos locais de extração, os mineradores rumaram para as margens do rio para realizar a sucção do material, prática esta que é ilegal e responsável pelo solapamento, fenômeno que devido à falta de sustentação no solo acarreta no desabamento das margens do rio, atingindo diretamente a mata ciliar (Figura 1). (ALMEIDA, 2013; DINIZ, 2013).



**Figura 1 - Danos ocasionados pela extração ilegal as margens do Rio Jacuí**

Fonte: Fábio Almeida/RBS TV (2013)

Com a proibição judicial, os estoques de areia na Região Metropolitana de Porto Alegre exauriram-se rapidamente, provocando uma forte crise no setor da construção civil, obras públicas e privadas foram diretamente atingidas por esta crise. (KLEIN, 2013). A solução provisória encontrada foi buscar o material em outros pontos do Estado, porém estes locais apresentaram limitações em sua produção, devido à necessidade de abastecer as suas próprias microrregiões. (DINIZ, 2013; KLEIN, 2013).

Além dos danos ocasionados diretamente ao rio, as grandes distâncias percorridas para suprir a falta de areia intensificaram a saturação das estradas e ampliaram os danos existentes, mediante aos grandes volumes transportados. (SINDUSCON-RS, 2013).

Perante o cenário encontrado, algumas empresas buscaram materiais alternativos para suprir as necessidades emergenciais, como o agregado reciclado de resíduo de construção e demolição. Porém, assim como o processo de extração e beneficiamento da areia, o processo de produção do agregado reciclado também gera impactos ambientais.

A fim de identificar os aspectos e avaliar os impactos ambientais em ambos os processos, propõe-se a realização de um estudo de caso em uma usina de reciclagem de RCD e em uma jazida de extração de areia no Estado do Rio Grande do Sul.

Após a observação direta dos principais aspectos e impactos ocasionados optou-se pela quantificação do material particulado, ocasionado principalmente pela movimentação dos veículos e maquinários; a determinação da taxa de sulfatação, para avaliar a poluição atmosférica ocasionada pelo enxofre; os níveis de pressão sonora gerados durante estes processos produtivos; e as emissões de CO<sub>2</sub>, por meio do cálculo estequiométrico de combustão completa do diesel.

### **1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA**

Esta pesquisa foi dividida em sete capítulos. No primeiro capítulo foi apresentado um panorama geral da situação do agregado natural e do agregado reciclado de RCD, em termos de consumo, produção, aspectos e impactos acarretados durante os processos de extração do agregado natural e beneficiamento do agregado reciclado de RCD. Neste capítulo também são apresentados os objetivos da pesquisa, geral e específicos, a justificativa, a estrutura da pesquisa e as delimitações deste trabalho.

No segundo capítulo foram apresentadas as definições, estimativas e consumos do agregado natural, neste caso, com enfoque na areia. Encontra-se também o detalhamento do processo de extração de agregado natural, com os métodos mais adequados para cada situação. Ainda no segundo capítulo foram apresentados agregados artificiais e reciclados, as legislações vigentes, em território nacional, que classificam, determinam os locais de deposição e a utilização dos resíduos de construção civil, apresentando as etapas a serem seguidas para transformá-lo em agregado reciclado de RCD. Neste capítulo também foram apresentadas as diferentes estruturas das usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição.

O capítulo três aborda os aspectos e impactos acarretados pela extração do agregado natural e pelo beneficiamento do agregado reciclado, apresentando métodos de avaliação de impactos do ciclo de vida com possibilidade de aplicação na pesquisa realizada.

O quarto capítulo apresenta o método de pesquisa utilizado para atender aos objetivos pré-definidos, sendo dividido em três etapas: (01) localização das jazidas de extração de areia e das usinas de reciclagem de RCD, em âmbito nacional, mas com foco principalmente no Estado do Rio Grande do Sul; (02) as análises de significância dos aspectos e impactos ambientais observados em ambos os empreendimentos; (03) as análises quantitativas, com detalhamento dos processos realizados para as medições de material particulado, a determinação da taxa de sulfatação, nível de pressão sonora e as emissões de CO<sub>2</sub>, por meio do cálculo estequiométrico.

No quinto capítulo são apresentados os resultados, com as respectivas análises e discussões pertinentes ao enfoque desta pesquisa. O sexto capítulo constitui-se das conclusões obtidas ao término do estudo. E o sétimo capítulo apresenta as sugestões para futuras pesquisas.

#### **1.4 DELIMITAÇÕES**

Este trabalho utiliza como estratégia de pesquisa o estudo de caso, e tem como objeto de estudos uma usina de reciclagem de RCD, localizada na Mesorregião Metropolitana de Porto Alegre, e uma jazida de extração de areia, situada na Mesorregião Centro Oriental Rio-grandense. Assim, os resultados encontrados são referentes aos processos realizados por estes empreendimentos, e podem ser divergentes a outros processos de outras usinas de reciclagem de RCD e de jazidas de extração.

## 2 AGREGADOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

O termo agregado denomina substâncias minerais, como areia, cascalho e rocha britada, ou o produto proveniente da reciclagem ou beneficiamento dos resíduos de construção, denominados agregados reciclados. De uma forma geral, na construção civil, os agregados (naturais ou artificiais) são utilizados para produzir concreto, argamassa e asfalto, podendo ser utilizado também *in natura*, para a realização da base de pavimentos. Os agregados são classificados conforme as suas dimensões: os agregados graúdos correspondem às partículas maiores que 4,8mm, e os agregados miúdos são partículas entre 75µm a 4,8mm. (QUARESMA, 2009).

### 2.1 AGREGADOS NATURAIS

Os principais insumos utilizados como agregados naturais são: cascalho, rocha e areia. No Brasil, 70% da areia extraída provêm de leitos de rios, mas pode ser encontrada também em várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, pegmatitos e arenitos decompostos. (QUARESMA, 2009).

Em 2008, o Brasil extraiu 300 milhões de toneladas de areia e 234 milhões de toneladas de brita, tanto por pequenas e médias empresas, como por empresas clandestinas, que são as responsáveis por grande parte dos danos causados ao meio ambiente. (FERREIRA e PEREIRA, 2009).

Em 2011, houve no Brasil um consumo de 3,5 t/hab. de agregados. (IBRAM, 2012). Comparado ao ano de 2010 apresentou um aumento de 6%. Por meio do Produto Interno Bruto (PIB) e da crescente demanda por cimento, estima-se que em 2022 será consumido 1,12 bilhão de toneladas de agregados (Figura 2). (IBRAM, 2012).

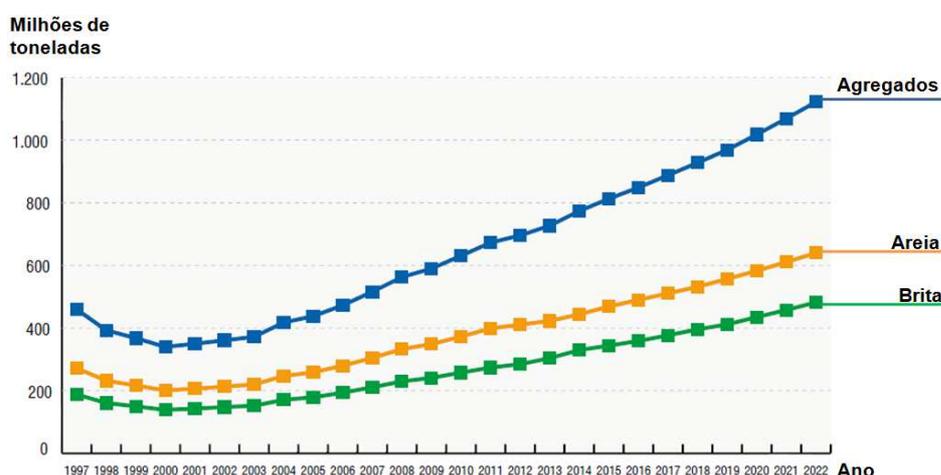


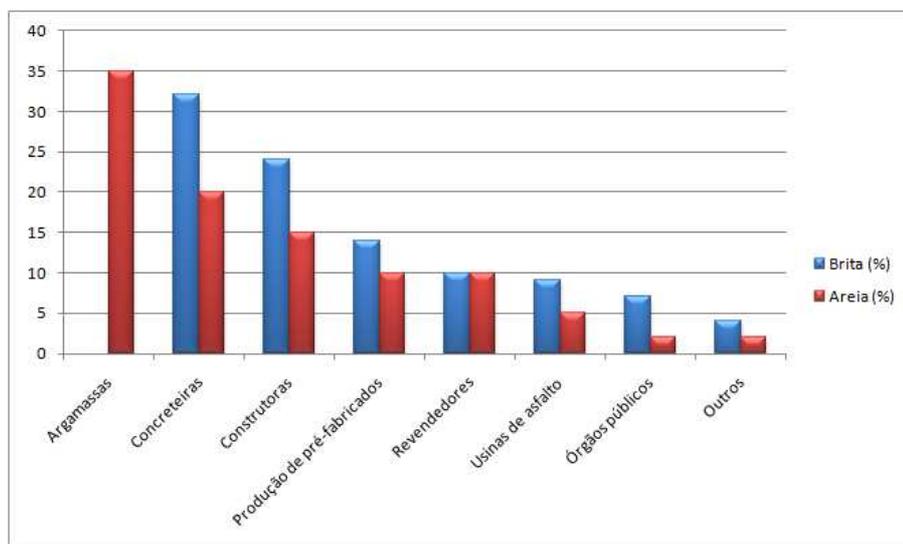
Figura 2 - Consumo de agregados no Brasil (em milhões de toneladas)

Fonte: ANEPAC apud IBRAM (2012)

Os valores dos agregados diferem de uma região para outra, devido à inviabilidade do transporte de materiais entre regiões. Conseqüentemente, há variação no preço do produto nas cidades em um mesmo Estado. (ANEPAC, 2009; LA SERNA e REZENDE, 2009).

La Serna e Rezende (2009) realizaram um levantamento que apontou a variação do preço por tonelada de agregado em cada Unidade Federativa no período de junho de 2009, registrando o valor médio nacional de R\$ 25,05 para areia fina, sendo no Distrito Federal o valor mais elevado, R\$ 42,59, e no Estado de Roraima o menor valor, R\$ 12,98.

A Figura 3 apresenta um comparativo da utilização de agregados naturais (brita e areia) em diversos segmentos da construção civil. Observa-se que a produção de argamassa é a atividade que mais consome areia, utilizando 35% da produção total, devido à grande quantidade de material empregada na sua fabricação. Em contraponto, esta é a única atividade que não consome brita, sendo este, outro recurso natural não renovável.



**Figura 3 - Consumo de agregados por segmentos**

Fonte: ANEPAC apud ABDI (2012)

Para se realizar extração de areia, independentemente para qual finalidade será utilizada, devem ser seguidas algumas etapas burocráticas, conforme sinalizado a seguir.

“Por ser um bem mineral de propriedade da União, a extração de areia só pode ser feita com autorização do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e com licença ambiental (GAZETA ONLINE, 2010), mesmo que a jazida esteja localizada em terreno particular (PLENÁRIO, 2010b; MPF, 2010).” (CETEM, 2013).

Além de acarretar em penas de reclusão e multas, a extração ilegal ou clandestina ocasiona graves impactos ambientais, que causam danos irreversíveis ou de difícil recuperação, como a destruição da vegetação local, desmatamento, modificação da paisagem, assoreamento de rios, exposição do lençol freático e, conseqüentemente, a sua contaminação. (CETEM, 2013).

Por meio dos estudos realizados por Pfaltzgraff (1994) observa-se que as preocupações com o meio ambiente não são um problema atual. Em 22 anos a mídia continua apresentando as mesmas informações referentes à extração de areia, que vem causando transtornos às comunidades vizinhas às lavras e os danos ocasionados ao meio ambiente.

Para efetuar a extração ou lavra dos recursos minerais, devem ser realizadas as seguintes ações: reconhecimento, prospecção e exploração, a fim de identificar a disponibilidade de jazidas. O reconhecimento corresponde à identificação e delimitação das possíveis áreas de ocorrência de minerais, composto pelo inventário dos recursos e seu registro nas bases cartográficas. A prospecção corresponde a trabalhos de campo, onde são realizadas investigações geológicas, geoquímicas e geofísicas, a fim de localizar e definir as áreas de jazidas. Já na exploração, além dos métodos de prospecção, aplicam-se também intervenções diretas ao meio ambiente, para coleta de informações detalhadas referentes às áreas de delimitação de possíveis jazidas. (MANUAL MMA,s.d.).

O Manual do MMA (s.d.) ainda afirma que os impactos ambientais ocasionados pelas lavras de bens minerais podem ser previstos ainda durante as averiguações de possível implantação das lavras, antecipando assim a definição desses impactos na fase de projeto.

São poucos os impactos ambientais observados na fase de reconhecimento, mas com o avanço das ações, os impactos se intensificam, aumentando na fase de prospecção e majorando na fase de exploração.

Cardoso (2008) afirma que na região de Manaus todas as reservas minerais são superficiais, caracterizando o processo de extração a céu aberto, sendo estas realizadas em tiras paralelas ou em bancadas. O autor apresenta as fases de implantação da lavra, onde pode-se observar: 1º - a supressão da vegetação e limpeza dos restos lenhosos; 2º - a retirada do solo orgânico e do material estéril, por meio do decapeamento do corpo mineral; 3º - o desmonte do material; 4º - o transporte e o carregamento.

Cardoso (2008) ainda afirma que logo após o desmonte, realiza-se o carregamento e o transporte do material, para que haja aproveitamento da máquina e não acarrete em

desperdício do material, devido à estocagem. Já Pfaltzgraff (1994) assegura que em seus estudos de caso encontrou estoques de areia atingindo até 10 m de altura, 200 m de comprimento e 50 m de largura, em forma de montes, e pilhas de areia de 20 m de altura e 100 m de comprimento. Porém cabe salientar que Pfaltzgraff (1994) apresenta dados de extração em leitos de rio, enquanto Cardoso (2008) apresenta dados de extração na superfície terrestre.

## **2.2 AGREGADOS ARTIFICIAIS E RECICLADOS**

O agregado reciclado é identificado pela Resolução nº 307/2002 – CONAMA como um material granular resultante do beneficiamento de resíduos da construção civil– resíduos classe A, que tenha características técnicas aptas para a aplicação em obras de edificações, de infra-estrutura, em aterros sanitários ou demais obras no setor de engenharia.

Por resíduos de construção, entende-se aqueles originados de construções, reformas, reparos e demolições, assim como, de escavações e preparação do solo. São compostos por tijolos, blocos cerâmicos, concretos, argamassas, telhas, gesso, solos, rochas, tintas, madeiras, resinas, pavimentos, tubulações, vidros, plásticos e fiações elétricas, sendo conhecidos popularmente como caliça, metralha ou entulhos de obras. (DECRETO 18.481, 2013).

No Brasil, os resíduos provenientes da indústria da construção civil são denominados de duas maneiras: Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e Resíduos de Construção Civil (RCC). As legislações vigentes no Brasil utilizam o termo RCC, entre elas, a Resolução nº 307/2002 CONAMA e o Decreto nº 18.481/2013. Já no meio científico, incluindo este trabalho, adota-se a terminologia RCD, seguindo o termo empregado internacionalmente no meio técnico, que é a tradução do termo utilizado na língua inglesa *CDW– construction and demolition waste*.

Somente em 2013, foram coletadas mais de 117 mil toneladas de RCD diariamente nos municípios brasileiros, representando 0,584 kg/hab/dia. (ABRELPE, 2013). Porém, a grande parte do RCD gerado em autoconstruções, reformas e demolições, que apesar de gerarem volumes de resíduos menores do que as grandes obras, ocorrem com maior frequência, dificilmente é contabilizada nos dados oficiais de geração de RCD.

### **2.2.1 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO**

As legislações e normas vigentes no Território Nacional que abordam as definições, critérios, procedimentos e requisitos dos resíduos de construção civil, visando à

preservação do meio ambiente e ao descarte adequado dos diversos resíduos estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1 - Legislação brasileira aplicada aos resíduos de construção**

<b>Normativa</b>	<b>Título</b>	<b>Conteúdo</b>
Resolução n° 307:2002	Resolução 307/2002 – CONAMA	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil
ABNT NBR 10004:2004	Resíduos sólidos – Classificação	Classifica os resíduos (no geral) de forma que sejam gerenciados corretamente
ABNT NBR 15112:2004	Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação	Fixa os requisitos para projeto, implantação e operação e triagem de resíduos
ABNT NBR 15113:2004	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação	Fixa os requisitos mínimos para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos classe A e inertes
ABNT NBR 15114:2004	Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação	Fixa os requisitos mínimos para projeto, implantação e operação de áreas de reciclagem de resíduos classe A
ABNT NBR 15115:2004	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos	Estabelece critérios para a execução de camadas de reforço do subleito, sub-base, base de pavimentos e camada de revestimento primário
ABNT NBR 15116:2004	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos	Estabelece os requisitos para a utilização de agregados reciclados na construção civil
Lei n° 12305:2010	Política Nacional de Resíduos Sólidos	Apresenta os princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes de gestão e gerenciamento dos resíduos e responsabiliza os geradores
Resolução n° 469:2015	–	Altera aos resíduos Classe B da CONAMA n°307, incentivando a aplicação da logística reversa nas latas de tintas.

Neste estudo ressalta-se a importância da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e da Resolução n°307/2002 – CONAMA, pois ambas salientam a relevância do gerenciamento, da identificação e do descarte adequado dos resíduos gerados, sendo a última específica aos resíduos da indústria da construção.

A PNRS apresenta diretrizes e estratégias que determinam que todos os envolvidos são responsáveis pela efetivação deste Plano, ou seja, a responsabilidade é comum ao poder público, à sociedade e aos geradores de resíduos sólidos. São indicadas medidas estruturantes que apresentam suporte político e gerencial em prol da sustentabilidade para prestação de serviços. Estas medidas abrangem os setores de gestão, apoio para a prestação de serviços, capacitação, assistência técnica, desenvolvimento científico e tecnológico.

Com relação aos resíduos de construção civil foram determinadas seis metas, sendo elas: (a) eliminação de 100% das áreas de bota-fora até 2014; (b) implantação de aterros classe A em 100% dos municípios até 2014; (c) implantação de ponto de entrega voluntária, áreas de transbordo e triagem em 100% dos municípios até 2014; (d) reutilização e reciclagem de RCD em 100% dos municípios da Região Norte e Centro-Oeste até 2019, da Região Nordeste e Sul até 2023, e da Região Sudeste até 2027; (e) elaboração dos Planos de Gerenciamento de Resíduos de Construção até 2014; e (f) elaboração de diagnóstico quantitativo e qualitativo da geração, coleta e destinação dos resíduos até 2014. Contudo, apesar de definidas estas metas, em 2016 muitos municípios ainda não conseguiram concretizá-las e colocar em vigor os Planos de Gerenciamento de Resíduos.

Os resíduos de construção, segundo a Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) são classificados como: Classe A, Classe B, Classe C e Classe D. Os resíduos Classe A correspondem aos passíveis de reciclagem ou reutilização como agregados, ou seja, os provenientes de construções, demolições, reformas, reparos de pavimentação, obras de infra-estrutura e terraplanagem, assim como, os seus resultantes, componentes cerâmicos, argamassa e concreto, e ainda, os resíduos provenientes do processo de fabricação ou demolição das peças pré-moldadas em concreto, que são produzidas no próprio canteiro de obras. Os resíduos Classe B correspondem aos recicláveis, que possuem outras finalidades, como, plásticos, papéis, papelão, metais, vidros, madeiras e gessos. Já para os resíduos Classe C, não há tecnologias ou aplicações que sejam viáveis economicamente para realização da sua reciclagem ou recuperação. Os resíduos Classe D são os perigosos, provenientes do processo construtivo, como, tintas, solventes, óleos e os contaminados ou prejudiciais à saúde, resultantes de construções como clínicas radiológicas ou instalações industriais.

A partir desta Resolução foi instituído que todos os municípios brasileiros devem elaborar um Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, onde devem constar: as áreas aptas a receber os resíduos, realizar triagens e armazená-los temporariamente, possibilitando posteriormente a destinação de resíduos oriundos às áreas de beneficiamento; proibindo a destinação de resíduos em áreas não licenciadas; incentivando a reinserção de resíduos reutilizáveis e recicláveis na produção; cadastramento de transportadores; ações de orientação, fiscalização e controle; e ações educativas, com o objetivo de incentivar a redução de resíduos e possibilitar a segregação destes.

### **2.2.2 RECICLAGEM DE RESÍDUOS CLASSE A COMO AGREGADOS**

Há várias maneiras para reduzir a geração de resíduos ou diminuir o volume de resíduo a ser descartado, entre elas estão a redução na fonte e a sua utilização como fontes de energia ou matéria-prima. Ao utilizar como matéria-prima, é necessário um processo de beneficiamento caracterizando a reciclagem, que corresponde à valorização destes materiais, evitando a sua disposição em aterros sanitários ou industriais. (EDWARDS, 2005).

Visando preservar o meio ambiente e se enquadrar as leis buscando sustentabilidade, em 1991 foi inaugurada a primeira usina de reciclagem de RCD no Hemisfério Sul, localizada no Estado de São Paulo, no Bairro Santo Amaro. A Usina de Itatinga, para a reciclagem de resíduos Classe A, produzindo material para pavimentação de vias públicas (agregados). (TOALDO, 1993 apud SILVEIRA, 2005). Ou seja, o interesse pela reciclagem de RCD mostrou-se tardio no Brasil, ao ser comparado, por exemplo, com os países europeus, que iniciaram a reciclagem de resíduos no final da Segunda Guerra Mundial (1939-1945), com a infra-estrutura e as finanças abaladas, a Europa encontrou no RCD uma forma de reconstruir as cidades. (T&C AMAZÔNIA, 2014).

Em 2005, haviam 12 usinas de reciclagem de RCD no Brasil, com uma produção menor que 100 t/dia, o que caracteriza uma quantidade muito pequena comparado ao que é gerado. (ALMEIDA et al., 2005). A Tabela 2 mostra, em ordem cronológica, usinas instaladas no Brasil no período de 1991 a 2013, a partir de informações encontradas na literatura, de propriedade pública ou privada.

**Tabela 2 - Usinas brasileiras de reciclagem de resíduos de construção e demolição em operação**

<b>Cidade</b>	<b>Proprietário</b>	<b>Ano de instalação</b>	<b>Capacidade (t/h) declarada</b>
Belo Horizonte – MG (Estoril)	Público	1994	30
Belo Horizonte –MG (Pampulha)	Público	1996	20
Ribeirão Preto – SP	Público	1996	30
Piracicaba – SP	Público	1996	15
Socorro – SP	Privado	2000	3
Guarulhos – SP	Público	2000	15
Vinhedo – SP	Público	2000	15
Brasília – DF	Privado	2001	30
Fortaleza – CE	Privado	2002	60
Jundiaí – SP	Privado	2004	20
São Bernardo do Campo – SP	Privado	2005	50
São José do Rio Preto – SP	Público	2005	30
São Carlos – SP	Público	2005	20
Belo Horizonte – MG (BR040)	Público	2006	40
Ponta Grossa – PR	Privado	2006	20
Taboão da Serra – SP	Privado	2006	20
João Pessoa – PB	Privado	2007	25
Caraguatatuba – SP	Privado	2007	15
Colombo – PR	Privado	2007	40
Limeira – SP	Privado	2007	35
Americana – SP	Privado	2007	25
Piracicaba – SP	Público	2007	20
Santa Maria – RS	Privado	2007	30
Brasília – DF	Privado	2008	15
Londrina – PR	Privado	2008	40
São Luís – MA	Privado	2008	40
São José dos Campos – SP	Privado	2008	70
Paulínia – SP	Privado	2008	100
São Leopoldo – RS	Público	2013	Indeterminado
Porto Alegre – RS	Privado	2013	Indeterminado

Fonte: Angulo, 2005; Ulsen, 2006; Cretatec; Toaldo, 1993 apud Silveira, 2005.

A partir da Tabela 2 é possível verificar um crescimento no número de instalação de usinas, especialmente nos anos de 2007 e 2008, e que no início do período analisado existia uma predominância de empresas públicas (a maioria municipais), passando para o setor privado. As capacidades de produção declaradas variam entre as empresas, sendo que não há dados confirmados pelas usinas de São Leopoldo e Porto Alegre.

No entanto, os dados apresentados pela bibliografia diferem das informações disponibilizadas pela Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil

e Demolição(ABRECON). Segundo a ABRECON, há mais de 300 empreendimentos que lidam com reciclagem de RCD no país, cadastrados no seu sistema de geolocalização, denominado de Mapa Abrecon, embora apresente dados referentes a apenas 79 empreendimentos (Tabela 3), e destes, 52 são identificados como “indefinido”.

**Tabela 3 - Empreendimentos cadastrados no Mapa Abrecon**

Estados	ATT	Aterro de inertes	Usinas fixas	Usinas móveis	Indefinido	Total
Acre, Alagoas, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará, Paraíba, Piauí, Rondônia, Roraima, Tocantins	0	0	0	0	0	0
Bahia	0	0	0	0	1	1
Ceará	0	0	0	0	2	2
Distrito Federal	0	0	1	1	0	2
Espírito Santo	0	0	0	0	3	3
Goiás	0	0	0	0	2	2
Minas Gerais	0	0	0	0	5	5
Paraná	0	0	0	0	3	3
Pernambuco	0	0	0	0	2	2
Rio de Janeiro	5	0	0	0	2	7
Rio Grande do Norte	0	0	0	0	1	1
Rio Grande do Sul	0	0	0	0	3	3
Roraima	0	0	0	0	0	0
Santa Catarina	0	0	0	0	3	3
São Paulo	1	1	14	3	25	44
Sergipe	0	0	1	0	0	1
<b>Brasil</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>52</b>	<b>79</b>

Fonte: Abrecon (2015)

Ao analisar as duas tabelas, chama a atenção o grande número de estados sem registro de instalação de empreendimentos envolvidos com reciclagem de RCD, e a grande concentração de Usinas no estado de São Paulo.

A reciclagem do RCD torna-se viável mediante um conjunto de aspectos, principalmente com relação ao seu valor comparado ao do agregado natural. (PINTO, 1999). Conforme levantamento realizado por Pinto (1999), no final da década de 90, Porto Alegre – RS possuía o menor valor de agregados britados, sendo R\$ 11,00/t, e Belém – PA apresentava o valor mais elevado, R\$ 30,00/t. Em média custava o valor de R\$ 5,00 para processar cada

tonelada, este custo operacional compreendia gastos com energia, água, mão-de-obra, juros e equipamentos de manejo. Neste mesmo ano no Estado de São Paulo, o RCD era comercializado a R\$ 13,33 (PINTO, 1999), e em 2013, o valor passou para R\$ 17,00 por tonelada (LASSO et al., 2013), o que representa um aumento de 27,53% em 14 anos, sendo este um acréscimo relativamente baixo, se comparado ao potencial de uso do agregado reciclado.

Além de reduzir a extração de um recurso natural não-renovável e de garantir um destino adequado aos RCDs, a reciclagem proporciona uma boa relação custo/benefício. Porém, como todo processo produtivo, gera impactos ambientais ao meio ambiente, por meio das etapas de transporte, reprocessamento e geração de resíduos. (ANGULO, 2000).

Diversas pesquisas, (Cordeiro et al., 2014; Fedumenti, 2013; Hansen, 1992; Holdis et al., 2014; Levy, 2001; Machado et al., 2014; Mehta e Monteiro, 1994; Pereira, Medeiros e Levy, 2012; Sartori, 2013; Sartori et al., 2014) apresentam resultados favoráveis em relação à utilização do agregado reciclado de RCD em substituição ao agregado natural. Os autores afirmam que há necessidade de se ter conhecimento da origem do resíduo, para que seja possível determinar a aplicabilidade mais adequada, sem causar danos ao produto a ser produzido.

### **2.2.3 ESTRUTURAÇÃO DE USINAS DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

O processo de reciclagem de resíduos de construção e demolição caracteriza-se pelo beneficiamento do resíduo descartado pelos usuários e encaminhado às usinas de reciclagem, a fim de torná-lo um material que possa ser introduzido novamente em um processo de fabricação. As usinas de reciclagem desempenham um papel importante neste processo, pois são responsáveis pela separação e identificação do material apto a passar pelo processo de beneficiamento, para tornar o que anteriormente era um resíduo em uma matéria-prima.

Para a reciclagem da fração inorgânica não-metálica do RCD é essencial as etapas de britagem, peneiramento e lavagem. Já a reciclagem na sua totalidade, é algo que requer diversos equipamentos, tornando o processo complexo. (ANGULO, 2000). Resultados de estudos realizados por Angulo (2000) indicam que no ano de 2000 ainda não havia equipamentos de separação – tanques de flutuação e separadores por injeção de ar – nas usinas de reciclagem brasileiras. Na maioria delas, o material não passava nem mesmo pela britagem secundária.

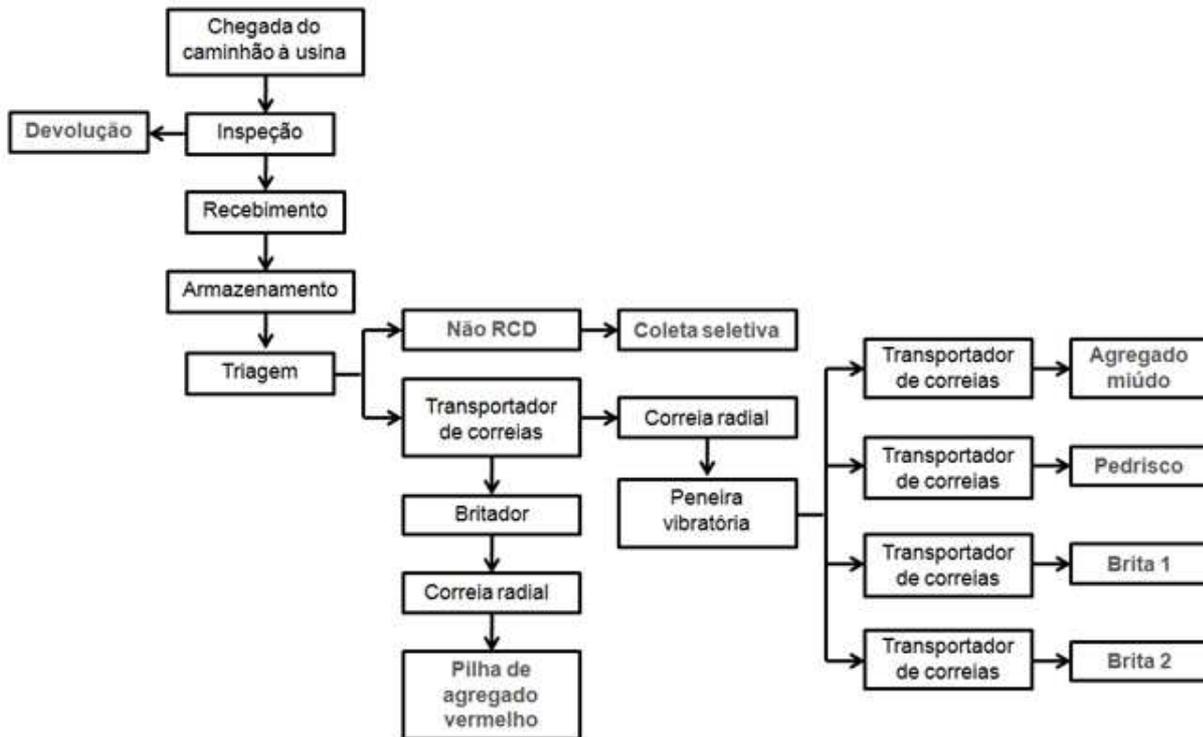
Já Santos (2007) descreve as seguintes atividades, como sendo as constituintes do processo de beneficiamento: coleta do resíduo, transporte até as centrais de triagem, triagem, britagem, peneiramento e, por fim, a estocagem.

As etapas de chegada do caminhão à usina, inspeção e recebimento são muitas vezes desconsideradas na descrição do processo de reciclagem, contudo são etapas importantes em termos de emissões atmosféricas e geração de resíduos. Para o seu devido funcionamento, o caminhão consome combustível e, conseqüentemente, gera CO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub>. Ao passar pela inspeção, o material pode seguir para a área de recebimento ou ser devolvido ao gerador, caso esteja contaminado com algum resíduo que não pode ser recebido pela usina de reciclagem.

Miranda (2015) apresenta as seguintes etapas como constituintes do processo tradicional de reciclagem. O material é aplicado em um alimentador, que deposita o resíduo em um transportador de correias, responsável por conduzir a fração miúda (leves, solo, gesso, entre outros) ao escalpe e o restante do resíduo ao britador. Por meio de uma correia radial, parte do material será direcionada à pilha de agregado vermelho e os demais seguem para peneira vibratória, onde serão direcionados, pelo transportador de correias, para pilhas de agregados com diferentes granulometrias.

Angulo (2000) assegura que a granulometria do material gerado definirá a sua aplicabilidade. Se apresentar grande quantidade de miúdos, o material deverá ser aplicado em argamassas e blocos, porém se apresentar maior quantidade de agregado graúdo poderá ser aplicado em concretos. A granulometria do material será definida conforme os equipamentos utilizados na usina de reciclagem e as etapas pelo qual será conduzido.

Na Figura 4 pode-se observar o processo de beneficiamento pelo qual o resíduo é submetido a fim de torná-lo um material apto a retornar ao processo produtivo como agregado reciclado. Apesar de não estar especificado, é possível assegurar que o material passa pelos processos de britagem e peneiramento secundário, devido à variada granulometria gerada ao final do processo, produzindo assim um material de qualidade superior.



**Figura 4 - Planta de reciclagem de resíduos de construção e demolição**

Fonte: Baseado em Santos (2007) e Miranda (2015)

A variada gama de granulometrias possibilita a aplicação distinta do material, podendo ser utilizado desde o assentamento de tubulações, *in natura*, até na substituição do agregado natural em concretos não-estruturais. Ao utilizar métodos que resultem em várias granulometrias do material, obtêm-se faixas com granulometrias mais consistentes, por exemplo, para a aplicação no assentamento de tubulações, faz-se necessária a utilização de um agregado extremamente uniforme, em termos de granulometria, pois havendo grãos com tamanhos diferenciados, há grandes probabilidades de acarretar em danos futuros a tubulação, devido a vibração ocasionada pela água ao percorrer as tubulações, grãos maiores, que diferenciam-se do restante da granulometria do material, tendem a ocasionar o rompimento da tubulação.

### 3 ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

Aspectos e impactos ambientais são importantes conceitos utilizados em sistemas de gestão. Os aspectos ambientais são definidos pela NBR ISO 14001 – Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso (2004) como, “*elementos das atividades, produtos ou serviços de uma organização que podem interagir com o meio ambiente, causando ou podendo causar impactos ambientais*”, sejam eles, positivos ou negativos. Já os impactos ambientais correspondem às modificações no meio ambiente, podendo ser positivos ou negativos, consequência ou não dos aspectos ambientais. Pode-se concluir que o aspecto ambiental é a causa e o impacto ambiental é o efeito.

Gangolells et al. (2011) e Rigon (2013) salientam os principais aspectos e impactos causados pela construção civil: emissões atmosféricas, emissões na água, geração de resíduos, alteração no solo, efeitos sobre a biodiversidade e possíveis acidentes. Baseando-se nos levantamentos realizados pelas autoras, formulou-se a Tabela 4, onde estão descritos os principais aspectos e impactos ambientais.

**Tabela 4 - Aspectos e impactos ambientais contabilizados na avaliação do ciclo de vida na construção civil**

<b>Aspecto ambiental</b>	<b>Impacto ambiental</b>
Movimentação de veículos e maquinário	Efeito estufa– Aquecimento global
Emissão de CFCs e VOCs	Efeito estufa– Aquecimento global
Contenção de material pulverulento	Contaminação do solo
Geração de resíduo inerte	Contaminação do solo
Geração de resíduo perigoso	Contaminação do ar, água e solo
Consumo de água	Escassez de recurso natural
Consumo de combustível	Escassez de recurso natural
Consumo de eletricidade	Escassez de recurso natural
Consumo de matéria-prima	Escassez de recurso natural
Remoção da vegetação	Efeito estufa– Aquecimento global
Geração de material pulverulento	Erosão no solo
Interceptação de leitos de rios	Alteração na biodiversidade
Incêndio em áreas de armazenamento	Efeito estufa(Aquecimento global), alteração na biodiversidade, contaminação da água, ar e solo.

Fonte: Adaptado de Gangolellset al. (2011) e Rigon (2013)

Para Paschoalin Filho e Graudenz (2012), os principais impactos ocasionados ao meio ambiente são os referentes ao RCD disposto irregularmente, que acarretam na degradação da paisagem, poluição do solo, dificulta o tráfego de pedestres e veículos,

entupimento da drenagem pluvial e ainda ocasiona graves doenças, decorrentes da presença de vetores – roedores, baratas, moscas, vermes, pernilongos, fungos e vírus – que utilizam o resíduo como meio de hospedagem.

O Manual de Impactos Ambientais do Ministério do Meio Ambiente (MMA) (s.d.) define que a atividade de mineração é uma grande causadora de impactos ambientais, pela: degradação visual da paisagem – abrangendo o solo e o relevo; alterações na qualidade das águas e do ar; transtornos causados as populações vizinhas a área mineradora; e comprometimento à saúde dos trabalhadores diretos.

Para Rodrigues (s.d.), os impactos ambientais mais significativos durante o processo de extração de agregados são: alteração da paisagem, supressão da vegetação (com destaque para a mata ciliar), alteração na calha dos cursos d'água, instabilidade de margens e taludes, turbidez da água e lançamento de efluentes.

Pfaltzgraff (1994) afirma que devido à alta lucratividade e aos métodos inadequados utilizados, a extração de grandes volumes ocasiona danos irreversíveis ao meio ambiente, alterando a forma natural do relevo, destruindo a vegetação existente, eliminando a fauna, alterando os cursos d'água e agravando os problemas climáticos.

Cetem (2013) menciona impactos ambientais negativos, causados durante o processo de extração de areia, como: retirada da vegetação das margens dos rios, alteração na paisagem, alteração no uso e na ocupação do solo, redução da infiltração de água no solo, tráfego intenso de veículos pesados, cavas abandonadas, alteração no lençol freático, alteração no sistema de drenagem natural, danos a fauna e a flora, e depreciação da qualidade do solo, além de perturbação as comunidades vizinhas à área extratora.

A avaliação de impactos está diretamente ligada à significância de impactos ambientais, sendo esta obtida por meio dos dados identificados na Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida (AICV), que resulta da coleta de dados, da quantificação das entradas e saídas, a utilização dos recursos, liberações no ar, na água e no solo. A observância das entradas e saídas é fundamental para a realização de uma avaliação de impactos. Neste contexto, Kersten et al (2011) caracterizaram as principais funções no processo de produção de areia, identificando as entradas e saídas acarretadas por este processo (Tabela 5).

**Tabela 5 - Entradas e saídas na produção de areia**

	<b>Início do processo</b>	<b>Final do processo</b>
Material (fluxo principal)	Areia pronta (suja) para o peneiramento	Areia peneirada em granulação padrão, pronta para utilização
Energia	Energia de tração de máquina autopropelida	Perda por atrito (movimentação da peneira)
Ajustes	Regulagens	Peneiramento da areia de acordo com o padrão estabelecido

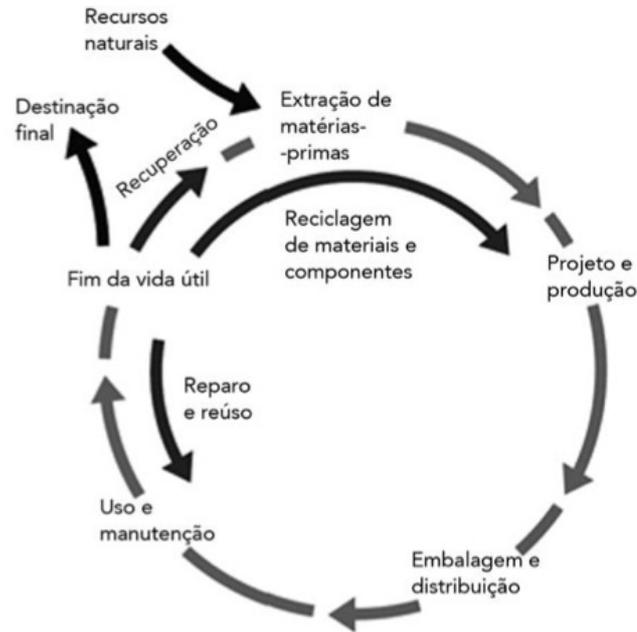
Fonte: Kersten et al (2011)

Uma das principais saídas, entre as encontradas por Prado e Kaskantzis Neto (2005), é referente à utilização do trator, pois os autores observaram um alto consumo de energias primárias, sendo estas 85% referentes ao consumo de mais de 11 toneladas de óleo diesel durante toda a vida útil do trator. Considerando que as emissões de CO<sub>2</sub> são quantificadas por meio do consumo de combustível, pode-se ressaltar que este é um processo significativo.

Prado e Kaskantzis Neto (2005) ainda ressaltam a importância das seguintes categorias de impactos: consumo de recursos naturais, consumo de energia, efeito estufa (devido ao aquecimento global), acidificação, toxicidade humana, eutrofização e redução da camada de ozônio, visando ao bem-estar do ser humano, e o direito das próximas gerações em terem acesso aos recursos fornecidos pelo meio ambiente.

Tem sido crescente a utilização do conceito do ciclo de vida pelas empresas, com enfoque não apenas nos impactos ambientais ocasionados durante a fabricação do produto, mas também no seu uso e descarte. (LIMA, 2007). A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) baseia-se nos recursos consumidos e gerados, a fim de avaliar ambientalmente o seu desempenho no decorrer de toda a sua vida útil. (EDWARDS, 2005). Ou seja, contabilizam-se todos os recursos empregados, assim como, todos os provenientes deste processo. Para contabilizar os danos causados ao meio ambiente, apontam-se os aspectos e os impactos ambientais ocasionados durante o processo.

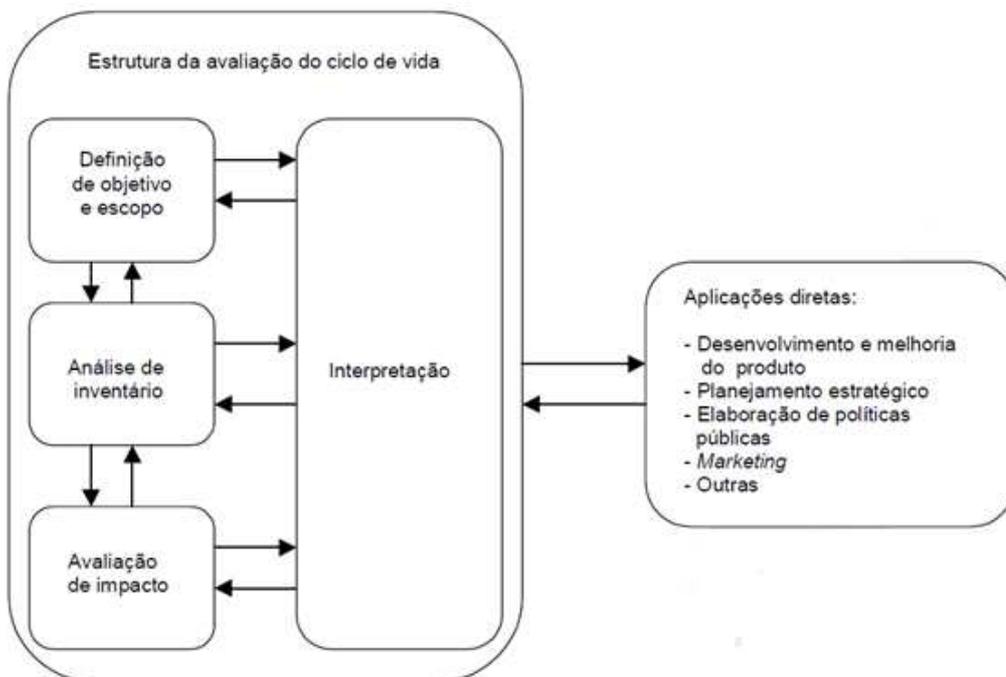
A ACV apresenta o fluxo de materiais (Figura 5) – extração, uso, reuso, reciclagem e eliminação –, energias empregadas e resíduos gerados, avaliando o desempenho ambiental no decorrer da vida útil da edificação, e determinando antecipadamente os impactos ambientais que serão ocasionados, com a sua construção, seu uso e, posteriormente, a sua degradação. (ISO 14040, 2001; EDWARDS, 2005).



**Figura 5 - Fluxo de materiais com foco na ACV**

Fonte: UNEP (2009) apud Valle e Souza (2014)

Para a realização de uma Avaliação do Ciclo de Vida utiliza-se como base a NBR ISO 14040 – Gestão ambiental (Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura) (2001). Na Figura 6 observam-se as fases da ACV, que a seguir encontram-se detalhadas conforme a respectiva norma.



**Figura 6 - Fases da ACV**

Fonte: ISO 14040 (2001)

O objetivo da ACV deve ser definido de forma a atingir a aplicação pretendida, sendo apresentado de forma clara e precisa, para alcançar o público-alvo ao qual se destina. A Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida (AICV) resulta da coleta de dados, da quantificação das entradas e saídas, a utilização dos recursos, liberações no ar, na água e no solo. Sendo este um processo iterativo, ocorrem modificações durante toda a sua concepção.

A avaliação do impacto da ACV está diretamente ligada à significância dos impactos ambientais, utilizando como base principal os dados obtidos na AICV. A apresentação e o detalhamento destes dados estão diretamente ligados ao objetivo e ao escopo, que devem ser previamente definidos. A avaliação inclui a análise crítica do objetivo e o escopo da ACV em estudo, que determinará se o estudo alcançou os objetivos definidos ou se estes objetivos e o escopo devem ser modificados, pois não haverá possibilidade de serem alcançados.

A interpretação da ACV consiste na combinação da avaliação do inventário com a avaliação dos impactos, objetivando atingir conclusões e recomendações pertinentes com o objetivo e o escopo. No escopo deve ser definido o tipo de relatório que será apresentado ao público-alvo, transmitindo de forma exata e precisa os dados obtidos. Todo o trajeto percorrido, os resultados, dados, métodos, suposições e limitações devem ser apresentadas de forma clara, para que o processo seja compreendido em sua total complexidade.

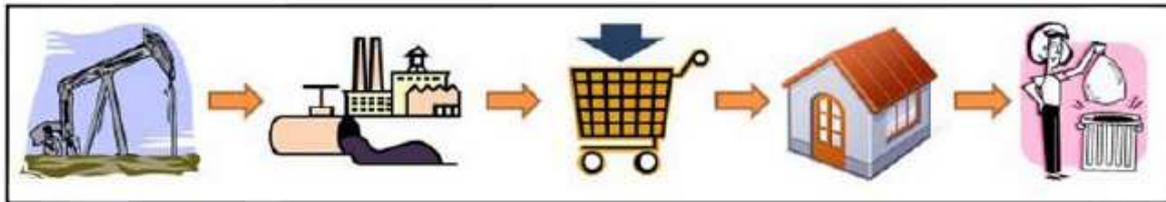
A análise crítica objetiva garantir que a ACV seguiu todos os métodos definidos pela NBR ISO 14040 – Gestão ambiental (Análise do ciclo de vida – Princípios e estrutura) (2001), sendo técnica e cientificamente válidos. Esta análise crítica deve ser definida na fase de escopo do estudo da ACV, podendo ser realizada por especialista interno ou externo.

O ciclo de vida de um produto tem início quando os recursos necessários para sua fabricação são retirados da natureza – o berço – e, posteriormente, quando retornará para a terra – o túmulo –, será marcado pelo final de sua vida útil. (PRADO e KASKANTZIS NETO, 2005).

Este estudo terá enfoque no processo do “berço ao portão”, que corresponde ao início da vida do material até a sua utilização pelo consumidor, compreendendo a extração da matéria-prima, o seu beneficiamento, o transporte e a aquisição pelo consumidor.

Além do “berço ao portão”, o período de vida útil de um produto pode ser denominado de “berço ao túmulo” ou de “berço ao berço”. A definição de “berço ao túmulo” – *cradle-to-grave* – (Figura 7) compreende o processo de extração da matéria-prima, a

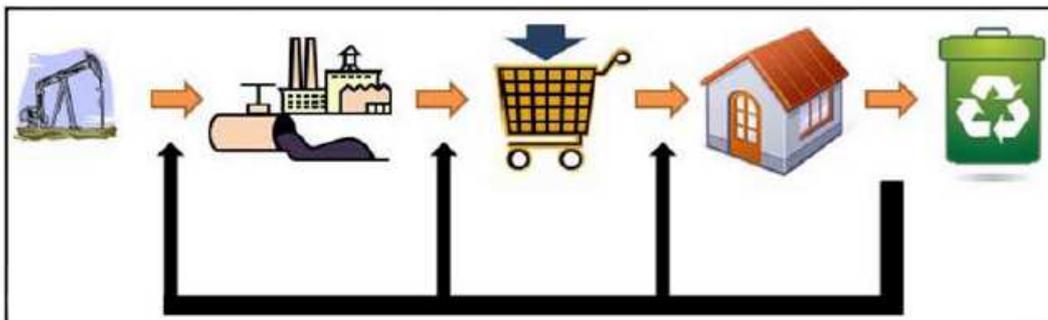
modelagem do produto, sua venda e o seu descarte, que normalmente ocorre através de incineração – principalmente em países europeus – ou o descarte em aterro sanitário. (BRAUNGART e MCDONOUGH, 2013).



**Figura 7 - Etapas do processo "berço ao túmulo"**

Fonte: Nogueira (2012) apud Marques (2014)

O processo “berço ao berço” – *cradle-to-cradle* é apresentado na Figura 8.



**Figura 8 - Etapas do processo "berço ao berço"**

Fonte: Nogueira (2012) apud Marques (2014)

O processo “berço ao berço” corresponde às operações de extração da matéria-prima, o preparo do produto, sua venda e a sua reinserção no ciclo produtivo, através da sua reciclagem, para ser utilizado como matéria-prima no início de um novo ciclo produtivo.

### 3.1 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DO CICLO DE VIDA

Prado e Kaskantzis Neto (2005) definem avaliação de impacto como o processo de entendimento e avaliação das modificações ocasionadas ao meio ambiente, mediante o consumo de recursos naturais e energia, assim como, das emissões ocasionadas durante todo o ciclo de vida do produto.

Existem na bibliografia diferentes métodos de avaliação de impacto do ciclo de vida. Na Tabela 6 apresentam-se os métodos de avaliação de impacto do ciclo de vida estudados por Mendes (2013): CML 2002, Eco-Indicator 99, Ecological Scarcity, EDIP

1997/2003, EPS 2000, Impact 2002+, Jepix, Lime, Lucas, MEEuP, ReCiPe 2000, Traci, USEtox e IMPACT World+.

**Tabela 6 - Métodos de avaliação de impacto do ciclo de vida estudados por Mendes (2013)**

<b>Método</b>	<b>Origem</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>CML 2002</b>	Holanda	Global	Ponderação
<b>Eco-Indicator 99</b>	-	Global	Dados 1993
<b>EcologicalScarcity</b>	Suíça	-	-
<b>EDIP 1997/2003</b>	Dinamarca	Global	Objetivos políticos
<b>EPS 2000</b>	Suécia	Global	Indicadores insuficientes
<b>Impact 2002+</b>	Suíça	Europa	Válido para Europa
<b>Jepix</b>	Japão	-	Dados insuficientes
<b>Lime</b>	Japão	-	Em japonês
<b>Lucas</b>	Canadá	Global	-
<b>MEEuP</b>	Europa	-	Normalização e ponderação
<b>ReCiPe 2000</b>	Global	Global	-
<b>Traci</b>	Estados Unidos	Global	Dados insuficientes
<b>USEtox</b>	-	Global	Categorias de impacto
<b>IMPACT World+</b>	Canadá, EUA e Europa	Global	-

Fonte: Baseado em Mendes (2013)

Dentre estes métodos, avaliaram-se os mais adequados para utilização na análise comparativa do agregado natural e do agregado reciclado, sendo analisada a sua aplicabilidade, a atualização dos dados, as vantagens e as desvantagens observadas em cada método. Após esta avaliação foram selecionados os métodos que melhor se enquadram no objetivo desta pesquisa. A fim de identificar os aspectos e avaliar os impactos ocasionados pelo processo produtivo de ambos os materiais, selecionou-se os métodos com aplicabilidade no Brasil, que dispõem de uma base de dados global, possuindo atualização frequente. Foram identificadas vantagens e desvantagens que cada método apresenta, como, as categorias de impacto utilizadas, os indicadores apresentados, os fatores de normalização, ponderação e caracterização.

Para o estudo em questão, o método que possui um banco de dados com maior consistência e possibilidades avaliativas para realização de uma análise entre o processo de extração da areia natural e o processo de beneficiamento do agregado reciclado, seria o Impact World +, salientando que este método se enquadra nas especificações para análise no território brasileiro.



## 4 MÉTODO DE PESQUISA

Para atender ao objetivo geral e aos objetivos específicos deste trabalho, a pesquisa foi realizada em três etapas, conforme mostrado no delineamento apresentado na Figura 9.

Etapas	Questões de pesquisa	Estratégia de pesquisa	Evidência/Ferramenta
<b>01.</b> Identificar as áreas de jazidas de extração de areia e usinas de reciclagem de RCD.	Onde estão localizadas as jazidas de areia no Brasil e no Rio Grande do Sul? Qual a área ocupada e impactada pela extração? Onde estão localizadas as usinas de reciclagem de RCD no Brasil? Qual a capacidade de processamento do RCD nas usinas brasileiras?	Pesquisa digital e contato telefônico.	Revisão bibliográfica, sites do Governo e de Organizações; Arcgis.
<b>02.</b> Análise da significância de aspectos e impactos ambientais decorrentes de extração de agregado natural e produção de agregado reciclado de RCD.	Quais os aspectos e impactos ambientais gerados nestes processos? Qual a significância destes aspectos e impactos?	Análise qualitativa e estudo de casos.	Revisão bibliográfica e observação <i>in loco</i> .
<b>03.</b> Avaliação quantitativa de impactos ambientais: ruído, material particulado, determinação da taxa de sulfatação e emissão de CO <sub>2</sub> .	Quais os níveis de ruídos produzidos durante os processos? Qual a quantidade de material particulado gerado? Os processos analisados geram compostos ácidos de enxofre? Qual o índice de CO <sub>2</sub> emitido pelo transporte?	Análise quantitativa e estudo de casos.	Medições <i>in loco</i> , cálculo estequiométrico e análises em laboratório.

Figura 9 - Delineamento da pesquisa

### 4.1 ETAPA 01: LOCALIZAÇÃO DE JAZIDAS DE AREIA E USINAS DE RECICLAGEM DE RCD

A primeira etapa do trabalho tem caráter de contextualização e buscou realizar um levantamento de locais de extração de areia e usinas de reciclagem de RCD. Primeiramente no território brasileiro, e em detalhe no Estado do Rio Grande do Sul, local onde o trabalho foi realizado.

#### 4.1.1 Jazidas de extração de areia

Os dados referentes às jazidas de extração de areia, no Estado do Rio Grande do Sul, foram coletados por meio de pesquisas eletrônicas, durante os dias 04 e 05 de agosto de 2015, no *site* [www.jazidas.com](http://www.jazidas.com) e na página eletrônica do DNPM, que apresentam dados de processos encaminhados junto ao Sigmim e ao DNPM. Por meio dos dados apresentados pelos *sites*, foram identificados os responsáveis pela extração de areia, a localização das jazidas, o uso ao qual se emprega a substância, data de início das atividades de extração e área (ha) licenciada pelo DNPM.

Posteriormente, as jazidas foram localizadas em mapas, com a utilização do programa Arcgis e a plataforma online do Google Earth, apresentando assim as localizações geográficas das jazidas licenciadas, possibilitando observar as áreas de maiores impactos.

Para a identificação das jazidas nos demais Estados Brasileiros, as pesquisas foram realizadas igualmente ao levantamento referente ao Estado do Rio Grande do Sul, durante o período de outubro de 2015 a fevereiro de 2016, porém estas não foram localizadas em mapas, apenas quantificadas, para realização de análise comparativa.

##### 4.1.1.1 Estudo de caso – Jazida de extração de areia

A jazida analisada neste estudo de caso está localizada na Mesorregião Centro Oriental Rio-grandense (Figura 10) sendo classificada como um empreendimento de pequeno porte, de extração mineral de areia e cascalho cadastrado e licenciado junto à FEPAM, como ramo de atividade número 530,12 (A classificação, conforme a FEPAM, encontra-se no Anexo 01). Tem por objetivo promover a operação relativa à atividade de lavra de areia e/ou cascalho, realizada a céu aberto, para extração de bem mineral sem beneficiamento, em recurso hídrico, com a realização de recuperação de área degradada. Esta atividade extrativa só pode ser realizada na área poligonal pré-definida pelo órgão ambiental, que neste caso abrange uma área de 12,97 ha.



**Figura 10 – Fotografia aérea da jazida visitada**

Fonte: Google Earth (2016)

A licença de operação (LO), deste empreendimento, determina que a extração deva ser realizada exclusivamente com a draga estática cadastrada junto ao DNPM, mantendo afastamento de 20,00 m em relação às margens do leito menor do rio, com profundidade máxima na cota 6,00 m em relação à cota do nível do mar (0,00 m normal) ou obedecendo à relação 1:4, ou seja, 1,00 m (profundidade) de extração na camada de areia para cada 4,00 m (deslocamento na horizontal), independente da posição topográfica da jazida em relação à altura da lâmina d'água.

O registro de extração é uma declaração emitida pelo DNPM, que possibilita a extração de recursos minerais para utilização imediata na construção civil, fornecida apenas aos órgãos da administração direta ou autárquica da União, do Distrito Federal, dos Estados e dos Municípios, sendo proibida a venda do recurso mineral, a extração por terceiros ou a sua transferência para empresas privadas. (FEPAM, 2015). Esta declaração possibilita a extração em uma área máxima de 5,00 ha, com prazo determinado pelo DNPM, podendo chegar até 5 anos, dependendo da obra a ser realizada e da área solicitada no requerimento. (FEPAM, 2015). O registro pode ser solicitado para áreas já oneradas, que possuam autorização para extração pelo DNPM, contanto que o responsável pela área autorize a extração pelo órgão público. (FEPAM, 2015).

O licenciamento ambiental é um processo conferido pelo órgão ambiental competente de cada Estado, que analisa a proposta entregue por determinado empreendimento, levando em consideração as legislações vigentes e sua correlação com o meio ambiente, visando à utilização dos bens minerais sem comprometer a sua disponibilidade para as gerações futuras. (VELASQUES, 2006). A área máxima para extração

fica limitada a 50,00 ha, podendo ser utilizada apenas pelo proprietário do solo ou a quem obtiver autorização para este fim. (FEPAM, 2015).

Após a aprovação do relatório final de pesquisa, que apresenta a identificação e caracterização das reservas minerais, parte-se para o pedido de autorização do Ministro de Minas e Energia, a fim de extrair, beneficiar e comercializar o recurso mineral identificado na etapa anterior, no prazo máximo de um ano. (DNPM, 2015). A autorização para pesquisa antecede e é essencial para se obter a autorização de concessão da portaria de lavra, sendo que o DNPM exige o licenciamento ambiental antes de expedir a portaria. (GUIO, 2012). A concessão de lavra pode ser solicitada para qualquer bem mineral, exceto os protegidos por monopólio (petróleo, gás natural e substâncias minerais radioativas). (DNPM-PE, 2015). Substâncias para utilização imediata na construção civil podem ser extraídas em área máxima de 50,00 ha. (DNPM-PE, 2015).

Neste estudo foram quantificados apenas os empreendimentos que enquadram-se em uma destas fases – registro de extração, licenciamento ambiental ou concessão de lavra – por serem estas as classificações aptas legalmente para realizarem a extração e a comercialização do material.

A FEPAM determina que deva ser realizado semestralmente o levantamento batimétrico com curvas de nível a cada 0,50 m, georreferenciado, com o objetivo de o responsável técnico orientar a continuidade da lavra. Caso seja determinado que as profundidades originais do leito devam ser recuperadas, a profundidade inicial deverá ser reduzida. Por se tratar de um empreendimento com alto potencial poluidor (A classificação, conforme a FEPAM, encontra-se no Anexo 01), exige-se a apresentação anual de relatórios técnicos ilustrados, a fim de garantir que não haja danos irreversíveis ao meio ambiente.

A fim de elucidar as etapas, pelas quais os materiais passam durante os processos, foram criados fluxos de percursos de cada um dos empreendimentos analisados. A Figura 11 apresenta o processo de extração e beneficiamento da areia, que consiste na extração do agregado natural, o seu direcionamento até a peneira, onde ficam retidos os resíduos inertes, seguindo para secagem e estocagem. Após a secagem do material, este segue para consumo.



**Figura 11 - Processos de extração e beneficiamento do agregado natural (areia)**

Na Figura 12 está detalhado o processo de extração de areia, que inicia com o deslocamento da embarcação até a área de dragagem. Ao chegar ao local definido, o operador desliga o motor da embarcação e aciona o motor de sucção da areia, a tubulação responsável pela sucção é deslocada na vertical até atingir o fundo do rio (01). A areia é direcionada até duas peneiras que se encontram na embarcação, para retenção de resíduos orgânicos (02). Com a conclusão do processo de sucção, a embarcação é direcionada até a boia, localizada próximo a margem do rio, para descarga do material (03 e 04). A tubulação de descarga é conectada a tubulação fixa, que direciona o material extraído até a área de peneiramento (05). Novamente o material passa por uma peneira, que retém o restante dos rejeitos orgânicos, extraído juntamente com a areia (06). Após realizada toda a descarga do material, o operador retira a areia da área de peneiramento, com a pá-carregadeira, direcionando-a para a área de secagem, onde é separada conforme a sua granulometria. A área de secagem é também o local de estocagem do material (07). Com o término deste processo, a matéria-prima extraída segue para consumo.

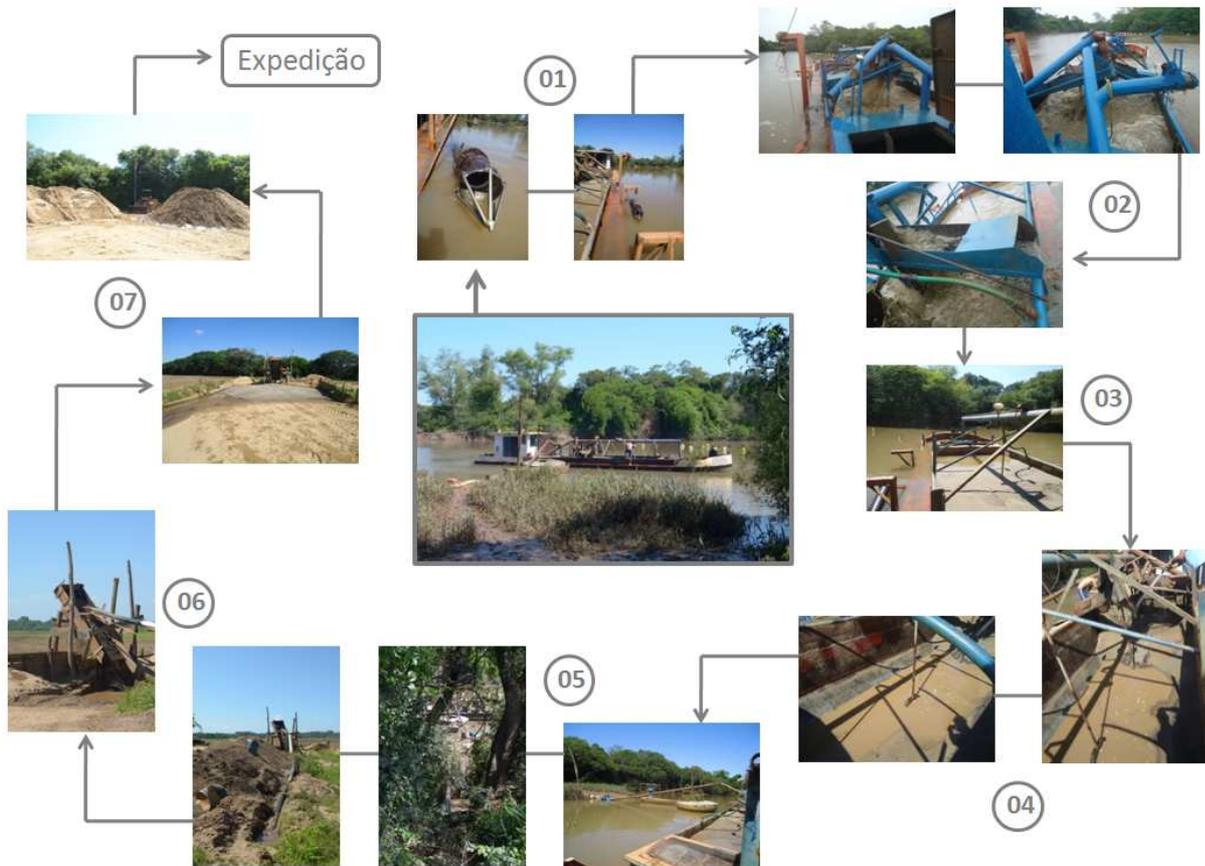


Figura 12 - Detalhamento do processo de extração de areia

#### 4.1.2 Usinas de reciclagem de RCD

A identificação das usinas de reciclagem de RCD foi realizada no período de setembro de 2014 a novembro de 2015, através do site Cretatec, do portal Click RBS, da Revista T&C Amazônia, de trabalhos acadêmicos (COSTA e OLIVEIRA, 2011; FARIAS, 2014; LIMA, 2006; MAYORGA et al, 2009; PIMENTEL et al, 2011; SANTOS, 2008; SANTOS, 2011; SANTOS, 2014; SILVA e SANTOS, 2014; SOUZA, 2012; ULSEN, 2006; VEIGA, 2007), de visitas técnicas na Região Metropolitana de Porto Alegre e de contato telefônico com Prefeituras Municipais, órgãos responsáveis pela limpeza urbana, empresas privadas e Secretarias do Meio Ambiente. Como usinas apresentadas pela bibliografia podem não estar mais em operação, para a maioria delas foi realizado contato telefônico para confirmar que estejam operando.

Para a realização do mapeamento das usinas de reciclagem de RCD, além dos dados referentes à localização obtidos conforme descritos no parágrafo anterior, também foram levantados dados por meio do “Mapa Abrecon”, lançado no Seminário Nacional da

Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição, no dia 17 de setembro de 2015, em São Paulo, sendo este uma ferramenta de busca, criado pela Abrecon.

#### 4.1.2.1 Estudo de caso – Usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição

A usina de reciclagem de RCD analisada neste estudo de caso está situada na Mesorregião Metropolitana de Porto Alegre. Esta usina atende 26 municípios participantes de um consórcio público de saneamento básico (Figura 13).



**Figura 13 – Fotografia aérea da usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição visitada**

Fonte: Google Earth (2016)

Esta usina foi implantada para atender os seguintes municípios, participantes do consórcio: Araricá, Campo Bom, Cachoeirinha, Canela, Canoas, Caraá, Dois Irmãos, Estância Velha, Esteio, Glorinha, Gramado, Igrejinha, Nova Hartz, Nova Santa Rita, Novo Hamburgo, Parobé, Portão, Riozinho, Rolante, Santo Antônio da Patrulha, São Francisco de Paula, São Leopoldo, Sapiranga, Sapucaia do Sul, Taquara e Três Coroas.

A área de implantação da usina atende às exigências ambientais e operacionais, que foram fatores essenciais para obtenção do seu licenciamento junto a FEPAM. Cedida pela Prefeitura Municipal, a área é constituída por 3 ha (31.099 m<sup>2</sup>), em um bairro predominantemente industrial. Equipada com dois britadores, um móvel e um fixo. O britador móvel tem por principal função cominuir as peças maiores, a fim de não danificar o britador fixo, que compete a cominuição das peças menores. Entretanto, o britador móvel é utilizado com frequência por órgãos públicos e pela iniciativa privada, por meio da locação ou concessão deste equipamento. Cabe ressaltar, que durante as coletas de dados desta pesquisa, o britador móvel estava locado para uma obra na Região Sudeste do país, o que resultou em dados gerados apenas referentes ao britador fixo.

Os municípios consorciados descartam o material sem a cobrança de taxas. Já a iniciativa privada possui a opção de depositar o material no local, por meio da cobrança de taxa pré-definida. Para obter o material britado, tanto os órgãos públicos, como a iniciativa privada pagam para o empreendimento, porém com valor diferenciado, sendo o município associado ao consórcio, os órgãos públicos obtêm o material com valor reduzido.

Na Figura 14 encontra-se o percurso pelo qual o resíduo de construção e demolição passa para se tornar um agregado reciclado. No recebimento do RCD, o material é verificado, pois o empreendimento é licenciado junto à FEPAM-RS para recebimento apenas de resíduos de construção e demolição. A triagem é realizada manualmente e com a utilização de uma pá-carregadeira. Os resíduos classe B seguem para uma segunda triagem, onde são separados por papel, ferro, plástico e madeira, para encaminhamento posterior à Central de Recicladores, que não possui vínculo com a usina de reciclagem de RCD. O material triado é encaminhado para o britador fixo, para passar pelo processo de britagem, que consiste na cominuição do material. Após realizada a britagem do RCD, a agregado reciclado segue para comercialização.

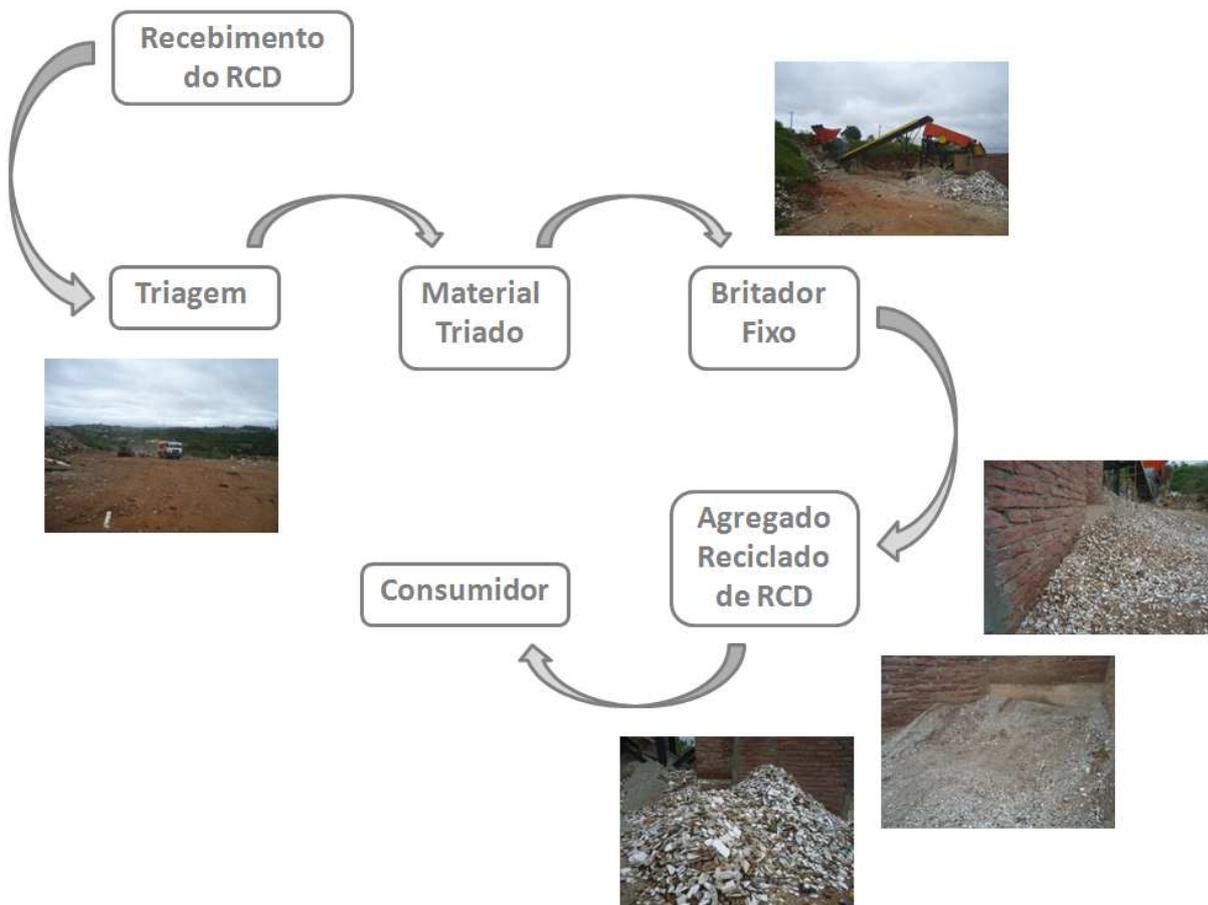


Figura 14 - Processo de beneficiamento do agregado reciclado de resíduo de construção e demolição

A Figura 15 apresenta o detalhamento das etapas de beneficiamento do agregado reciclado de RCD. O processo inicia-se com a colocação do resíduo no bocal do britador (01), que direciona o resíduo para a câmara de britagem, composta por seis martelos que realizam a cominuição do resíduo (02). O material britado segue pelo transportador de correias (03), até as peneiras vibratórias (04), que ao término do peneiramento geram três granulometrias distintas de agregado reciclado de RCD (04). Com a conclusão do processo, o material gerado segue para expedição.



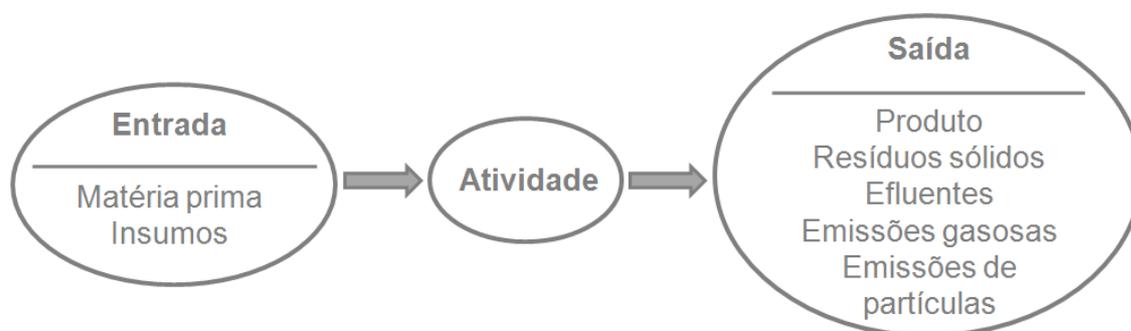
**Figura 15- Detalhamento do processo de beneficiamento do agregado reciclado de resíduo de construção e demolição**

#### **4.2 ETAPA 02: ANÁLISE DA SIGNIFICÂNCIA DE IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DA EXTRAÇÃO DE AREIA E DO BENEFICIAMENTO DO AGREGADO RECICLADO DE RCD**

A partir da revisão bibliográfica e observações *in loco* na jazida de areia e na usina de reciclagem de RCD foram identificados os principais aspectos e impactos ocasionados no processo de extração de areia e no processo de beneficiamento do agregado reciclado de RCD.

Durante as visitas foram observados os principais aspectos e impactos ocasionados no decorrer dos processos de produção dos materiais.

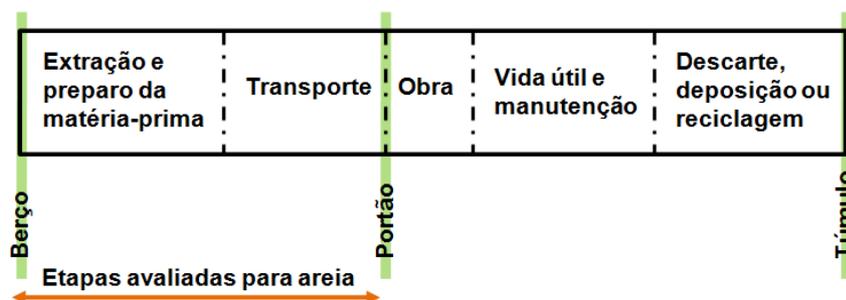
Para identificar e analisar os recursos naturais consumidos realizou-se a identificação de entradas e saídas, por meio do diagrama de blocos (Figura 16), recurso disponibilizado pelo programa P+L (Produção mais Limpa). Nesta etapa foram realizadas entrevistas, registro fotográfico e observação direta na jazida de extração de areia e na usina de reciclagem de RCD, mesmo método utilizado por Rigon (2013) em sua pesquisa. Nesta etapa, realizou-se também, a identificação dos recursos naturais renováveis e não-renováveis utilizados nos processos produtivos.



**Figura 16 - Diagrama de blocos a ser utilizado**

Fonte: Adaptado de Rigon (2013)

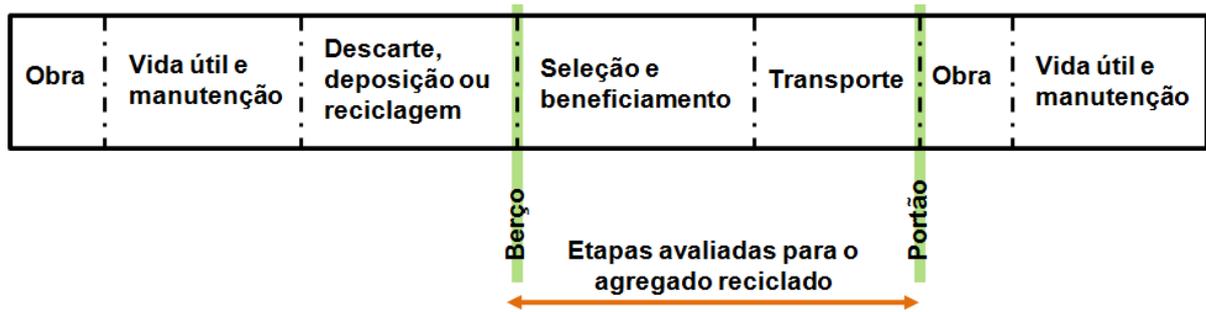
Foram identificados os aspectos e avaliados os impactos ambientais ocasionados desde o momento da extração da matéria-prima até a sua chegada na obra, o que caracteriza este método como “berço ao portão”. (BRAUNGART e MCDONOUGH, 2013; SILVA et al., 2014). Na Figura 17 estão apresentadas as etapas avaliadas no processo de extração da areia, contabilizando as fases do berço ao portão da obra.



**Figura 17 - Etapas avaliadas para areia**

Fonte: Adaptado de Tavares (2006)

Na Figura 18 são apresentadas as etapas avaliadas no processo produtivo do agregado reciclado de RCD, utilizando também o método do berço ao portão da obra.



**Figura 18 - Etapas avaliadas para o agregado reciclado de RCD**

Fonte: Adaptado de Tavares (2006)

Para realizar a avaliação de aspectos e impactos ambientais foi utilizado o Sistema de Gestão Ambiental da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. (GOMES, 2013). Uma equipe multidisciplinar de seis pesquisadores avaliou os aspectos e impactos ambientais, indicando pontuações para os impactos observados nas etapas anteriores. Esta avaliação classifica os aspectos e impactos por meio da abrangência, severidade e frequência (Tabela 7), a fim de identificar a significância que determinados aspectos e impactos ocasionam no meio ambiente.

**Tabela 7 - Exames de aspectos e impactos ambientais**

Identificação		Exame de aspectos e impactos			Aval. Sig.
Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Abrangência	Severidade	Frequência	Significância

A classificação de abrangência corresponde ao local de influência do dano, podendo ser classificado como local ou regional, conforme a distância que o impacto atinge (Tabela 8).

**Tabela 8 - Classificação de abrangência**

<b>Classificação</b>	<b>Exemplo</b>	<b>Pontuação</b>
Causa impacto localizado ou no entorno do local de ocorrência	Geração de odores – combustão do óleo diesel para funcionamento do motor de sucção, responsável pela extração da areia	1,0
Causa impacto que ultrapassa o local de ocorrência	Turbidez da água durante o processo de extração	2,0
Causa impacto regional, podendo atingir até 100 km do local de ocorrência	Contaminação do ar, por meio da geração de material particulado	3,0
Causa impacto regional ultrapassando os 100 km do local de ocorrência	Alteração na biodiversidade	4,0

Fonte: Adaptado de Gomes (2013) e Rigon (2015)

A severidade indica a gravidade dos aspectos e impactos ambientais e a possibilidade de serem remediados, sendo classificada em: não causa danos, danos leves ou danos severos (Tabela 9).

**Tabela 9 - Classificação de severidade**

<b>Classificação</b>	<b>Exemplo</b>	<b>Pontuação</b>
Não causa danos	Turbidez da água durante o processo de extração	1,0
Causa danos leves, acima dos estabelecidos pela legislação, porém cessa o impacto ao ser feita a adequação	Perturbação das comunidades vizinhas, ruídos causados pelos veículos e maquinários	2,0
Causa danos severos, acima dos estabelecidos pela legislação, causando danos irreparáveis ao meio ambiente	Alteração na forma natural do relevo, resultando em modificações nas calhas dos cursos d'água	4,0

Fonte: Adaptado de Gomes (2013) e Rigon (2015)

A frequência classifica os danos conforme a periodicidade que estes ocorrem, podendo ser observados diariamente, semanalmente, mensalmente ou semestralmente (Tabela 10).

**Tabela 10 - Classificação de frequência**

<b>Classificação</b>	<b>Exemplo</b>	<b>Pontuação</b>
Periodicidade de ocorrência semestral ou maior	Pintura da lataria da embarcação	1,0
Periodicidade de ocorrência mensal	Erosão no solo	2,0
Periodicidade de ocorrência semanal	Redução de infiltração de água no solo	3,0
Periodicidade de ocorrência diária	Consumo de recurso natural - areia	4,0

Fonte: Adaptado de Gomes (2013) e Rigon (2015)

Após realizadas as avaliações, faz-se o somatório para classificar os aspectos e impactos como desprezíveis, moderados ou críticos (Tabela 11).

**Tabela 11 - Classificação de aspectos e impactos ambientais**

Classificação dos aspectos e impactos	Pontuação obtida
Desprezível	3 a 6
Moderado	7 a 9
Crítico	10 a 18

Fonte: Adaptado de Gomes (2013)

Os aspectos e impactos ambientais com pontuação entre 10 e 18 são classificados como críticos, sendo considerados como “significativos”, ou seja, acarretam danos severos ao meio ambiente, muitas vezes sendo irreversíveis.

### **4.3 ETAPA 03: AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE IMPACTOS AMBIENTAIS**

Nesta etapa da pesquisa foram realizadas medições e coletas de dados *in loco* na jazida de areia e na usina de reciclagem de RCD, a fim de mensurar os ruídos ocasionados durante os processos, o material particulado emitido e a qualidade do ar, através da determinação da taxa de sulfatação. Por meio do cálculo estequiométrico da combustão completa do diesel foram obtidas as emissões de CO<sub>2</sub>, ocasionadas pelos veículos utilizados em ambos os processos.

#### **4.3.1 Qualidade do ar: material particulado**

Para avaliar a qualidade do ar foi quantificado o volume de material particulado (MP) dispersado nos ambientes de maior circulação de seres humanos, assim como, foi determinada a taxa de sulfatação, responsável pela determinação de compostos ácidos de enxofre presentes na atmosfera na forma de SO<sub>3</sub>, emitidos pela queima do óleo diesel, combustível utilizado nos veículos operacionais.

Para obter o índice de material particulado na jazida, foi determinado um único ponto de coleta (JMP01 – jazida material particulado 01) que abrangeu as áreas de peneiramento, secagem e estocagem de areia (Figura 19), estes podem ser observados nas etapas 06, 07 e expedição do processo de extração de areia, que consta detalhado na Figura 12. Na usina, foram determinados dois pontos de coletas (Figura 20), um próximo a entrada de veículos (UMP01 – usina material particulado 01) e o outro de forma a coletar o MP dos patamares inferiores (UMP02). O ponto UMP01 foi instalado na etapa de recebimento do RCD, apresentado na Figura 14, enquanto o UMP02 foi instalado na área de detalhamento da etapa 01, conforme apresentado na Figura 15. Cabe salientar que não foram determinados outros pontos de coleta na usina, devido há possibilidade de haver furto dos equipamentos,

por não conter locais onde fosse possível deixar as bombas de vácuo em segurança e também devido ao fato de haver limitações na quantidade de equipamentos, pois para realização desta pesquisa foram utilizadas apenas duas bombas de vácuo.



**Figura 19 - Localização do ponto de coleta de material particulado (MP) na jazida**

Fonte: Google Earth (2016)



**Figura 20 - Localização do ponto de coleta de material particulado (MP) na usina**

Fonte: Google Earth (2016)

Na Tabela 12 são apresentadas as localizações, latitude e longitude, dos pontos de coleta do material particulado, em cada um dos empreendimentos, e a descrição da área de abrangência dos equipamentos de coleta.

**Tabela 12 - Localização dos pontos de coleta do material particulado na jazida de extração de areia e na usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição**

Empreendimento	Pontos de coleta	Coordenadas		Descrição
		Latitude	Longitude	
Jazida de extração de areia	JMP01	29°52'13.85"S	52°29'9.07"O	Peneiramento, secagem e estocagem
Usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição	UMP01	29°44'3.63"S	51°11'15.84"O	Entrada principal
	UMP02	29°44'3.21"S	51°11'15.46"O	Escritório/patamares inferiores do terreno

As massas foram quantificadas utilizando um amostrador do tipo Gent (INPE, 2012), sendo este composto por dois filtros sequenciais em uma unidade suporte – Holder (Figura 21) – ligada diretamente a uma bomba de vácuo. O filtro superior retém as partículas de MP<sub>2,5-10</sub> (fração grossa), possui poro de 10 µm, e o posterior, as de MP<sub>2,5</sub> (fração fina) com poro de 2 µm (Figura 22). (ALVES, 2014). A medição foi realizada em triplicata, sendo coletadas três amostras de MP<sub>2,5-10</sub> e três amostras de MP<sub>2,5</sub> durante três períodos de 24 horas, entre os dias 08 de dezembro de 2015 e 21 de janeiro de 2016.

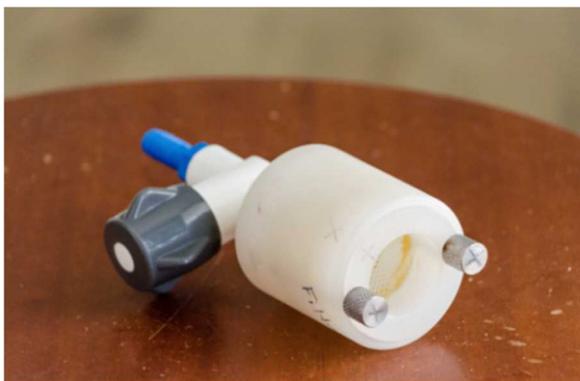


Figura 21 - Holder utilizado nas coletas

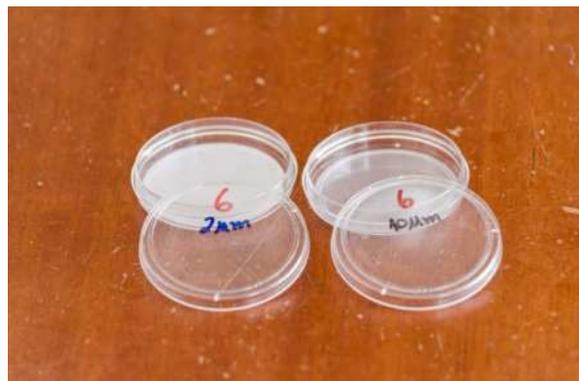


Figura 22 - Filtros de 2 µm e 10 µm

As pesagens iniciais e finais foram realizadas pela mesma analista, em balança analítica, por gravimetria. Todas as medições e quantificações de massas foram realizadas seguindo os parâmetros estabelecidos pelo Protocolo para Coleta de Material Particulado Atmosférico. (INPE, 2012). Antes e após cada coleta foi quantificada a vazão das bombas de vácuo, utilizando um fluxômetro (Figura 23) da marca Omel, com capacidade máxima de 25,0 NI/min, disponibilizado pela Universidade Feevale.



Figura 23–Fluxômetro

Para determinar a concentração de MP ( $C_{MP}$ ) utilizou-se a fórmula apresentada por Alves, Leites e Osório (2014). Por meio da divisão de massas do MP fino e grosso ( $\mu\text{g}$ ) pelo ar amostrado ( $\text{m}^3$ ) durante o período de coleta (h), resultando no valor de MP em  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , conforme apresentado na Equação 1.

$$C_{MP} = \frac{mf - mi}{\left(\frac{Fi + Ff}{2}\right) \times 0,06 \times T}$$

Equação 1 - Concentração de MP ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )

Fonte: Alves, Leites e Osório (2014)

Onde:

$C_{MP}$  = Concentração de Material Particulado ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )

mf = Massa final do filtro (g)

mi = Massa inicial do filtro (g)

Fi = Fluxo inicial de ar ( $\text{L m}^{-1}$ )

Ff = Fluxo final de ar ( $\text{L m}^{-1}$ )

T = Tempo de amostragem (h)

Para a análise destes resultados foi utilizado como referência o Guia da Qualidade do Ar da Organização Mundial da Saúde (OMS) (2005), que apresenta as concentrações aceitáveis de  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  de material particulado durante o período de 24 horas (Tabela 13).

**Tabela 13 - Guia de qualidade do ar e objetivos intermédios para o material particulado para concentrações de 24 horas**

	MP <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	MP <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Base para o nível selecionado
<b>Objetivo intermédio – 1 (OI-1)</b>	150	75	Baseado em coeficientes de riscos publicados em estudos multicêntricos e meta-análises (aumento de cerca de 5% da mortalidade de curto prazo em relação aos valores das GQA)
<b>Objetivo intermédio – 2 (OI-2)</b>	100	50	Baseado em coeficientes de risco publicados em estudos multicêntricos e meta-análises (aumento de cerca de 2,5% da mortalidade de curto prazo em relação aos valores das GQA)
<b>Objetivo intermédio – 3 (OI-3)</b>	75	37,5	Baseado em coeficientes de risco publicados em estudos multicêntricos e meta-análises (aumento de cerca de 1,2% da mortalidade de curto prazo em relação aos valores das GQA)
<b>Guia de qualidade do ar (GQA)<sup>2</sup></b>	50	25	Baseado na relação entre os níveis de MP de 24 horas e anuais

Fonte: OMS (2005)

A OMS (2005) especifica que a média anual de MP<sub>2,5</sub> é  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e para 24 horas a média é de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , já para o MP<sub>10</sub> a média anual é de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e para 24 horas é de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sendo estes os valores aceitáveis para a saúde do ser humano.

Porém cabe salientar que o filtro do MP<sub>10</sub> não captura apenas as partículas de 10  $\mu\text{m}$ , mas as partículas na faixa de 2,5 a 10  $\mu\text{m}$ . Devido a esta situação utiliza-se como parâmetro de referência dos resultados a média de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que avalia a concentração de MP<sub>2,5</sub>. Acima de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , as concentrações encontradas apresentam o aumento do risco de mortalidade de curto prazo, conforme a faixa em que se encontram – intermédio 1, 2 ou 3 (Tabela 13).

<sup>2</sup> Os dados originais encontram-se no *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*, apresentados na língua espanhola, onde a sigla correta é GCA – *Guía de calidad del aire*, na tradução para a língua portuguesa a sigla se tornou GQA – Guia de qualidade do ar.

Apesar de serem escassos os dados dos danos epidemiológicos ocasionados pelo efeito direto do gerenciamento de resíduos, algumas comunidades tendem a apresentar mais rapidamente estes danos, como a redução da qualidade de vida e o aumento dos problemas de saúde. (FERREIRA e ANJOS, 2001). Isto ocorre devido à proximidade das suas moradias, destes locais geradores, ou, principalmente, aos operadores dos maquinários, que diariamente são expostos as altas concentrações de poluição. A qualidade do ar influencia diretamente os problemas respiratórios, não apenas pela dispersão do material particulado, mas também pelo aumento significativo da poluição atmosférica. Os poluentes atmosféricos acarretam em danos aos pulmões e as vias respiratórias, aumentando as chances dos seres humanos desenvolverem infecções no sistema respiratório. (GHENO, 2012).

#### 4.3.2 Qualidade do ar: taxa de sulfatação

Outra forma de avaliar a poluição atmosférica é por meio do modelo desenvolvido por AIHL, em 1971, (EDINGER e OSORIO, 2012) para determinação da taxa de sulfatação ( $\text{SO}_3$ ), utilizando amostradores passivos para dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ). Estes amostradores são constituídos por placas de Petri, de 50 mm de diâmetro, que contém um microfiltro de fibra de vidro GF-3, de 47 mm de diâmetro, da marca Macherey-Nagel, previamente impregnado com uma solução de carbonato de potássio 30% ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ), e mantido em estufa a  $60^\circ\text{C}$  por 24 horas, para assegurar a fixação do  $\text{SO}_2$ . Após este procedimento os microfiltros foram locados para coleta, em área aberta, protegidos de intempéries, no período de 29 dias, de 06 de janeiro de 2016 a 03 de fevereiro de 2016 na jazida de extração de areia e de 15 de janeiro de 2016 a 12 de fevereiro de 2016 na usina de reciclagem de RCD (Figura 24).



Figura 24 - Amostradores passivos de  $\text{SO}_2$  utilizados nesta pesquisa

Com o término do período de exposição, os microfiltros foram levados ao laboratório, para passar pela preparação e seguir para análise. Para a preparação, cada microfiltro foi colocado em um béquer de 100 ml, onde foi pipetado 10 ml de  $\text{HCl}$  0,434N e

aquecido em chapa à 60°C durante 15 minutos, para garantir a completa remoção do CO<sub>2</sub>. Concluída esta etapa, os microfiltros passaram por uma filtragem em papel filtro Whatmann 42, em balões volumétricos de 25 ml e elevados até a marca com água deionizada.

Para a determinação turbidimétrica, foi retirado 5,0 ml da solução contida no balão e descartada, ao restante da solução foi adicionado 1,0 ml de HCl 0,434N e 2,0 ml de solução de Bário. Elevou-se novamente até a marca com água deionizada, a solução foi agitada e após 30 minutos, a solução foi levada ao espectrofotômetro em 500 nm, marca Pro-tools, modelo UV-1600, para leitura contra a amostra de Branco previamente separada e protegida da luminosidade.

Para analisar os dados obtidos com as coletas, faz-se necessário a elaboração da curva de calibração, que consiste na adição de 5,0 ml de solução de carbonato de potássio neutralizado em sete balões volumétricos de 25,0 ml, onde acrescenta-se 0 – 1,0 – 3,0 – 6,0 – 9,0 ml de solução de trabalho de sulfato, adicionando em cada balão 1,0 ml de HCl 0,434N e 2,0 ml de solução de bário. Elevou-se até a marca com água deionizada, a solução foi agitada, esperou-se 30 minutos, e fez-se a leitura contra o Branco a 500 nm. Desta maneira, foi construída a curva de calibração relacionando mgSO<sub>4</sub> X Absorbância.

A fim de obter o resultado, aplica-se a Equação 2 em cada uma das médias obtidas por meio dos filtros locados em cada ponto. Sendo que em cada amostrador passivo foram instaladas duas placas, contendo um filtro em cada.

$$\text{Taxa de sulfatação} = \frac{X}{A \cdot \text{dias}}$$

**Equação 2 - Taxa de sulfatação**

Onde:

X = valor encontrado na curva de calibração (mgSO<sub>4</sub>)

A = área do filtro (dm<sup>2</sup>)

dias = dias de exposição

O resultado obtido com a taxa de sulfatação deve ser apresentado em mgSO<sub>3</sub>/dm<sup>2</sup>.dia, contendo três algarismos significativos. Para avaliar os resultados obtidos foi utilizado como referência o estudo realizado por Rodrigues (2009), onde a autora classificou o nível de poluição por enxofre na atmosfera (Tabela 14).

**Tabela 14 - Classes de risco para a variável taxa de sulfatação**

Classe	Pontos de corte ( $\text{mgSO}_3 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ )	Classe de risco
1	$X < 0,016$	Baixo
2	$0,016 \leq X \leq 0,047$	Médio
3	$X > 0,047$	Alto

Fonte: Rodrigues (2009)

Para a realização destas avaliações, na jazida foram determinados oito pontos para locação dos amostradores passivos, cada um contendo um conjunto com duas placas de Petri (Figura 25). Foram escolhidos três pontos junto à área de peneiramento, secagem e estocagem (JAP01 – jazida amostrador passivo 01, JAP02, JAP03), o ponto JAP01 pode ser observado na etapa de expedição do processo de detalhamento de extração de areia, apresentada na Figura 12, o JAP02 e o JAP03 pode-se observar nas etapas 06, 07 e expedição na Figura 12. Um ponto foi localizado na boia (JAP08), que encontra-se próximo a margem do rio, este ponto pode ser observado na etapa 05, do detalhamento do processo de extração de areia, na Figura 12. Três pontos foram localizados no barco (JAP05, JAP06, JAP07), o JAP05 encontra-se na etapa 03 do detalhamento do processo, o JAP06 na etapa 02 e o JAP07 na etapa 04 (Figura 12). E um ponto junto ao acesso da propriedade (JAP04), para comparação com os demais (Tabela 15).

Na usina foram dispostos igualmente oito amostradores passivos (Figura 26), um próximo ao acesso, na área de triagem manual, foi locado o amostrador passivo UAP01 (usina amostrador passivo 01). Na área de alimentação do britador foi locado o UAP02, correspondente a etapa 01 e 02 do detalhamento do processo de beneficiamento (Figura 15). Junto à estrutura do britador, no segundo patamar do terreno, foi locado o UAP03, na etapa 04 (Figura 15). Na área de depósito de madeira e local de alto fluxo de veículos, onde é feita a transição do primeiro para o segundo patamar, foi instalado o UAP04. Na área de triagem automatizada, no segundo patamar, foi locado o UAP05, que pode-se observar na etapa de triagem do processo de beneficiamento do agregado reciclado (Figura 14). Na curva de transição do segundo para o terceiro patamar foi instalado o UAP06. No terceiro patamar, onde é depositado o material no momento do recebimento, foi instalado o UAP07. Em um dos pilares laterais do escritório, no primeiro patamar, foi instalado o UAP08, para averiguar os índices, próximo à área administrativa e também por ser este um dos pontos mais elevados do terreno (Tabela 15).



**Figura 25 - Localização dos amostradores passivos de SO<sub>2</sub> na jazida de areia**

Fonte: Google Earth (2016)



**Figura 26 - Localização dos amostradores passivos de SO<sub>2</sub> na usina de resíduos de construção e demolição**

Fonte: Google Earth (2016)

Na Tabela 15 encontra-se o detalhamento dos pontos de locação dos amostradores passivos, a fim de coletar o material para análise e determinação da taxa de sulfatação.

**Tabela 15 - Localização dos pontos de coleta dos amostradores passivos na jazida de extração de areia e na usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição**

Empreendimento	Pontos de coleta	Coordenadas		Descrição
		Latitude	Longitude	
Jazida de extração de areia	JAP01	29°52'13.81"S	52°29'9.11"O	Escritório
	JAP02	29°52'13.98"S	52°29'8.09"O	Peneira
	JAP03	29°52'14.37"S	52°29'8.68"O	Pá-carregadeira
	JAP04	29°52'16.03"S	52°29'18.97"O	Acesso à propriedade
	JAP05	29°52'16.38"S	52°29'8.30"O	Centro da embarcação
	JAP06	29°52'16.41"S	52°29'7.63"O	Popa da embarcação
	JAP07	29°52'16.41"S	52°29'8.00"O	Proa da embarcação
	JAP08	29°52'15.93"S	52°29'7.95"O	Boia/acesso à embarcação
Usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição	UAP01	29°44'4.58"S	51°11'16.11"O	Triagem manual/próximo ao acesso principal
	UAP02	29°44'1.43"S	51°11'15.36"O	Área de abastecimento do britador
	UAP03	29°44'2.01"S	51°11'14.97"O	Centro do britador
	UAP04	29°44'3.78"S	51°11'14.77"O	Depósito de madeiras
	UAP05	29°44'3.45"S	51°11'13.60"O	Triagem automatizada
	UAP06	29°44'4.76"S	51°11'12.97"O	Transição 2°/3° patamar
	UAP07	29°44'3.55"S	51°11'12.75"O	Depósito de recebimento
	UAP08	29°44'3.23"S	51°11'15.46"O	Escritório

### 4.3.3 Níveis de ruído

Para averiguar os níveis de ruído produzidos durante os processos avaliados foi consultada a Resolução CONAMA n° 01 de 1990, que determina a utilização da NBR 10151 – Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento (2000), especificando o método para a medição de ruído e as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades.

Para a realização destas medições foi utilizado um decibelímetro – medidor de nível sonoro – digital, da marca Instrutherm, modelo DEC-460 (Figura 27).



**Figura 27 - Decibelímetro utilizado nas medições**

Na jazida, foram determinados três pontos de medições (Figura 28), um junto à peneira (JR01 – jazida ruído 01), localizado na etapa 06 do processo de extração de areia (Figura 12), um próximo a margem do rio (JR02), que compreende a etapa 05 do processo (Figura 12) e um no barco (JR03), que abrange as etapas 02, 03 e 04 no detalhamento do processo de extração (Figura 12). Em cada um dos pontos de medições foram realizadas cinco coletas de dados. Na usina de reciclagem foram determinados três pontos de medições – UR01 (usina ruído 01), localizado na etapa 01 e 02 no detalhamento do processo de beneficiamento (Figura 15), UR02 e UR03, nos locais de maiores circulação de seres humanos (Figura 29), que compreende a etapa de recebimento do RCD, conforme apresentado na Figura 14.



**Figura 28 - Localização dos pontos de medições de ruídos na jazida**

Fonte: Google Earth (2016)

**Figura 29 - Localização dos pontos de medições de ruídos na usina**

Fonte: Google Earth (2016)

Na Tabela 16 encontra-se o detalhamento da localização dos pontos de medições de ruídos, na jazida de extração de areia e na usina de reciclagem de RCD.

**Tabela 16 - Localização dos pontos de medições de nível pressão sonora (ruídos) na jazida de extração de areia e na usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição**

Empreendimento	Pontos de coleta	Coordenadas		Descrição
		Latitude	Longitude	
Jazida de extração de areia	JR01	29°52'13.95"S	52°29'8.30"O	Peneira
	JR02	29°52'15.35"S	52°29'8.28"O	Margem do rio
	JR03	29°52'16.44"S	52°29'7.88"O	Embarcação
Usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição	UR01	29°44'2.17"S	51°11'15.38"O	Próximo ao britador
	UR02	29°44'3.38"S	51°11'15.63"O	Escritório
	UR03	29°44'4.33"S	51°11'16.34"O	Acesso principal

Assim como na jazida, a usina também foi classificada como uma área predominantemente industrial, e conseqüentemente, para fins de análise foi utilizado o valor de 70 dB como nível de critério de avaliação (NCA), pois todos os procedimentos realizados com maquinário ocorrem durante o turno diurno. Para a avaliação dos resultados obtidos nas medições foram utilizados os índices apresentados na NBR 10151 (2000) em decibels ponderados em "A" [dB (A)] conforme apresentados na Tabela 17.

**Tabela 17 - Nível de critério de avaliação (NCA) para ambientes externos em dB (A)**

Tipos de área	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente industrial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

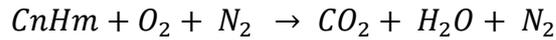
Fonte: NBR 10151 (2000)

#### 4.3.4 Emissões de CO<sub>2</sub>

Nesta etapa foram contabilizadas as emissões de CO<sub>2</sub> liberadas no meio ambiente durante os deslocamentos, utilizando como referência uma faixa de 100 km percorridos. Para obter a quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> foram utilizadas a reação estequiométrica de

combustão completa do diesel e os seus valores de densidade, resultando no valor de massa de CO<sub>2</sub> emitido para cada m<sup>3</sup> de combustível consumido (kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de combustível).

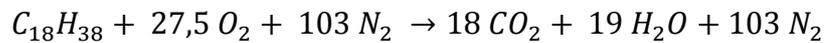
A Equação 3 representa o processo de combustão completa, que ocorre quando o combustível encontra a quantidade estequiométrica de ar necessária para realizar a sua queima.



**Equação 3 - Equação estequiométrica de combustão completa**

Fonte: Carvalho Jr e McQuay (2007) e FEPAM (2010)

O diesel é representado pela fórmula C<sub>18</sub>H<sub>38</sub>, utilizando a Equação 4 para o cálculo da reação estequiométrica.



**Equação 4 - Equação estequiométrica de combustão completa do diesel**

Fonte: FEPAM (2010)

A combustão consome oxigênio (O<sub>2</sub>) e produz dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água (H<sub>2</sub>O). Entretanto, com o decorrer do tempo, a imperfeição no contato dos reagentes e alguns compostos indesejáveis, prejudicam a combustão e acarretam na formação de material particulado e NO<sub>x</sub>. Os principais poluentes emitidos são o CO, HC e NO<sub>x</sub>, que formam-se durante a combustão de combustíveis fósseis e são emitidos em grandes quantidades ao meio ambiente. (FEPAM, 2010).



## **5 RESULTADOS**

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos em cada uma das três etapas de pesquisa realizadas.

### **5.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE JAZIDAS DE EXTRAÇÃO DE AREIA E USINAS DE RECICLAGEM DE RCD**

O território brasileiro divide-se em cinco Regiões compostas em sua totalidade por 5570 municípios. Nestes municípios, de acordo com informações do DNPM (2015/2016) pode-se observar 8.573 jazidas de extração de areia, constituídas por uma área superficial de 291.175,83 ha (2.911,7583 km<sup>2</sup>), para atender uma população de 206,1 milhões de habitantes (THE WORLD BANK, 2015). (No Apêndice 01 encontra-se o detalhamento de áreas e processos).

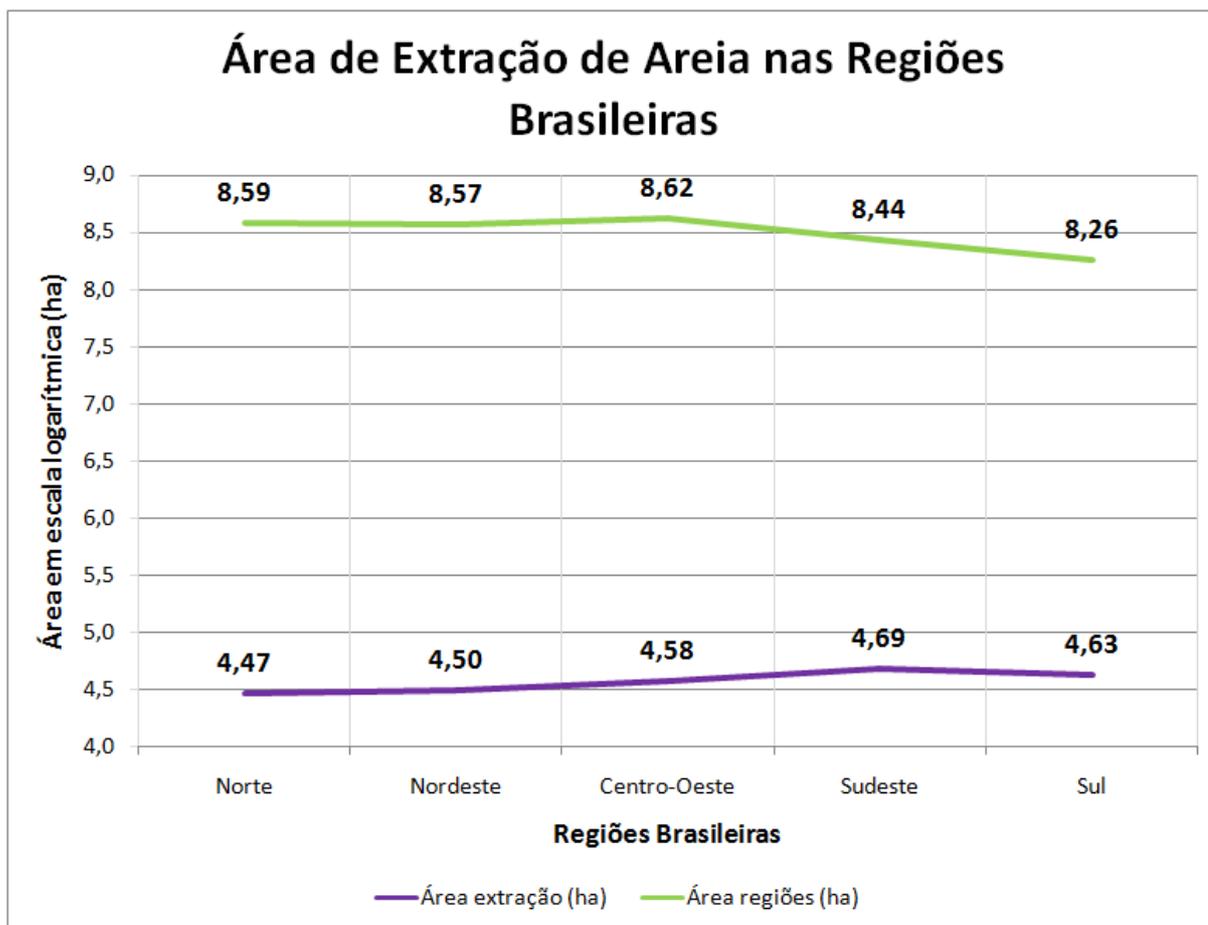
Na Tabela 18 encontra-se o levantamento de empreendimentos legalizados para realizar extração de areia no Brasil, separados por Regiões, Estados e fases de requerimento. Foram contabilizados apenas os processos ativos, ou seja, empresas que possuem aprovação junto ao DNPM para realizar extração de areia.

Tabela 18 - Quantificação de empreendimentos legalizados para extração de areia no Brasil

Regiões	Estados	Registros de extração	Concessões de lavras	Licenciamentos	Total	Área total de extração (ha)
Sudeste	São Paulo	3	646	666	1315	54.673,10
	Espírito Santo	1	0	293	294	9.873,06
	Rio de Janeiro	1	54	208	263	8.727,05
	Minas Gerais	16	121	1333	1470	43.611,97
Centro-Oeste	Mato Grosso do Sul	1	34	165	200	6.695,90
	Goiás	1	196	727	924	29.288,37
	Mato Grosso	0	25	329	354	9.582,90
	Distrito Federal	0	6	9	15	484,02
Sul	Paraná	0	356	86	442	20.076,59
	Santa Catarina	5	82	358	445	19.122,65
	Rio Grande do Sul	15	50	372	437	11.641,04
Norte	Pará	0	1	246	247	8.998,35
	Tocantins	1	6	233	240	8.555,02
	Rondônia	1	3	144	148	5.774,35
	Amazonas	7	0	121	128	2.875,70
	Amapá	0	0	38	38	1.150,19
	Roraima	0	0	42	42	964,41
	Acre	0	1	32	33	956,39
Nordeste	Pernambuco	0	11	140	151	5.485,14
	Piauí	1	3	179	183	4.640,91
	Alagoas	1	0	148	149	3.280,92
	Rio Grande do Norte	0	1	80	81	3.026,47
	Ceará	0	25	347	372	13.365,26
	Bahia	10	32	171	213	7.745,65
	Paraíba	0	19	130	149	6.178,97
	Maranhão	8	6	95	109	2.524,83
	Sergipe	0	1	130	131	1.876,62
<b>Brasil</b>		<b>72</b>	<b>1.679</b>	<b>6.822</b>	<b>8.573</b>	<b>291.175,83</b>

Fonte: Baseado em DNPM (2015)

Na Figura 30 são apresentadas as áreas referentes a cada uma das Regiões Brasileiras (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul) e as áreas superficiais legalizadas para extração de areia nestas Regiões.

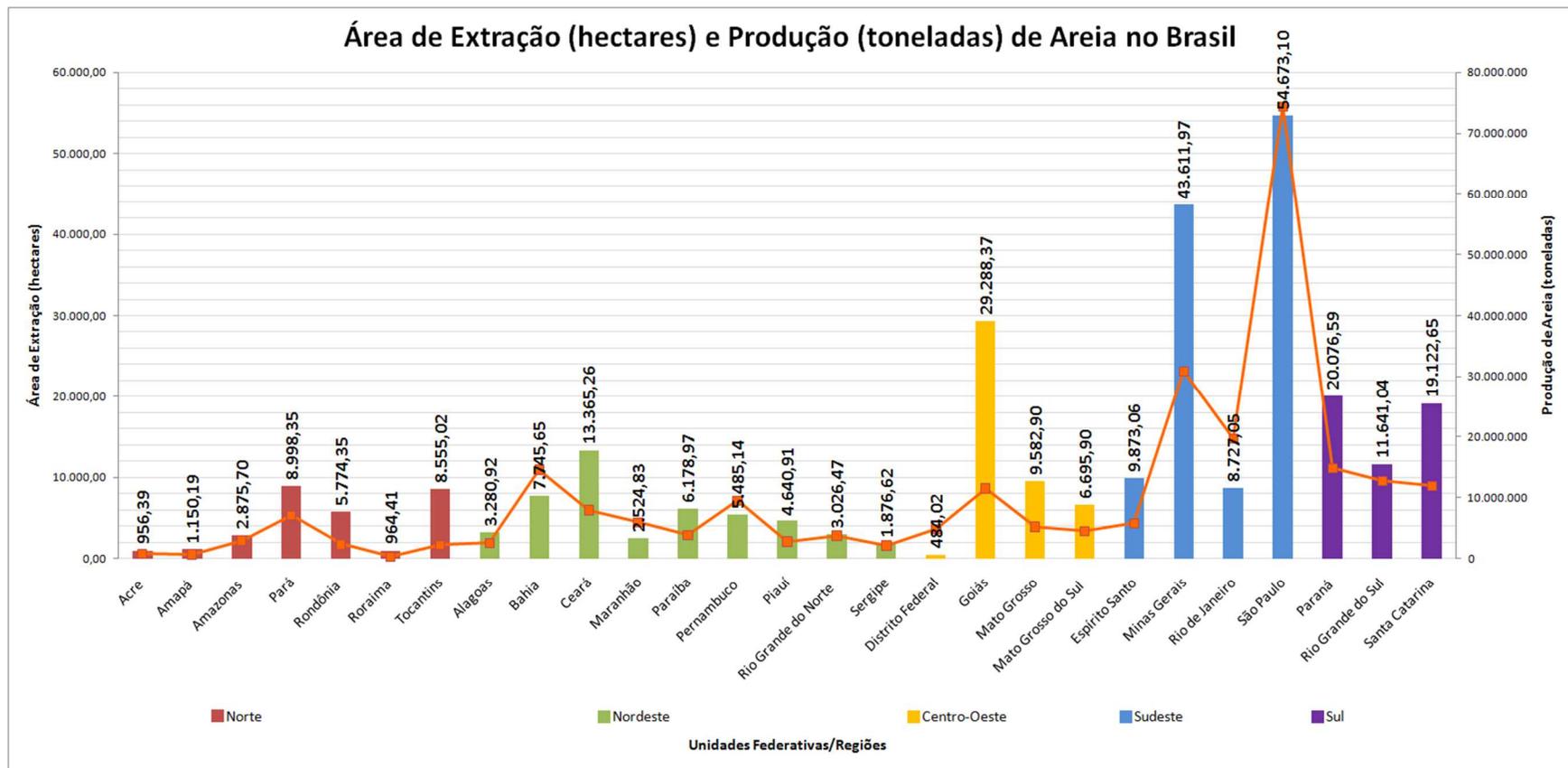


**Figura 30 - Área superficial de extração de areia versus área territorial das regiões brasileiras (dados em escala logarítmica)**

Por meio do levantamento realizado observa-se que a Região Norte possui a menor área legalizada de extração de areia (29.274,41 ha), embora possua a maior área territorial (385.366.976,80 ha). No entanto, 60% do território da Floresta Amazônica encontra-se na Região Norte, onde estão abrigadas mais da metade das florestas tropicais remanescentes do planeta e por parte desta ser considerada Patrimônio da Humanidade pela Organização das Nações Unidas (ONU).

A Região Sudeste possui a maior de área de extração (116.885,18 ha) e a segunda menor área territorial (92.461.696,80 ha), sendo que a soma das áreas das Regiões Sul e Sudeste são superadas pela área territorial do Estado do Amazonas, que é o maior Estado Brasileiro.

Na Figura 31 apresenta-se o somatório das áreas de extrações de areia, referentes aos dados de licenciamentos, registros de extrações e concessões de lavras, e a produção de areia, referente ao ano de 2009, em cada unidade federativa. Os dados referentes às áreas de extrações de areia estão apresentados no gráfico por meio de barras.



**Figura 31 - Área de extração de areia (ha) e volume de areia extraída (t) por unidade federativa**

Fonte: Baseado em DNPM (2010/2015/2016)

A partir dos dados da Figura 31 é possível visualizar que a maior área de extração legalizada encontra-se na Região Sudeste, assim como, o maior índice de produção deste mineral no ano de 2009 (DNPM, 2009), sendo o Estado de São Paulo o maior produtor de areia do Brasil e, também, o maior portador de área superficial legalizada para prática de extração.

Na Tabela 19 apresentam-se os dados de áreas de extração, a produção anual, referente a 2009, e o número dos processos de extração areia em cada uma das Regiões Brasileiras.

**Tabela 19 - Comparativo de área de extração legalizada (hectares), produção anual de areia (toneladas) e número de processos de extração de areia nas Regiões Brasileiras**

Região	Área de extração legalizada (ha)	Produção anual (t)	Número de processos de extração
Norte	29.274,41	16.322.592	876
Nordeste	48.124,77	53.253.822	1538
Centro-Oeste	46.051,19	26.012.642	1493
<b>Sudeste</b>	<b>116.885,18</b>	<b>130.865.200</b>	<b>3342</b>
<b>Sul</b>	<b>50.840,28</b>	<b>39.631.794</b>	<b>1324</b>

Fonte: Baseado em DNPM (2010/2015/2016)

Na Tabela 19 pode-se visualizar claramente a diferença de produção mineral entre as Regiões Sudeste e Norte. Apenas no ano de 2009, o Estado de São Paulo, maior produtor da Região Sudeste comercializou 65.923.096T de areia bruta e 8.075.655T de areia beneficiada, por empresas de pequeno, médio e grande porte, todas em minas a céu aberto, destacando principalmente o alto índice de empresas de pequeno porte (194 unidades), que produziram entre 10.000 até 1000.000T ao ano. (DNPM, 2010). Já o Estado do Pará, maior produtor da Região Norte, comercializou, neste mesmo ano, 7.054.607T de areia bruta e 4.510T de areia beneficiada, por 2 empresas de porte médio e 5 de pequeno porte. (DNPM, 2010).

Os Estados com maiores e menores índices de processos ativos são Minas Gerais e Acre, respectivamente. O Estado de Minas Gerais apresenta 1470 jazidas totalizando uma área superficial de extração de 43.611,97 ha (436,1197 km<sup>2</sup>), para suprir 20.958.602 habitantes, apresentando  $2,08 \cdot 10^{-3}$  ha/hab. (0,00208 ha/hab.). Enquanto o Acre possui apenas 33 jazidas, com uma área superficial de apenas 956,39 ha (9,5639 km<sup>2</sup>), para atender uma população de 812.380, o que proporciona  $1,18 \cdot 10^{-3}$  ha/hab.

A Tabela 20 confronta o número de processos de extração de areia em cada Região com dados de consumo de agregados de 2011, população, e PIB, a partir de informações do IBGE (2014) e IBRAM (2012).

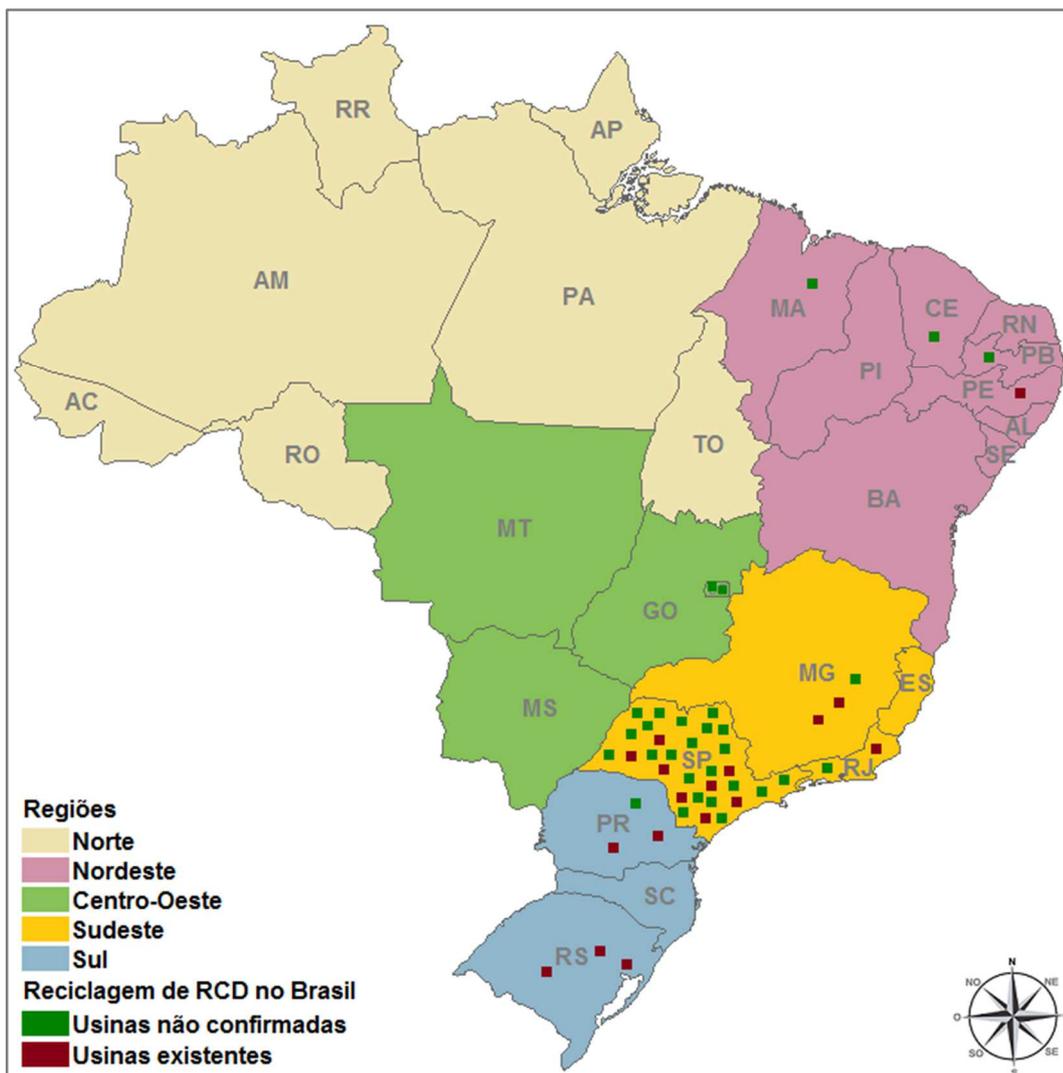
**Tabela 20 - Correlação processos de extração de areia *versus* consumo de agregados**

<b>Região</b>	<b>Nº de processos (%)</b>	<b>Consumo de agregado (%)</b>	<b>População (% habitantes)</b>	<b>PIB (%)</b>
<b>Sudeste</b>	38,98	48,10	41,9	55,2
<b>Nordeste</b>	17,94	20,11	26,3	13,6
<b>Centro-Oeste</b>	17,41	8,68	7,5	9,8
<b>Sul</b>	15,44	16,28	14,3	16,2
<b>Norte</b>	10,21	6,83	10	4,7

Fonte: Baseado em IBGE (2014); IBRAM (2012)

A análise destes dados mostra uma relação clara e direta entre os parâmetros apresentados, mostrando que a região de maior PIB e população é a que tem maior número de processos ligados à extração de areia, Região Sudeste, e a que apresenta menores parâmetros é a Região Norte. A Região Nordeste, no entanto, é a segunda representativa em termos de população, em consumo de agregado e em número de processos, porém aparece como terceiro lugar em termos de PIB. A Região Centro-Oeste tem um número de processos muito similar à Região Nordeste, porém apresenta índices de consumo de agregado, população e PIB bastante distintos. Por fim, a Região Sul tem o segundo maior PIB, porém aparece em quarto lugar em números de processos, e terceiro em consumo de agregado e população.

Na Figura 32 estão apresentadas as usinas de reciclagem de RCD encontradas na literatura, indicadas no mapa como “usinas não confirmadas” (apresentadas pela bibliografia, porém sem confirmação de operação), e as “usinas existentes” (operação confirmada por contato telefônico), que é possível assegurar que estão operando no Brasil. A Região Sudeste destaca-se por apresentar o maior número de usinas confirmadas, 11, e também de usinas não confirmadas, 24, totalizando apenas nesta região 35 usinas. Assim como, em termos de extração de areia, o Estado de São Paulo apresenta o maior índice de usinas de reciclagem de RCD, que justifica-se por pertencer a Região Brasileira que apresenta o maior PIB e o maior índice de habitantes, dois importantes fatores que fomentam a indústria da construção civil.



**Figura 32 - Distribuição geográfica de usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil**

Fonte: Elaborado em Paint (2015)

A Região Sudeste apresenta duas usinas confirmadas no Estado de Minas Gerais e uma no Estado do Rio de Janeiro. Ambos os Estados possuem uma usina não confirmada.

Na segunda posição encontra-se a Região Sul, com três usinas no Estado do Rio Grande do Sul, seguido pelo Estado do Paraná, com duas usinas existentes e uma não confirmada. A Região Sul destaca-se também por apresentar o segundo maior PIB, com 16,2% do total nacional.

Na Região Nordeste pode-se visualizar uma usina confirmada no Estado de Pernambuco e uma não confirmada nos Estados do Maranhão, Ceará e Paraíba. No Distrito Federal há duas usinas não confirmadas, sendo estas as únicas observadas na Região Centro-Oeste.

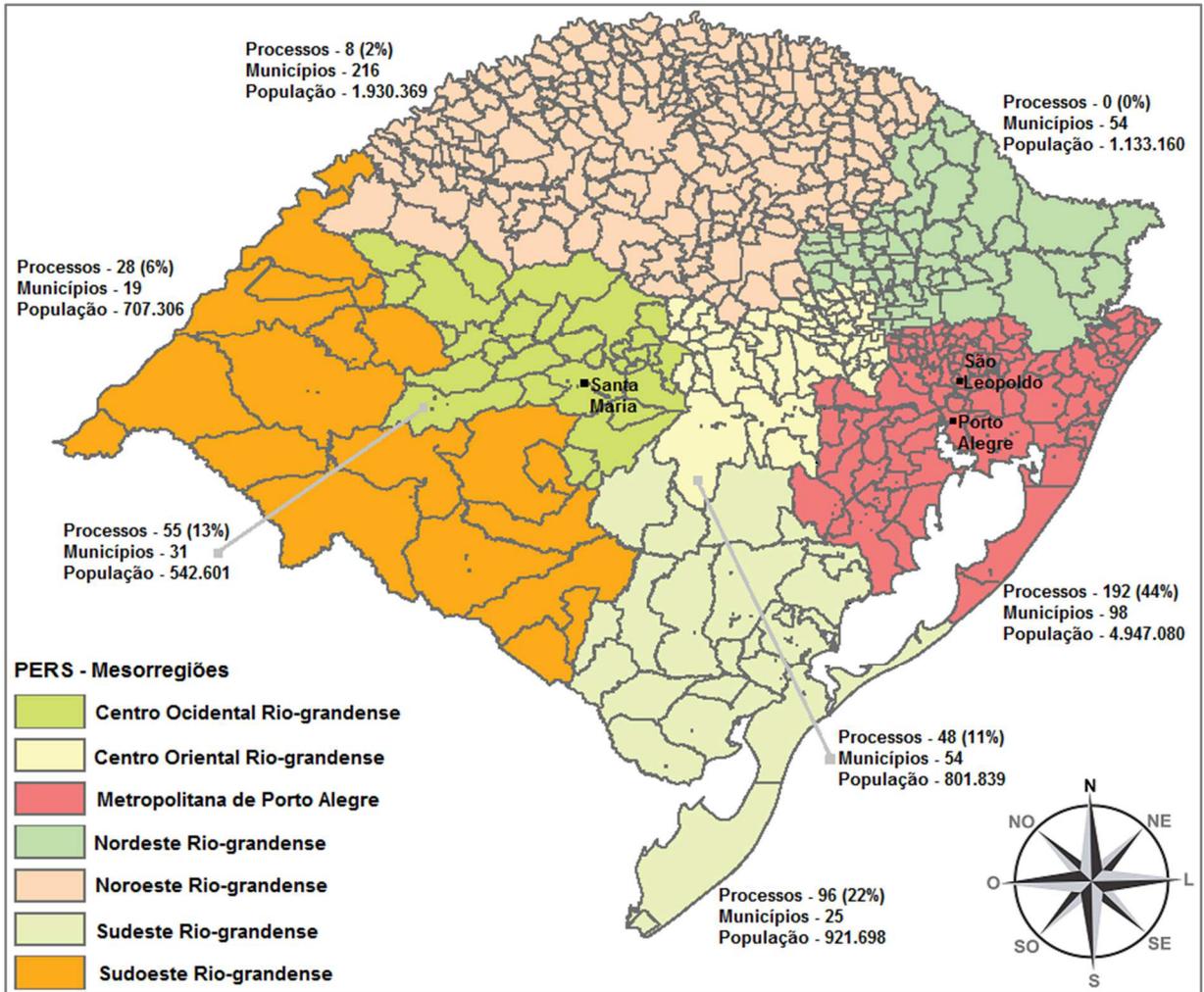
Na Região Norte não foram encontradas usinas de reciclagem de RCD, provavelmente por esta ser a Região com menor consumo de agregado, o menor PIB nacional e o menor número de habitantes. Não indicando, necessariamente, que não há geração de resíduos e atividades no setor da construção civil.

Por ser o principal centro financeiro, corporativo e mercantil da América Latina (CALEIRO, 2015), sendo também a cidade Brasileira mais populosa, São Paulo apresenta alta demanda e consumo de agregados, devido às inúmeras construções realizadas diariamente.

Por meio do levantamento realizado junto ao DNPM, observou-se que no Estado do Rio Grande do Sul (RS) há 50 processos correspondentes à concessão de lavras, abrangendo uma área de 4.523,07ha. Empreendimentos com registro de extração contabilizam 15 processos, que utilizam 25,31ha. Para os processos de licenciamento, foram encontrados 372 registros, com uma área total de 7.092,66ha. Estas fases correspondem aos locais com autorização legal para a realização do processo extrativo, em todo o Estado do RS há 437 empreendimentos, que contabilizam 11.641,04ha (116,4104 km<sup>2</sup>) de área superficial de extração. Sendo a área total do Rio Grande do Sul de 28.173.144,5 ha (281.731,445 km<sup>2</sup>), a área superficial de extração de areia corresponde a apenas 0,04% da área total do Estado.

Para facilitar o entendimento dos resultados, estes foram apresentados utilizando como base a divisão territorial do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul 2015-2034 – PERS (2014), que por sua vez determina sete Mesorregiões no Estado do Rio Grande do Sul: Centro Ocidental Rio-grandense, Centro Oriental Rio-grandense, Metropolitana de Porto Alegre, Nordeste Rio-Grandense, Noroeste Rio-grandense, Sudeste Rio-grandense e Sudoeste Rio-grandense (Figura 33).

Na Figura 33 estão especificados os dados referentes a cada uma das Mesorregiões constituintes do Estado do Rio Grande do Sul, destacando o número e o percentual de processos de extrações de areia, o número de municípios e índice populacional.



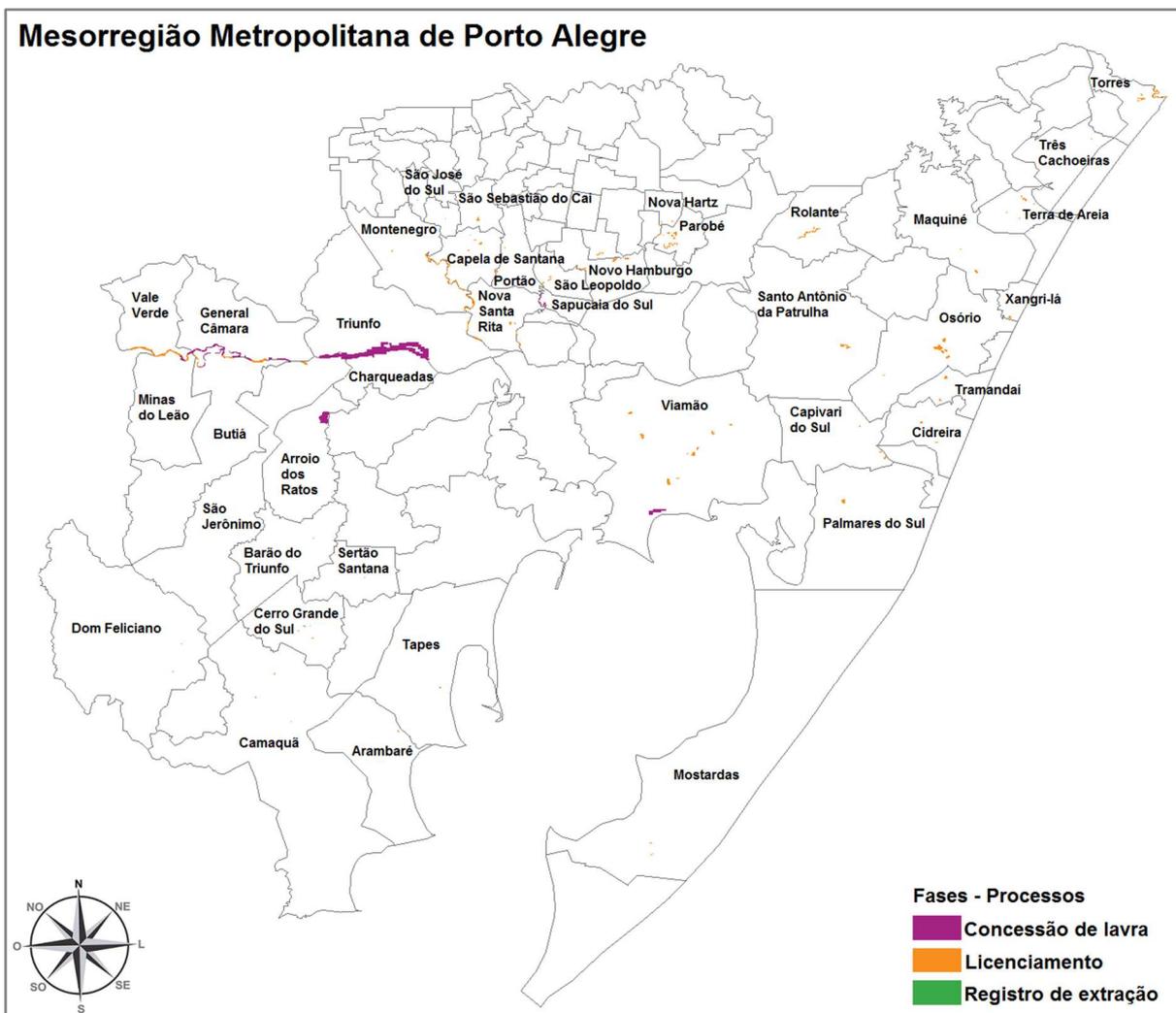
**Figura 33 - Divisão territorial do Rio Grande do Sul, conforme o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (2014), com quantitativo de processos de extração de areia, municípios e população**

Fonte: Elaborado em Arcgis e Paint (2015)

Os dados apresentados demonstram que a Mesorregião Nordeste Rio-grandense não possui áreas de extração de areia, o que consequentemente, obriga os consumidores desta Mesorregião a adquirirem o agregado natural nas Mesorregiões adjacentes: Metropolitana de Porto Alegre, Centro Oriental Rio-grandense e Noroeste Rio-grandense, ou até mesmo, no Estado de Santa Catarina. A ausência de processos de extração de areia nesta Mesorregião justifica-se ao analisar o macrozoneamento ambiental apresentado pelo PERS (2014), por se tratar de uma área entre o Planalto Meridional e a Depressão Central, esta Mesorregião abrange áreas de uso agrícola intensivo no verão, áreas de florestas remanescentes e uma grande parcela de campos limpos, mas principalmente pelo fato de não apresentar recursos hídricos suscetíveis à atividade de extração.

Em contraponto, observa-se que a Mesorregião Metropolitana de Porto Alegre apresenta em sua área territorial quase metade dos processos de extração de areia do Estado, justificando-se pelo fato de ser a sede de grandes construtoras, responsáveis pela construção de inúmeras obras diariamente, e conseqüentemente, as consumidoras da maior parcela de areia extraída nesta Mesorregião.

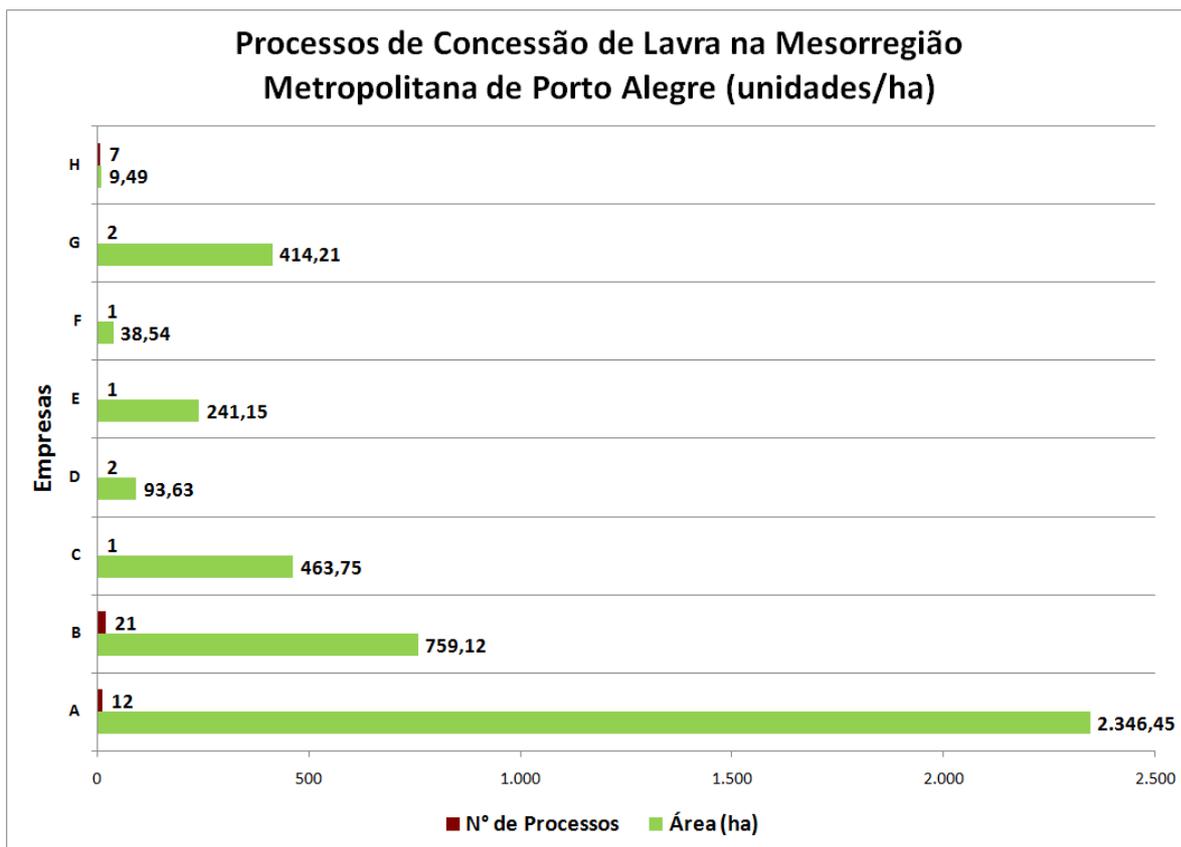
O maior índice de processos de extração encontra-se na Mesorregião Metropolitana de Porto Alegre, constituída por 98 municípios, que abrangem 139 licenciamentos, 47 concessões de lavras e 6 registros de extrações, totalizando 192 processos. A maioria destes processos estão distribuídos no decorrer do Rio Jacuí (92% - 47 processos) e os demais entre as Bacias Hidrográficas: do Rio Tramandaí, do Litoral Médio, do Rio Gravataí, do Rio dos Sinos e do Rio Caí. Na Figura 34 estão apresentadas as áreas dos polígonos de extração definidos pelo DNPM, onde os municípios que se encontram com os seus respectivos nomes possuem áreas extrativas, por este fato receberam destaque na apresentação destes resultados. Assim como as marcações realizadas nos demais mapas apresentados no Apêndice 02, correspondem a cada uma das Mesorregiões constituintes do Estado do Rio Grande do Sul.



**Figura 34 - Localização dos processos na Mesorregião Metropolitana de Porto Alegre**

Fonte: Elaborado em Arcgis e Paint (2015)

A concessão de lavra corresponde à última etapa burocrática para extrair, beneficiar e comercializar o bem mineral, sendo outorgada pelo Ministro de Minas e Energia. Na Mesorregião Metropolitana de Porto Alegre existem 47 processos com registro para concessão de lavra. A Figura 35 mostra as áreas de extração de oito destas empresas, denominadas de A a H, que constituem os 47 processos.



**Figura 35 - Quantitativo de processos de concessão de lavra na Mesorregião Metropolitana de Porto Alegre com suas respectivas áreas**

A partir da Figura 35 é possível visualizar a diferença em área de extração operada pelas diferentes empresas, que varia de 9,00 ha (empresa H) a mais de 2.000 ha (empresa A).

## **5.2 ANÁLISE DE SIGNIFICÂNCIA DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS**

Este item apresenta a análise dos dados coletados para avaliação de impactos ambientais referentes à qualidade do ar (material particulado e presença de SO<sub>4</sub>), ruído e emissão de CO<sub>2</sub>. Primeiramente são apresentados os diagramas de blocos, onde estão especificadas as entradas e saídas de cada um dos processos. A Figura 36 apresenta o diagrama de blocos referente ao processo de extração de areia.



**Figura 36 - Diagrama de blocos – Etapa de extração e beneficiamento do agregado natural – Areia**

Na Figura 36 podem ser observadas as entradas e saídas constituintes do processo de extração de areia. Neste processo há consumo de combustível, utilizado para o funcionamento da draga de extração e para movimentação do barco. A areia é o principal recurso natural consumido neste processo, estando no bloco de entrada do diagrama, e também no bloco de saída, por ser o produto resultante. Como o principal meio de extração é a embarcação, por ser alimentada por combustível (óleo diesel), esta é responsável pela emissão de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e material particulado. O processo de extração, o peneiramento e a estocagem são responsáveis pela emissão de ruídos, ocasionados pelo maquinário utilizado. O primeiro peneiramento da areia, ao ser retirada do rio, é realizado dentro da embarcação, gerando resíduos neste local, como galhos de árvores e pedras. Com a conclusão do processo de sucção da areia e a ancoragem da embarcação é realizado o encaminhamento da matéria-prima para o local de peneiramento, gerando ao final do percurso outra parcela de resíduos.

Segundo informações fornecidas pelo proprietário da jazida estudada, são utilizados 25 litros de óleo diesel para carregar, transportar e descarregar o material. Levando em consideração que em cada viagem a embarcação extrai e transporta 25 m<sup>3</sup> de areia, sendo realizadas de três a quatro extrações por dia, conclui-se que ao final de um dia, com bom rendimento (três extrações), são extraídos 75 m<sup>3</sup> de areia e consumidos 75 litros de combustível.

Em um mês, considerando a média de 22 dias trabalhados, com uma média de três extrações por dia, seriam consumidos 1.650 litros de óleo diesel, para extrair 1.650 m<sup>3</sup> de areia. Mantendo esta média mensal, durante o período de um ano, seriam extraídos 19.800 m<sup>3</sup> de areia, por um empreendimento de pequeno porte. Porém, não é em todos os meses que há possibilidade de extrair areia durante os 22 dias, pois há variações na precipitação pluvial, ocasionando meses com fortes chuvas, que acarretam na impossibilidade de extração, devido à periculosidade do nível do rio. Também há vários dias de seca, que tendem a diminuir

significativamente o nível do rio, impossibilitando a navegação. Isto ocorre, por se tratar de um rio estreito (Rio Pardo) e com profundidade em torno de 10 m, que conseqüentemente, sofre grande influência dos períodos de chuvas e de secas.

**Tabela 21 - Média (dias) do consumo de combustível (litros) e do volume de areia extraída (m<sup>3</sup>), conforme informações fornecidas pelo proprietário da jazida, aplicável a este estudo de caso**

Médias (dias)	Consumo diesel (L)	Areia extraída (m <sup>3</sup> )
1	75	75
22	1.650	1.650
264	19.800	19.800

O manejo da areia, do local de peneiramento até a área de secagem, é realizado por uma pá-carregadeira, com capacidade de transporte de 1 m<sup>3</sup>, acarretando na realização de 25 viagens entre um local e outro, em uma distância média de 15 m, para o manejo de uma carga de extração. Neste processo também há consumo de combustível, para deslocamento da pá-carregadeira.

Durante o processo de extração faz-se necessário o consumo de água, para realizar o resfriamento dos motores da embarcação. Um dos motores é utilizado para movimentar a embarcação e o outro realiza a sucção durante a extração, ambos possuem 120 cavalos de potência (CVs).

O processo de extração, o peneiramento e a estocagem são responsáveis pela emissão de ruídos, ocasionados pelo maquinário utilizado; geração de resíduos, no peneiramento; emissão de material particulado, de CO<sub>2</sub> e de SO<sub>2</sub>. Dentre os resíduos gerados, o cascalho encontrado é utilizado para nivelar o calçamento de acesso ao areal. Enquanto, os resíduos orgânicos, com a ocorrência de chuvas, retornam para o fluxo do rio.

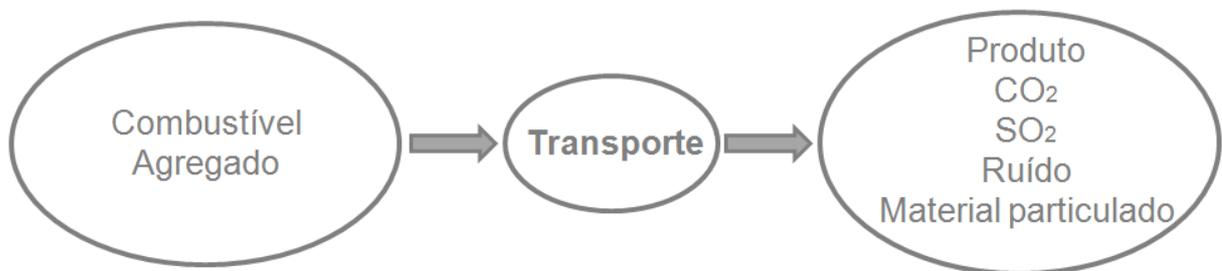
A Figura 37 apresenta o diagrama de blocos referente ao processo de beneficiamento do RCD em agregado artificial.



**Figura 37 - Diagrama de blocos - Etapa de beneficiamento do agregado reciclado de resíduo de construção e demolição**

Na etapa de beneficiamento do agregado reciclado de RCD faz-se necessário o consumo de combustível, devido ao manejo do material dentro da usina, e também da utilização do britador móvel (utilizando como base o estudo de caso em questão) para cominuição do material. O britador fixo, responsável pela geração de diferentes granulometrias de materiais, é suprido por energia elétrica. Para a obtenção do agregado utiliza-se o resíduo de construção e demolição como matéria-prima deste processo. Durante o processo de beneficiamento do agregado reciclado de RCD são gerados: o agregado – o produto, o CO<sub>2</sub>, o SO<sub>2</sub>, o material particulado, os ruídos e os resíduos.

A Figura 38 apresenta o diagrama de blocos do processo de transporte.



**Figura 38 - Diagrama de blocos - Etapa de transporte para ambos os processos produtivos**

Já na etapa de transporte é consumido apenas o combustível – óleo diesel. Gerando durante este processo, as emissões de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, ruídos e material particulado, que resultam na poluição do meio ambiente. Devido ao manejo do material, o agregado entra na etapa de transporte e resulta na principal da saída, conforme pode ser observado na Figura 38.

Ao analisar os processos de extração do agregado natural e o beneficiamento do agregado reciclado, utilizados como estudos de caso desta pesquisa, foram observados 23 impactos ambientais, decorrentes de 13 aspectos, resultando na avaliação de 32 aspectos e impactos ambientais. Dentre os aspectos observados, o consumo de matérias-primas destaca-se por resultar em sete impactos, seguido da movimentação de veículos e maquinário, e da alteração na forma natural do relevo, ambos causadores de seis impactos ambientais. Já o impacto ambiental decorrente de maior índice de aspectos ambientais é a escassez de recurso natural, devido ao consumo: de matéria-prima (areia), combustível (óleo diesel), eletricidade e água. Estes aspectos e impactos se equiparam, devido ao fato da matéria-prima consumida, ser também o produto final do processo de extração do agregado natural (Tabela 22).

A Tabela 22 destaca a influência destes aspectos e impactos observados nas etapas de extração do agregado natural e do beneficiamento do agregado reciclado. Enquanto o agregado natural apresenta 93,75% dos impactos observados, o agregado reciclado é responsável pela ocorrência de 68,75%, devido ao fato de não utilizar recursos naturais como matéria-prima.

**Tabela 22 - Aspectos e impactos ambientais: agregado natural e agregado reciclado de resíduos de construção e demolição**

<b>Aspecto ambiental</b>	<b>Impacto ambiental</b>	<b>Agregado natural</b>	<b>Agregado reciclado de RCD</b>
Movimentação de veículos e maquinário	Erosão no solo	X	X
	Perturbação as comunidades vizinhas	X	X
	Efeito estufa	X	X
	Tráfego intenso de veículos pesados	X	X
	Redução de infiltração de água no solo	X	X
	Depreciação da qualidade do solo	X	X
Consumo de matéria prima		X	
	Alteração no lençol freático	X	
	Depleção da camada de ozônio	X	X
	Instabilidade de margens e taludes	X	
	Cavas abandonadas	X	
	Turbidez da água	X	
		X	
Consumo de combustível	Escassez de recurso natural	X	X
Consumo de eletricidade		X	X
Consumo de água		X	X
Geração de material pulverulento	Alteração da qualidade do ar	X	X
	Erosão no solo	X	X
Geração de resíduo (inerte)	Contaminação do solo	X	X
		X	X
Lançamento de efluentes			X
Acúmulo de água, nas margens do rio, no acesso a embarcação		X	
Alteração da forma natural do relevo	Alteração do sistema de drenagem natural	X	X
	Alteração nas calhas dos cursos d'água	X	
	Supressão da vegetação (mata ciliar)	X	
	Alteração da paisagem	X	X
	Risco de desabamento	X	X
		X	X
Interceptação de leitos de rios	Alteração da biodiversidade	X	
		X	X
Eliminação da fauna	Danos a fauna e a flora	X	X
Implantação do empreendimento	Alteração no uso e na ocupação do solo	X	X
<b>Aspectos – 13</b>	<b>Impactos – 23</b>	<b>Ag. Nat. – 30</b>	<b>Ag. Rec. – 22</b>

Na análise das etapas de transporte, para o agregado natural e para o agregado reciclado, foram observados seis impactos ambientais, decorrentes de quatro aspectos (Tabela 23). Com enfoque na movimentação de veículos e maquinários, responsáveis pela ocorrência dos gases do efeito estufa e da perturbação as comunidades vizinhas, observados em ambos os processos.

**Tabela 23 - Planilha de aspectos e impactos ambientais - Etapa de transporte (agregado natural/agregado reciclado de resíduo de construção e demolição)**

<b>Aspecto ambiental</b>	<b>Impacto ambiental</b>	<b>Transporte do agregado natural ou reciclado</b>
Movimentação de veículos e maquinário	Perturbação as comunidades vizinhas	X
	Erosão no solo	X
	Aquecimento global	X
Consumo de combustível	Escassez de recurso natural	X
Contenção de material pulverulento		X
	Contaminação do solo	X
Geração de material pulverulento	Contaminação do ar	X
<b>Aspectos – 4</b>	<b>Impactos – 6</b>	<b>Total – 7</b>

A Tabela 24 apresenta os aspectos e impactos ambientais identificados e a avaliação atribuída para abrangência, severidade e frequência. Os valores foram obtidos por meio da avaliação média realizada por uma equipe multidisciplinar (Tabela 24). (No Apêndice 03 encontram-se as avaliações de significância de ambos os processos com os resultados identificados por cada pesquisador separadamente).

**Tabela 24 - Significância de aspectos e impactos ambientais: extração e beneficiamento agregado natural**

Identificação		Exame de aspectos e impactos			Aval. Sig.	
Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Abrangência	Severidade	Frequência	Significância	
Movimentação de veículos e maquinário	Erosão no solo	2	3	2,6	7,6	
	Perturbação das comunidades vizinhas	1,8	2	3,6	7,5	
	Efeito estufa	3,8	4	2,5	10,3	
	Redução de infiltração de água no solo	1,8	3,3	3	8,1	
Consumo de matéria prima	Depreciação da qualidade do solo	1,5	2,3	2,1	6	
		1,5	2,6	2,6	6,8	
	Alteração no lençol freático	2,6	3,6	3	9,3	
	Redução da camada de ozônio	3,8	4	2,5	10,3	
	Instabilidade de margens e taludes	1,8	2,3	2,3	6,5	
	Cavas abandonadas	1,8	2,5	2,1	6,5	
	Turbidez da água	2	1,3	2,6	6	
	Consumo de combustível	Escassez de recurso natural	2,8	3	2,3	8,1
			3,1	3,3	3	9,5
			3	3,5	3	9,5
Consumo de água						
Geração de material pulverulento	Alteração da qualidade do ar	2,6	3	2,5	8,1	
Lançamento de efluentes	Contaminação do solo	3	3	3,3	9,3	
Acúmulo de água, nas margens do rio, no acesso a embarcação						
Alteração da forma natural do relevo	Alteração do sistema de drenagem natural	2,5	4	2,3	8,3	
	Alteração nas calhas dos cursos d'água	3	4	2,6	9,6	
	Supressão da vegetação (mata ciliar)	2,6	3	1,5	7,1	
	Alteração da paisagem	2,1	3	1,8	7	
	Risco de desabamento	1,8	2,5	2,8	7,1	
Interceptação de leitos de rios	Alteração da biodiversidade	3	3,3	2,3	8,6	
		3,3	3,3	1,8	8,5	

Dentre os 26 aspectos e impactos analisados, no processo de extração de areia, 5 foram classificados como desprezíveis, correspondendo a 21,74% dos aspectos e impactos

acarretados durante esta etapa, porém estes são considerados danos leves, ou seja, que causam danos ao meio ambiente, mas cessam ao ser realizada a adequação necessária.

O maior índice de avaliações foi classificado como moderado, 69,57% dos aspectos e impactos observados, representados por 16 averiguações. A classificação crítica, que determina se os aspectos e impactos são significativos, foi observada em 2 avaliações do processo de extração de areia. Os gases do efeito estufa, a redução da camada de ozônio, a alteração da biodiversidade e os danos à fauna e a flora representam 8,69% das avaliações, que acarretam em perdas irreversíveis ao meio ambiente (Tabela 26).

Na Tabela 25 encontra-se a avaliação de aspectos e impactos ambientais, referente ao processo de beneficiamento do agregado reciclado de RCD, com a avaliação de significância das situações observadas.

**Tabela 25 - Significância de aspectos e impactos ambientais: processo de beneficiamento do resíduo de construção e demolição**

Identificação		Exame de aspectos e impactos			Aval. Sig.
Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Abrangência	Severidade	Frequência	significância
Movimentação de veículos e maquinário	Erosão no solo	2	2,6	2,5	7,1
	Perturbação as comunidades vizinhas	2	2	3,8	7,8
	Efeito estufa	3,3	3,5	2,5	9,3
	Redução de infiltração de água no solo	2	3	3	8
	Depreciação da qualidade do solo	2,1	2,6	2,8	7,6
Consumo de combustível	Redução da camada de ozônio	3,6	3,6	3	10,3
Consumo de água	Escassez de recurso natural	3,3	3,1	3	9,5
		3	3,3	3,3	9,6
Geração de material pulverulento	Contaminação do ar	3	2,3	3,5	8,8
	Erosão no solo	2,3	2,1	2,6	7,1
Lançamento de efluentes	Contaminação do solo	2,6	3,1	3	8,8
Alteração da forma natural do relevo	Alteração do sistema de drenagem natural	2,3	3	2,6	8
	Supressão da vegetação	2	3	2	7
	Alteração da paisagem	1,8	3	2,3	7,1
	Risco de desabamento	1,8	2,5	2,5	6,8
Eliminação da fauna	Alteração na biodiversidade	3,5	3,3	3,1	10
	Danos a fauna e a flora	3,3	3,6	2,6	9,6
Implantação do empreendimento	Alteração no uso e na ocupação do solo	2,3	2,3	2,3	7

Com a avaliação de aspectos de impactos ambientais realizada no processo de beneficiamento do agregado reciclado de RCD, observa-se alto índice de classificação de significância moderada. Entre os 18 aspectos e impactos avaliados, 15 encontram-se na faixa de classificação moderada, o que representam 83,33% das etapas avaliadas. O beneficiamento do agregado reciclado de RCD apresentou apenas uma classificação desprezível e duas críticas, correspondendo respectivamente a 5,56 e 11,11% das avaliações realizadas (Tabela 26).

**Tabela 26 - Pontuação obtida com a classificação de aspectos e impactos ambientais durante o processo de extração de areia e reciclagem de RCD**

Classificação dos aspectos e impactos	Pontuação obtida – Agregado natural	Pontuação obtida – Agregado reciclado
Desprezível	21,74%	5,56%
Moderado	69,57%	83,33%
Crítico	8,69%	11,11%

Dentre os aspectos e impactos ambientais analisados, a redução da camada de ozônio e a alteração da biodiversidade foram classificados como críticos em ambos os processos.

A redução da camada de ozônio destaca-se na avaliação deste estudo de caso, devido ao alto consumo de combustível, resultante da movimentação de veículos e maquinário do transporte dos agregados. Já a alteração da biodiversidade enfatiza a importância da preservação da natureza, pois na usina de reciclagem de RCD observou-se que parte do material recebido é depositado em local inadequado, comprometendo a vegetação existente. A extração de areia afeta diretamente a vida aquática, resultando na migração de espécies que habitam a região extrativa, e afetando também a mata ciliar, com a ocorrência de instabilidade nas margens do rio.

Na análise do processo de extração de areia os danos à fauna e à flora obtiveram a maior pontuação entre os impactos avaliados, enquanto, no beneficiamento do RCD, a redução da camada de ozônio foi considerada o impacto com maior índice de significância.

No processo de extração da areia observou-se a classificação do efeito estufa e de danos à fauna e à flora como impactos críticos, ou seja, que acarretam em danos irreversíveis ao meio ambiente. Em termos de quantificação de impactos avaliados a extração de areia apresenta maior índice de significância crítica.

### **5.3 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE IMPACTOS AMBIENTAIS**

Este item apresenta os resultados quantitativos obtidos na avaliação de impactos ambientais nos processos analisados, referentes à qualidade do ar (material particulado e taxa de sulfatação), ruído e emissão de CO<sub>2</sub> (transporte).

#### **5.3.1 Avaliação de material particulado**

Para a quantificação do material particulado foram definidos: um ponto de coleta na jazida de extração de areia e dois pontos na usina de reciclagem de RCD. A Figura 39

apresenta as concentrações de material particulado encontradas durante os três dias de coletas na jazida de extração de areia, durante períodos de 24 h de coleta em  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

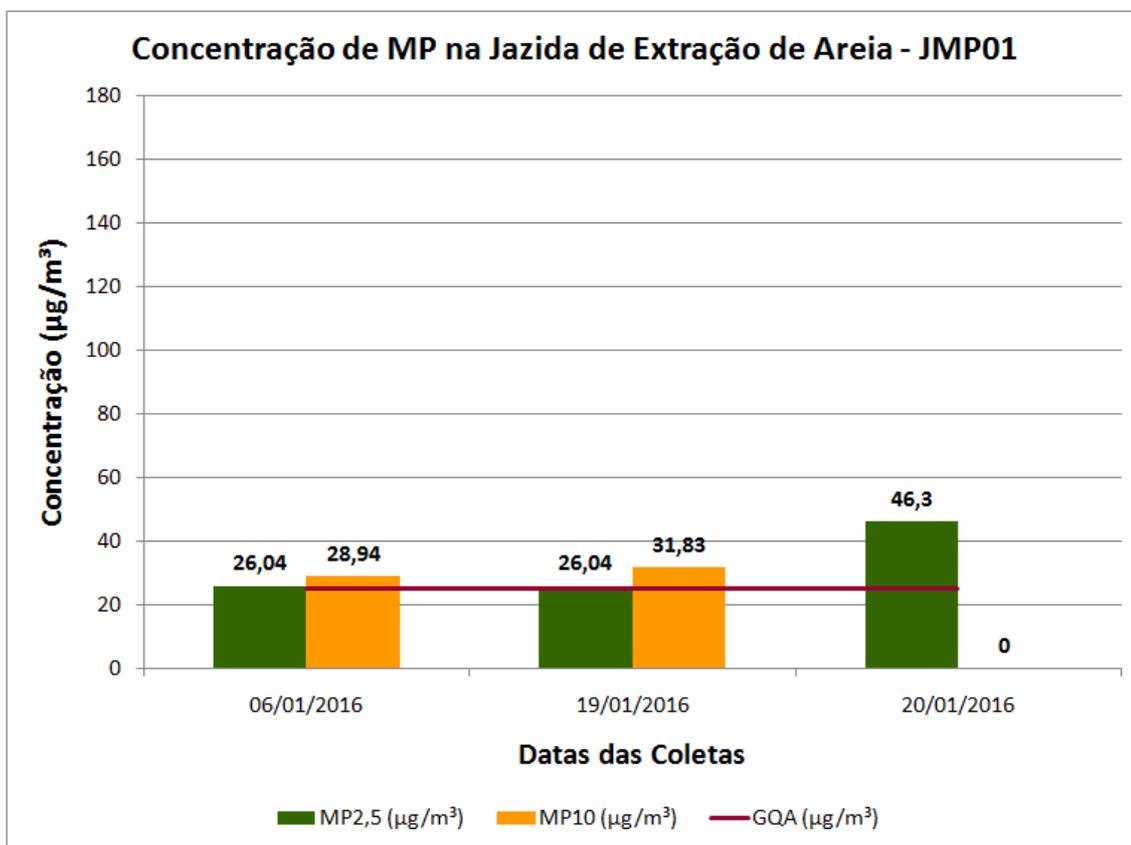
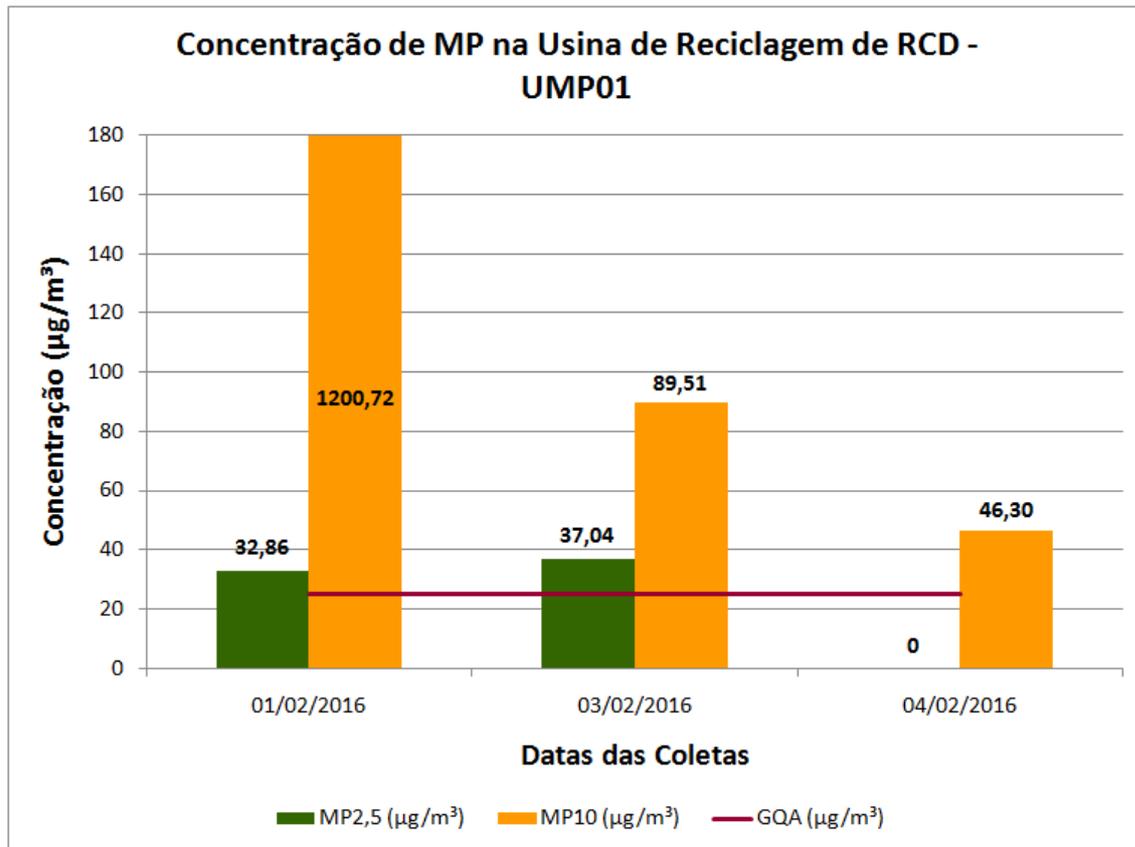


Figura 39 - Concentração de material particulado (MP), na jazida de extração de areia (JMP01)

Conforme os níveis de concentrações aceitáveis pela OMS (2005), todas as concentrações encontradas ultrapassaram o limite de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (GQA) nas concentrações de  $\text{MP}_{2,5}$ , sendo este o parâmetro de análise para o equipamento utilizado, pois o filtro de  $10 \mu\text{m}$  não coleta apenas o  $\text{MP}_{10}$ , mas todas as partículas na faixa de  $2,5$  a  $10 \mu\text{m}$ , que torna imprecisa a quantificação das partículas de  $10 \mu\text{m}$  captadas. Porém, se for utilizado como referência o Padrão Nacional de Qualidade do Ar dos EUA (EPA, 2014) apenas a concentração encontrada no dia 20/01/2016 ultrapassa o limite estabelecido por esta legislação, que corresponde a  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Na Figura 40 encontram-se as concentrações de material particulado coletadas na usina de reciclagem de RCD, na localização UMP01.



**Figura 40 - Concentração de material particulado (MP) na usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição (UMP01)**

Nas concentrações obtidas no ponto UMP01, apenas no dia 04/02/2016 não foram encontradas concentrações de MP<sub>2,5</sub>, devido à precipitação atmosférica ter atingido 10,6 mm no período da manhã e 9,4 mm à tarde, e ventos de no máximo 2,2 m/s, conforme dados obtidos por meio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Já as demais coletas apresentaram valores acima do estabelecido como parâmetros aceitáveis pelos níveis da OMS. (Dados referentes às condições climáticas apresentados no Apêndice 04).

A medição de MP<sub>10</sub> realizada no dia 01/02/2016 destaca-se pelo elevado índice de material particulado, apresentando um índice 48 vezes acima dos níveis aceitáveis pela OMS, com 1.200,72 µg/m<sup>3</sup>, este resultado deve-se ao fato de não ter ocorrido precipitação atmosférica neste dia. Apesar de não haver o beneficiamento do RCD nesta data, no período da tarde ocorreram rajadas de vento de 8,4 m/s, que ampliam a faixa de dispersão das partículas existentes no ar, ocasionadas pelo alto fluxo de veículos, pois, em média, a usina de reciclagem de RCD analisada recebe 35 caminhões com capacidade de 5,00 m<sup>3</sup> cada. Assim como, os resultados encontrados por Alves, Leite e Osório (2014), o alto índice de material

particulado grosso está diretamente associado à ressuspensão do solo, devido ao crescente fluxo de veículos no local.

A Figura 41 apresenta os dados obtidos com as coletas de MP no ponto de medição UMP02.

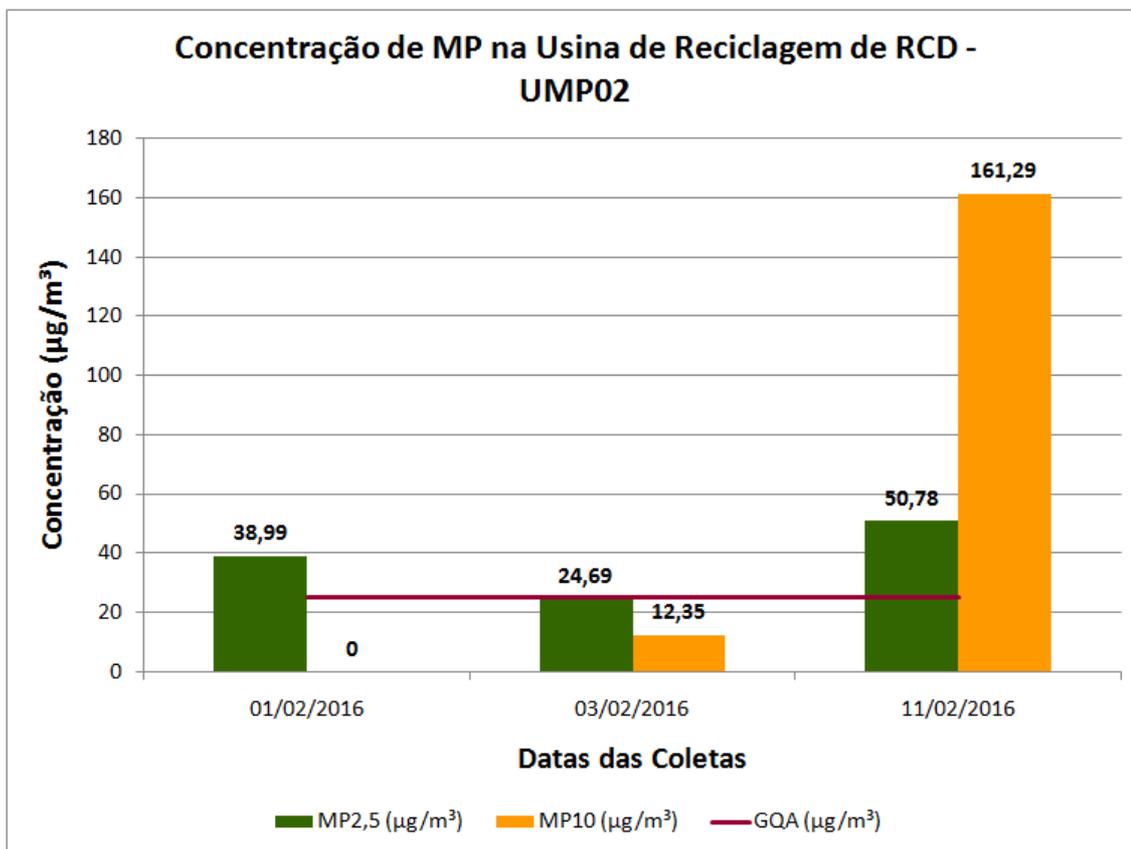


Figura 41 - Concentração de material particulado (MP) na usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição (UMP02)

A coleta realizada no dia 03/02/2016 apresentou-se dentro dos limites estabelecidos pela OMS ( $GQA = 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), justificados devido à alta umidade do ar, com máxima de 93%, que dificulta a dispersão das partículas. O elevado índice de  $MP_{10}$  se deve ao fato da medição ter sido realizada após seis dias sem a ocorrência de chuvas na região. Porém não apresenta-se tão elevado, quanto o valor encontrado no dia 01/02/2016 no ponto UMP01, devido à velocidade máxima do vento ter atingido apenas 2,4 m/s. Assim como nos estudos realizados por Gheno (2012), é possível concluir que os parâmetros meteorológicos estão diretamente associados a dispersão de poluentes, pois em períodos com precipitação pluvial ou alta umidade do ar, os resultados obtidos foram inferiores aos de períodos de seca, em ambos os estudos.

Na Figura 42 é possível observar a nuvem de poeira formada pelo material ao ser adicionado no britador, a fim de iniciar o processo de britagem. Como durante todo o percurso o material segue pelo britador por constituintes – bocal receptor, transportador de correias e peneira vibratória – que não possuem nenhum tipo de fechamento, isto acarreta em forte dispersão de material particulado na atmosfera. Na Figura 43 observa-se que não apenas no momento de alimentação do britador é gerado alto índice material particulado, mas também durante todo o processo de britagem, é possível observar índices muito elevados de emissão de poluentes.



**Figura 42 - Alimentação do britador para beneficiamento dos resíduos de construção e demolição**



**Figura 43 - Processo de beneficiamento do agregado reciclado de resíduos de construção e demolição**

Apesar de o material particulado resultar em um impacto significativo, na usina de reciclagem de RCD, os danos ocasionados podem ser mitigados com a implantação de equipamentos de contenção de material pulverulento, como aspersores de irrigação, comumente utilizados em usinas de grande porte. Entretanto, a utilização de aspersores, aumenta o consumo de recursos naturais deste empreendimento, pois além da utilização da água, para conter o material, o equipamento de aspersão necessita de eletricidade para o seu funcionamento ou a dispersão deve ser realizada por caminhões, que conseqüentemente, são movidos a óleo diesel, gerando também emissões de CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>. Outra medida mitigadora seria o encerramento das partes do britador que dispersam o material particulado, por meio de alterações na estrutura do equipamento.

A concentração de material particulado coletado na jazida ultrapassou os limites aceitáveis pela OMS devido a não ocorrência de chuvas e a velocidade do vento ter atingido 4,8 m/s, fazendo com que o material particulado, disperso pela movimentação de areia e dos veículos de abastecimento, fosse coletado pelo equipamento.

Ao analisar ambos os processos, é possível afirmar que o alto índice de material particulado gerado na usina de reciclagem de RCD pode ser reduzido com a aplicação de um sistema de despoeiramento com contenção de material particulado. Enquanto na jazida, não há necessidade de contenção do material particulado, pois após a secagem, único momento que poderia ser observada a dispersão do material, a areia segue para utilização, devido à alta demanda de consumo apresentada pela construção civil.

### **5.3.2 Taxa de sulfatação**

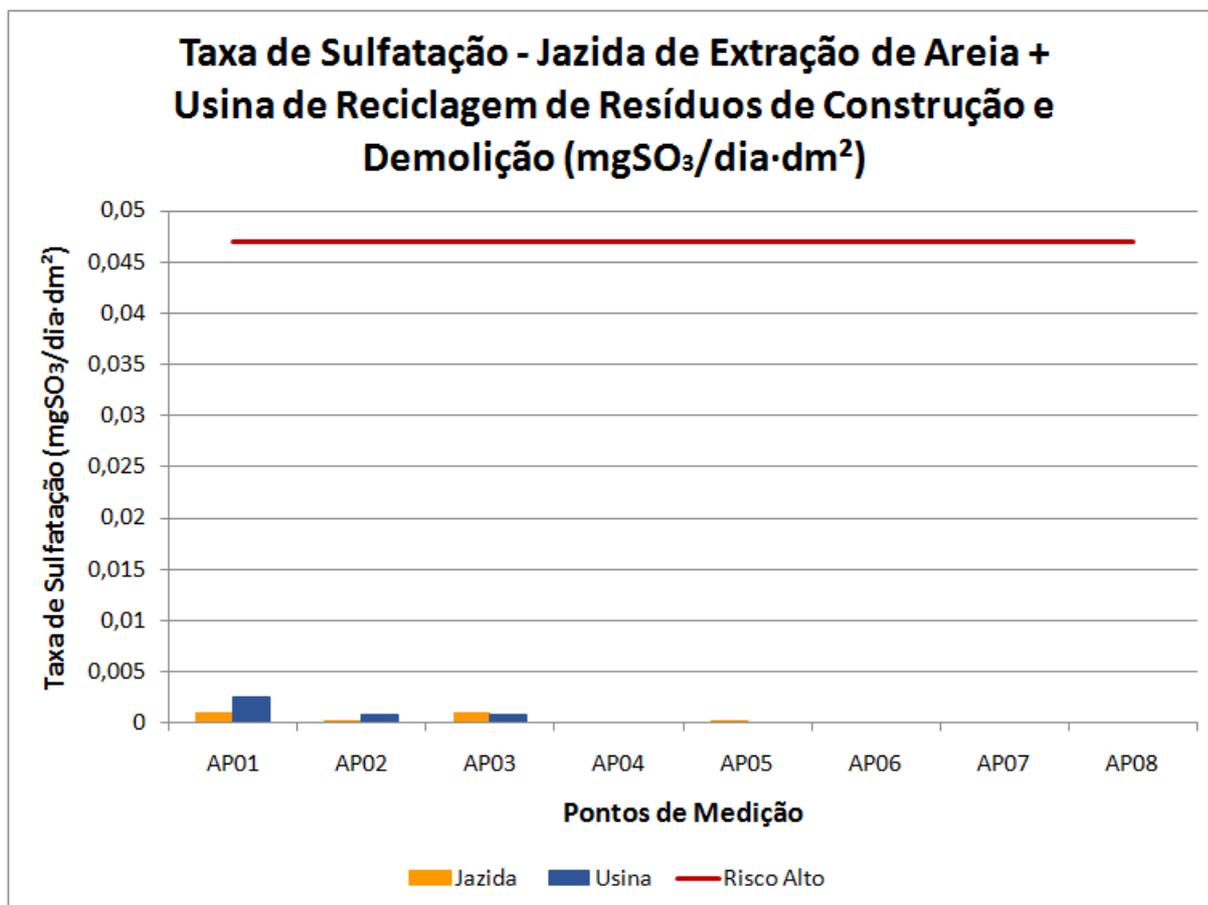
Para a determinação da taxa de sulfatação foram dispostos oito amostradores passivos, contendo duas placas de Petri cada, na jazida de extração de areia e oito na usina de reciclagem de RCD. A fim de averiguar a qualidade do ar, frente às concentrações de SO<sub>2</sub> presentes na atmosfera, resultante principalmente da combustão de óleo diesel, combustível de grande utilização em ambos os empreendimentos analisados.

Por meio dos resultados analisados no espectrofotômetro, construiu-se a curva de calibração das soluções em análise.

Dos oito amostradores locados, apenas o JAP04 não encontrava-se no local de instalação (devido a furto do equipamento), resultando na perda destas amostras, este amostrador passivo havia sido instalado junto ao portão de acesso do empreendimento.

Nos resultados de Branco, das amostras UAP04, UAP05, UAP06, UAP07 e UAP08, foram encontrados valores negativos, conseqüentemente, para estes resultados admitiu-se o valor de zero. Cabe salientar que ao retirar as amostras dos locais de medições, observou-se que os filtros encontravam-se úmidos, com aparência de oleosidade, a mesma condição foi observada no manuseio das amostras de Branco.

A Figura 44 apresenta os resultados de determinação da taxa de sulfatação obtidos na jazida de extração de areia e na usina de reciclagem de RCD, em comparação com a classificação de risco apresentada por Rodrigues (2009), considerando valores acima de 0,047 mgSO<sub>3</sub>/dia·dm<sup>2</sup>, como classificações de risco alto (A curva de calibração e os demais dados da taxa de sulfatação encontram-se no Apêndice 05).



**Figura 44 - Taxas de sulfatação encontradas na jazida de extração de areia e na usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição**

Mediante a observação dos resultados obtidos pode-se afirmar que os empreendimentos analisados, neste estudo de caso, não se enquadram nas classificações de risco determinadas por Rodrigues (2009), pois todos os valores apresentaram-se muito abaixo do valor mínimo, de 0,016 mgSO<sub>3</sub>/dia·dm<sup>2</sup>.

Esta análise indica que para futuros estudos de caso em jazidas de extração de areia ou usinas de reciclagem de RCD, não há necessidade de se realizar a determinação da taxa de sulfatação (SO<sub>3</sub>), principalmente, por meio de amostradores passivos para dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>). Pois, na avaliação realizada nos estudos em questão foi comprovado que estes empreendimentos não produzem poluição atmosférica por SO<sub>2</sub>, resultante da combustão do óleo diesel.

Cabe ressaltar que durante os 29 dias, em que os amostradores estiveram expostos na usina, apenas em 15 dias o britador foi utilizado para beneficiar o resíduo, durante uma jornada total de 61 h de funcionamento. Porém durante este período ocorreu o recebimento normal de resíduos, em torno de 35 caminhões por dia com carregamento de 5,00 m<sup>3</sup> cada.

(Dados referentes às datas de coletas, condições climáticas e períodos dos processos produtivos, encontram-se no Apêndice 04).

Com relação ao funcionamento da usina é possível afirmar que o período analisado condiz com o tempo de operação do britador, pois segundo informações prestadas pelo responsável, o equipamento não é acionado todos os dias da semana e raramente permanece em funcionamento durante o período da manhã e da tarde, em um mesmo dia.

Enquanto na jazida, durante o período de exposição dos amostradores, ocorreu uma situação atípica. Entre os dias 24 e 31 de dezembro de 2015 ocorreram fortes chuvas na região que acabaram acarretando em uma enchente com duração de dois dias. Como o rio só apresentou condições navegáveis na metade da primeira semana de janeiro de 2016, a instalação dos amostradores pôde ser realizada no dia 06 de janeiro de 2016. Por ser um rio relativamente estreito e com profundidade em torno de 10 m, assim como, um longo período de chuva ocasiona uma enchente, um período em condições de seca, resulta em uma baixa extrema no nível do rio, situação observada no dia 19 de janeiro de 2016, em umas das visitas para coleta de materiais (Figura 45), visivelmente diferente ao seu nível habitual para a realização de dragagem da areia (Figura 46).



**Figura 45 - Nível do rio durante o período de seca**

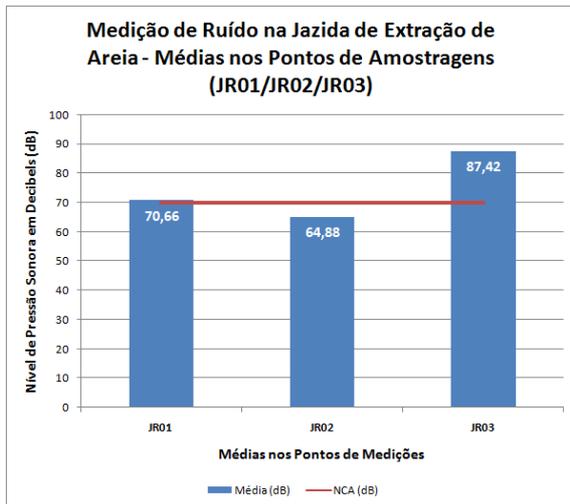


**Figura 46 - Nível do rio em condições navegáveis**

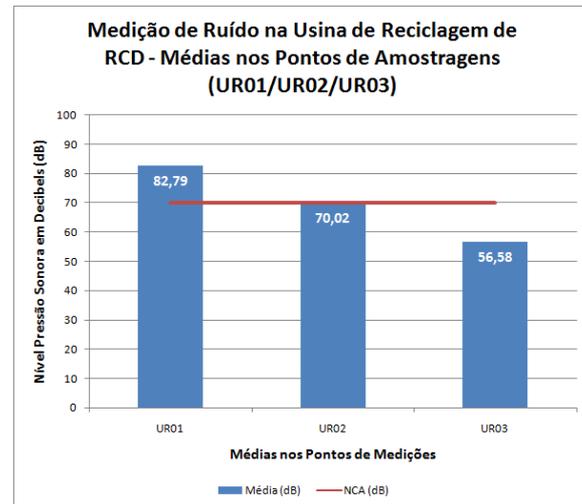
Devido a estas bruscas variações na profundidade do rio, durante o período de exposição dos amostradores, foram realizadas extrações apenas em três dias de coleta, o que consequentemente, não gerou um resultado condizente com o período habitual de extração durante um mês. Apesar do período de seca não permitir a dragagem da areia, pôde-se manter o carregamento e a comercialização do material já extraído.

### 5.3.3 Ruído

A Figura 47 apresenta a média dos resultados obtidos nas medições de nível de pressão sonora na jazida de extração de areia. Enquanto, a Figura 48 apresenta os dados obtidos nas medições realizadas na usina de reciclagem de RCD (Os dados coletados em campo encontram-se no Apêndice 06).



**Figura 47 - Medição do nível de pressão sonora na jazida de extração de areia (dB)**



**Figura 48 - Medição do nível de pressão sonora na usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição (dB)**

A partir da comparação das Figura 47 e Figura 48, percebe-se que os níveis de ruídos na jazida de extração de areia e na usina de reciclagem de RCD são muito semelhantes. Nos dois processos, em um dos pontos analisados o ruído medido foi superior ao nível máximo, apresentado pela NBR 10151 (2000), indicado para zona industrial, um ponto abaixo e um ponto com nível de ruído muito próximo ao limite da norma.

Na jazida de areia, o ponto JR02 foi localizado na margem do rio, entre os pontos JR01 e JR03. Pode-se afirmar que a densa vegetação do local explica o valor de ruído no nível mais baixo. Os ruídos medidos no ponto JR01 referem-se ao peneiramento da areia, e ultrapassou 0,5% o limite definido pela legislação. O ponto JR03 apontou os níveis mais altos de ruídos, excedendo 12,2% o parâmetro máximo pelo fato de estar locado na área externa do barco, próximo ao motor responsável pela sucção de areia.

Durante todo o processo de extração da areia, nas dependências da embarcação deve haver o operador responsável, que sofre os danos ocasionados pelo elevado nível de pressão sonora. Cabe salientar que é essencial a utilização de protetores auriculares, para minimizar os danos causados à saúde do operador durante o processo extrativo. No

empreendimento em análise, é possível afirmar que o operador da draga de extração, utiliza os equipamentos de proteção individuais (EPI's) adequados para minimizar os impactos ocasionados pelo nível de pressão sonora.

Na usina, o primeiro ponto de medição encontrava-se junto ao britador fixo (UR01 – usina ruído 01), o segundo (UR02) foi locado junto à área externa do escritório, onde há maior índice de circulação de seres humanos, e a terceira medição foi realizada próximo ao acesso principal do empreendimento (UR03).

Apenas o ponto de medição localizado junto ao acesso da usina de reciclagem de RCD atende aos limites estabelecidos pela norma NBR 10151 (2000). O ponto de medição UR02, localizado na área de maior fluxo de seres humanos, junto à área externa do escritório, excedeu os limites estabelecidos pela legislação em 0,03%, ou seja, não causa danos tão significativos à saúde dos seres humanos. Entretanto, próximo ao britador, durante o funcionamento do equipamento, o nível de pressão sonora excede o valor estabelecido pela legislação em 18,27%, podendo acarretar em danos severos à audição, quando exposto por um longo período de tempo e com a frequência que este tipo de atividade exige.

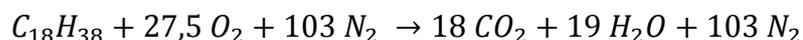
Cabe ressaltar, que o operador da pá-carregadeira utiliza protetores auriculares, do tipo concha, além de o equipamento ser provido de cabine fechada, que minimiza o nível de pressão sonora resultante do processo de britagem.

### **5.3.4 Avaliação referente ao transporte**

Com a identificação das fontes de obtenção dos agregados (naturais e artificiais) foram traçados cenários para averiguar quais as distâncias – jazida à obra e usina à obra – torna viável a utilização de um agregado ou outro. Para esta etapa foram aplicadas situações reais, utilizando os dados obtidos anteriormente, referentes à localização de jazidas e usinas de reciclagem, e faixas de distâncias pré-definidas de 100, 200, 300 e 400 km.

Nesta etapa foram contabilizadas as emissões de CO<sub>2</sub> liberadas no meio ambiente durante os deslocamentos. Para obter a quantificação destas emissões foram utilizadas a reação estequiométrica de combustão completa do diesel e os seus valores de densidade, resultando no valor de massa de CO<sub>2</sub> emitido para cada m<sup>3</sup> de combustível consumido<sup>3</sup>.

Equações utilizadas:



---

<sup>3</sup> Cabe salientar que a reação estequiométrica apresenta o resultado para as condições ideais de utilização do diesel, não levando em consideração os valores de massa do caminhão utilizado e do material transportado.

$$1 \text{ mol diesel} \rightarrow 18 \text{ mols } CO_2$$

$$(18 \times 14 + 38 \times 1)g/mol \rightarrow \text{massa molar diesel}$$

$$(14 \times 1 + 2 \times 16)g/mol \rightarrow \text{massa molar } CO_2$$

$$1 \text{ mol } (18 \times 14 + 38 \times 1)g/mol \rightarrow 18 \text{ mols } (14 \times 1 + 2 \times 16)g/mol \text{ } CO_2$$

$$290 \text{ g diesel} \rightarrow 828 \text{ g } CO_2$$

$$\text{Massa específica } (\rho) \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Massa específica } (\rho) \text{ diesel} \rightarrow 820 \text{ a } 850 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidade} = \frac{\rho_{\text{diesel}}}{\rho_{\text{água}}}$$

Optou-se por adotar 835 kg/m<sup>3</sup> como massa específica do diesel, por ser esta a média entre valor máximo e o mínimo, resultando em uma densidade de 0,85.

$$290 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \div 835 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 3,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ diesel}$$

$$828 \text{ g } CO_2 \rightarrow 8,28 \cdot 10^{-4} \text{ t } CO_2$$

$$8,28 \cdot 10^{-4} \text{ ton } CO_2 \div 3,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ diesel} = 2,38 \text{ t } CO_2/\text{m}^3 \text{ diesel}$$

Ao utilizar o valor médio da massa específica do diesel, para a realização dos cálculos, obtém-se 2,38 t CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> diesel, ou seja, para cada m<sup>3</sup> de diesel consumido são geradas 2,38 t de CO<sub>2</sub>.

A FEPAM (2010) apresenta como resultante da equação estequiométrica, o valor 2,683 t CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, porém não apresenta o detalhamento da equação desenvolvida. Já o Departamento de Mudanças Climáticas do Ministério do Meio Ambiente apresenta o valor 2,671 kg CO<sub>2</sub>/L de diesel consumido. Optou-se por utilizar como base de cálculo o valor apresentado pelo Ministério do Meio Ambiente, averiguando as emissões nos cenários estudados mediante a utilização do valor 2,671 kg CO<sub>2</sub>/L de diesel.

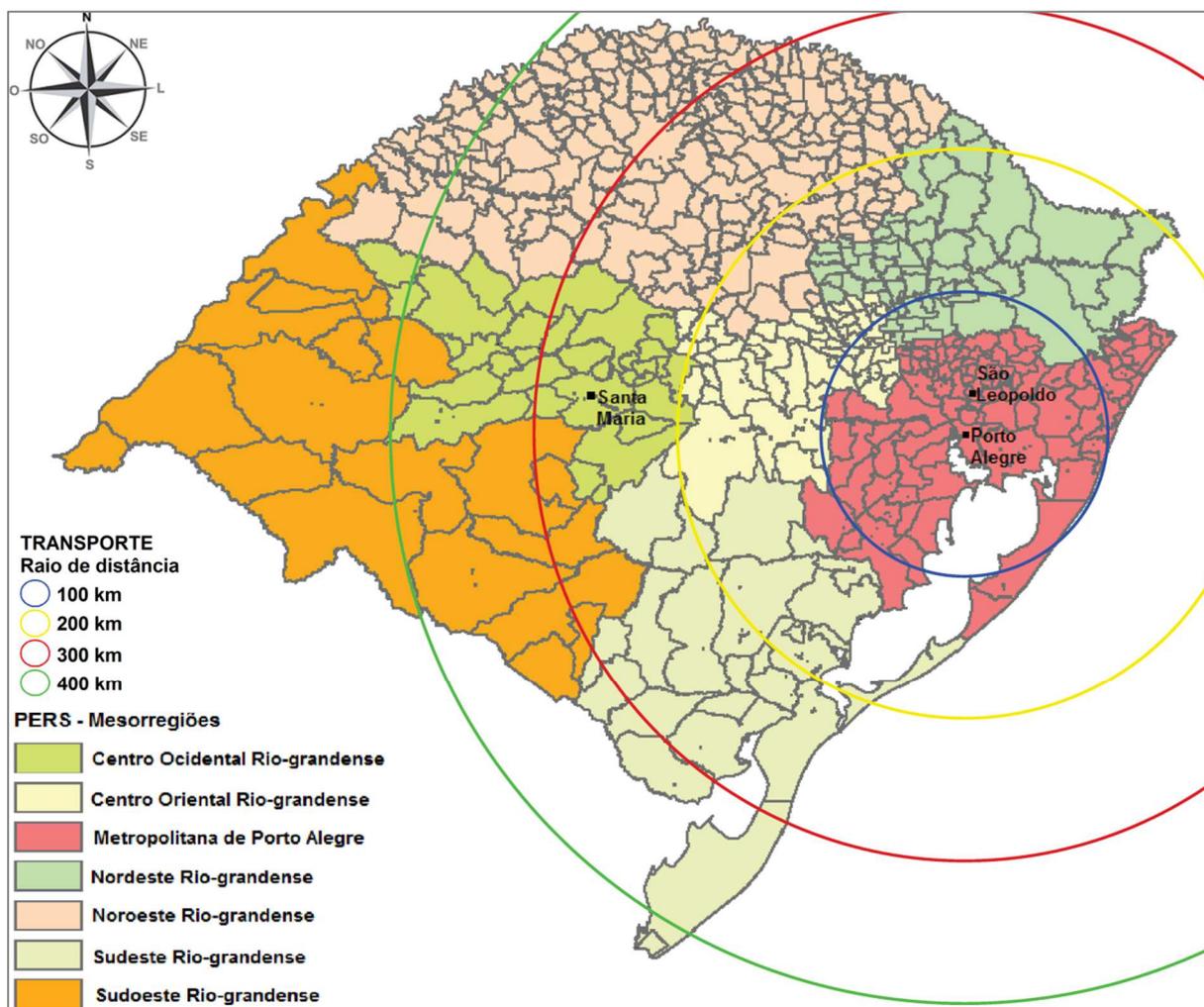
Considerou-se o consumo médio de 3,4 km/L de diesel para caminhões pesados, valor apresentado pelo Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (2013), e os valores referências de 2,671 kg CO<sub>2</sub>/L diesel e 3,4 km/L diesel, em um percurso de 100 km percorridos serão consumidos 29,41 L de diesel e, conseqüentemente, serão emitidos 78,56 kg CO<sub>2</sub>. Na Tabela 27 estão apresentados os dados

referentes às emissões de CO<sub>2</sub>, relacionados à quilometragem percorrida por um caminhão movido a óleo diesel, utilizando como referência as faixas de 100, 200, 300 e 400 km.

**Tabela 27 - Emissão de CO<sub>2</sub> por km percorrido**

Percorso (km)	100	200	300	400
Consumo combustível (L)	29,41	28,82	88,23	117,64
Emissão de CO <sub>2</sub> (kg)	78,56	157,28	235,66	314,22

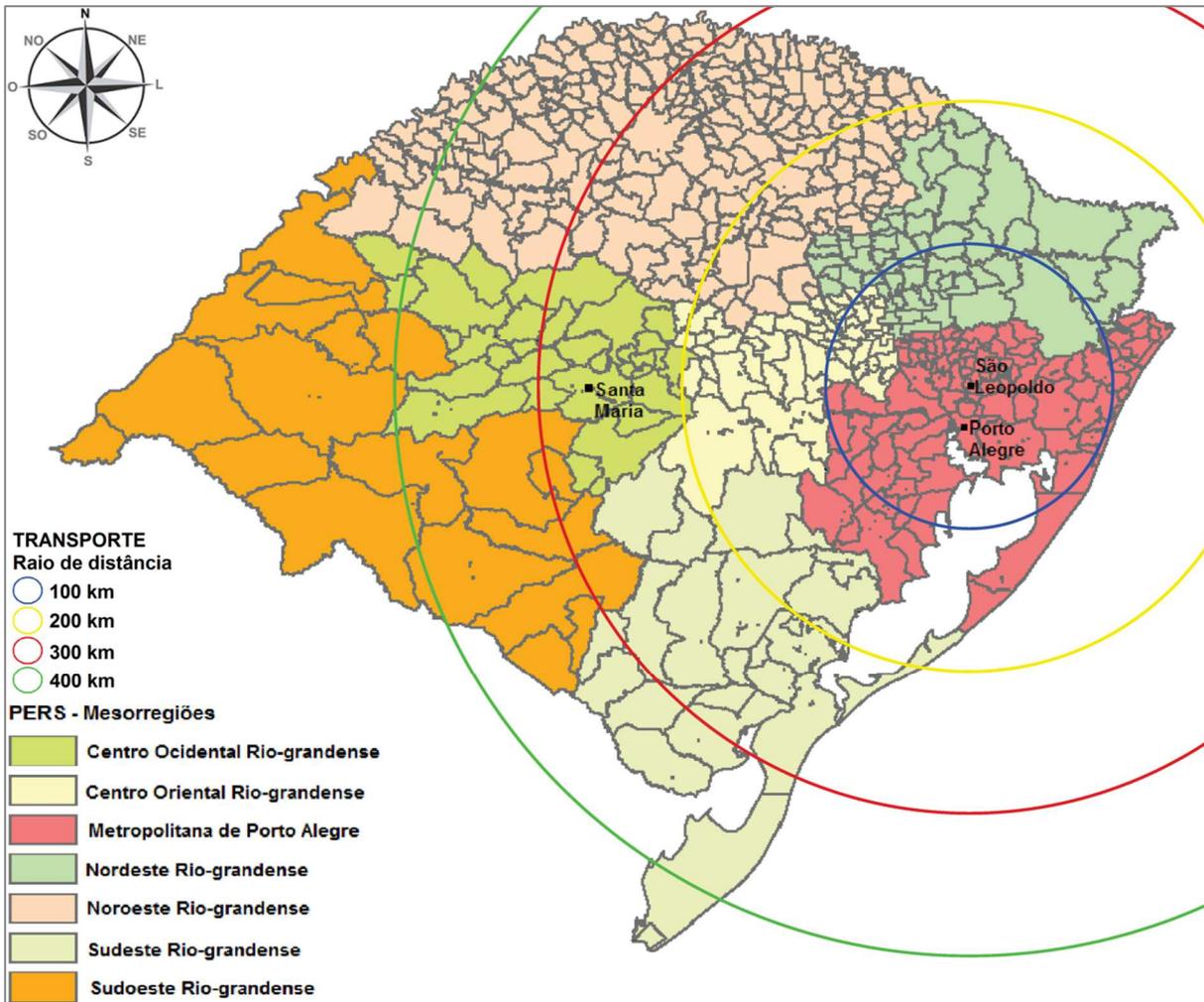
Nas imagens a seguir estão apresentadas as faixas de abrangência, utilizando os raios de distâncias pré-definidas (100, 200, 300 e 400 km), com origem nas cidades que possuem usinas de reciclagem de RCD no Estado do Rio Grande do Sul. Na Figura 49 estão apresentadas as faixas de distâncias, tendo como ponto de partida a cidade de Porto Alegre.



**Figura 49 - Faixas de distâncias de transporte com origem na cidade de Porto Alegre**

Fonte: Elaborado em Arcgis, Paint e Autocad (2015)

Na Figura 50 estão marcadas as faixas de distância seguindo como ponto de origem a usina localizada na cidade de São Leopoldo.

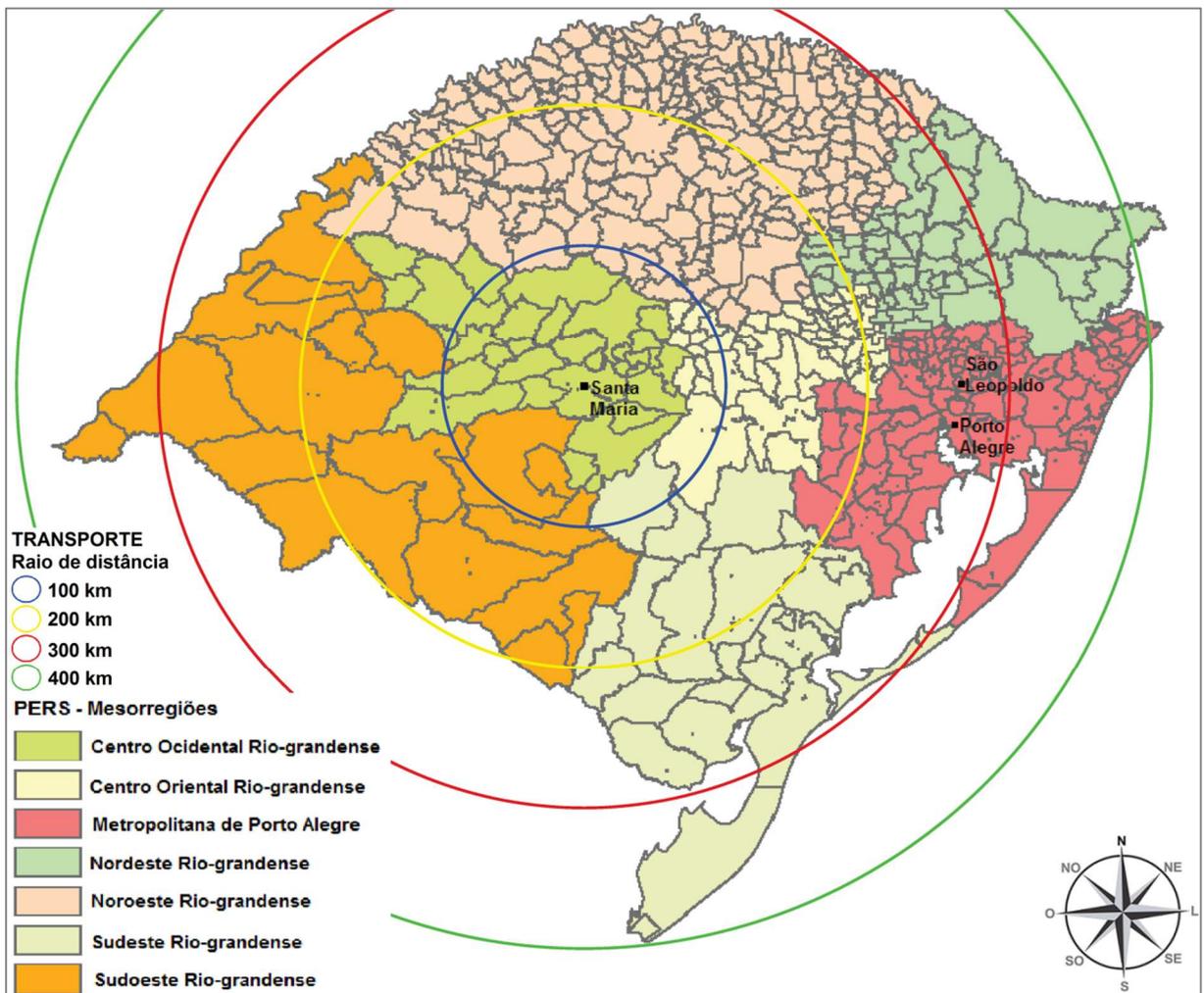


**Figura 50 - Faixas de distâncias de transporte com origem na cidade de São Leopoldo**

Fonte: Elaborado em Arcgis, Paint e Autocad (2015)

Ao observar a Figura 49 e a Figura 50 fica evidente a incapacidade de atendimento de todo o Estado do Rio Grande do Sul pelas usinas que encontram-se em Porto Alegre e São Leopoldo, considerando uma faixa de distância de 400 km do seu ponto de origem. Em ambos os casos, em torno de 50 % da Mesorregião Sudoeste Rio-grandense não seria atendida neste raio de distância, apenas se a faixa de distância abrangesse um raio de 500 a 700 km, o que torna altamente inviável a utilização do agregado reciclado de RCD, devido ao elevado consumo de combustível e as grandes emissões geradas. Já o extremo Oeste das Mesorregiões Centro Ocidental e Noroeste Rio-grandense poderiam ser atendidos com a ampliação do raio de distância para 500 km, que consequentemente, resultaria em um consumo de 147,05 L de diesel e de 392,77 kg de CO<sub>2</sub> emitidos na atmosfera.

Na Figura 51 estão detalhados os raios de distância pré-definidos, utilizando a cidade de Santa Maria como origem. Cabe ressaltar, que os pontos marcados no mapa, não correspondem exatamente à localização das usinas.



**Figura 51 - Faixas de distâncias de transporte com origem na cidade de Santa Maria**

Fonte: Elaborado em Arcgis, Paint e Autocad (2015)

Ao equiparar os três mapas apresentados anteriormente, é possível observar que para um consumidor do extremo Sul do Estado torna-se mais vantajosa a obtenção do agregado natural, do que o deslocamento de uma das três usinas existentes no Estado até o local de utilização do agregado. Levando em consideração que o trajeto percorrido de uma destas usinas até a obra acarreta em um deslocamento de 400 km, haveria um consumo de 117,64 L de combustível e 314,22 kg de CO<sub>2</sub> emitidos na atmosfera apenas no trajeto de entrega do material, ou seja, para o caminhão entregar o material e retornar a usina seriam consumidos 235,28 L de combustível e gerados 628,44 kg de CO<sub>2</sub>. Conseqüentemente, não

apenas para o consumidor, mas também para o meio ambiente, a escolha mais adequada nesta situação seria a utilização do agregado natural.

Em contraponto, a Mesorregião Nordeste Rio-grandense é a única que não apresenta áreas de extração de areia no Rio Grande do Sul. Partindo do princípio que toda areia consumida nesta região é extraída nas Mesorregiões adjacentes, Metropolitana de Porto Alegre, Noroeste Rio-grandense e Centro Oriental Rio-grandense, para estudo de caso, pressupôs-se a instalação de uma usina de reciclagem de RCD na Mesorregião Nordeste, a fim de suprir as necessidades da população local. Com este intuito foram traçados os raios de distâncias tendo como origem a cidade de Nova Prata (Figura 52). A escolha deste município deve-se ao fato de que em um raio de 100 km, o equivalente a 80% da Mesorregião Nordeste e parte da Noroeste, desprovida de jazidas, podem ser atendidas por esta usina, sem resultar em altos índices de emissões de CO<sub>2</sub>. Partindo do local de origem desta usina, em um raio de distância de 200 km, toda a Mesorregião Nordeste pode ser suprida com o agregado reciclado obtido.

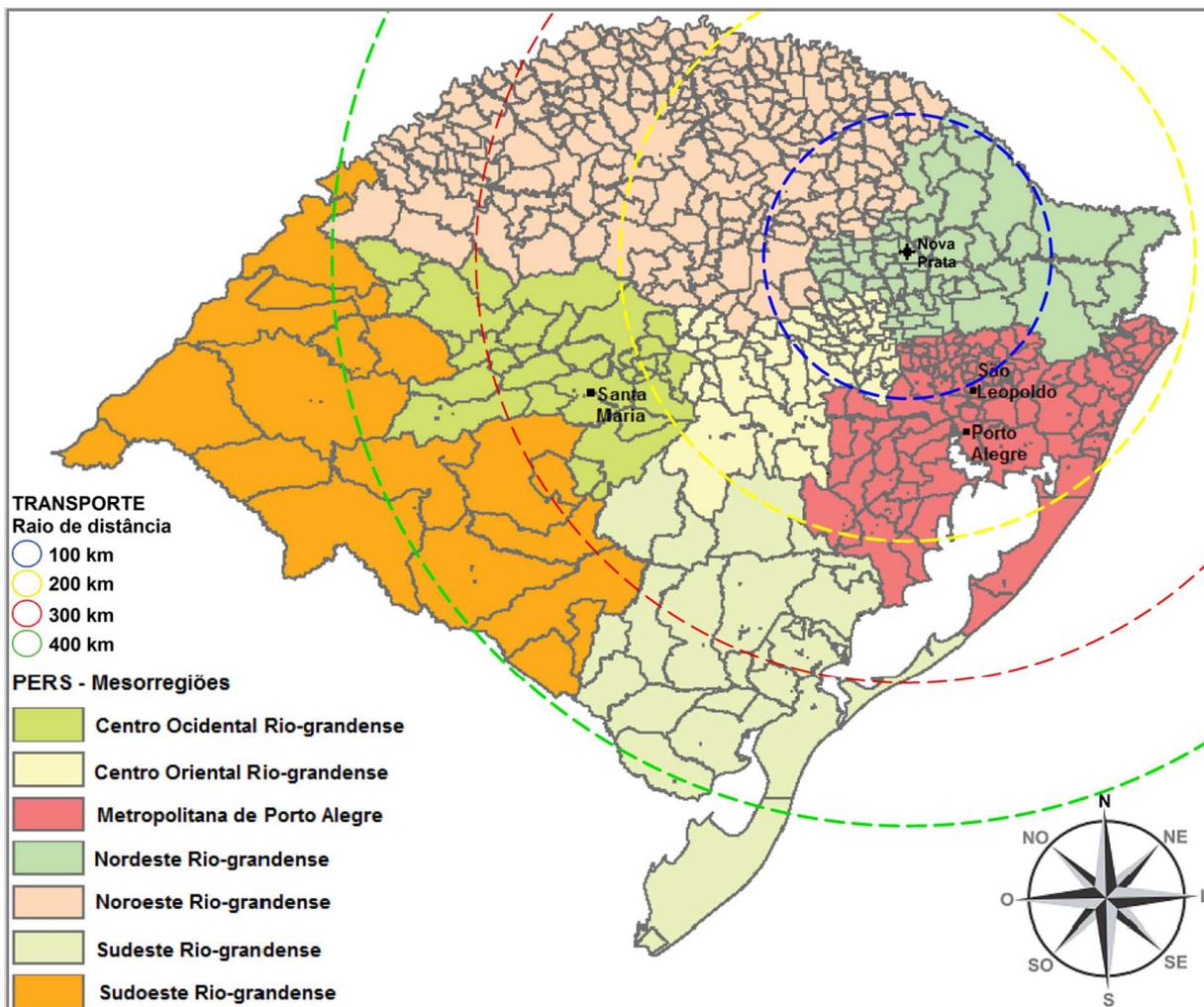


Figura 52 - Raios de distâncias com origem da cidade de Nova Prata, cenário de implantação da usina de reciclagem de RCD para estudo de caso

Fonte: Elaborado em Arcgis, Paint e Autocad (2015)

Em uma situação como a da Mesorregião Nordeste, a viabilização de uma usina de reciclagem de RCD pode ser considerada algo de grande importância, pois além de facilitar a obtenção de agregados, reduz os custos e os poluentes resultantes das grandes distâncias percorridas para o descarte do resíduo.

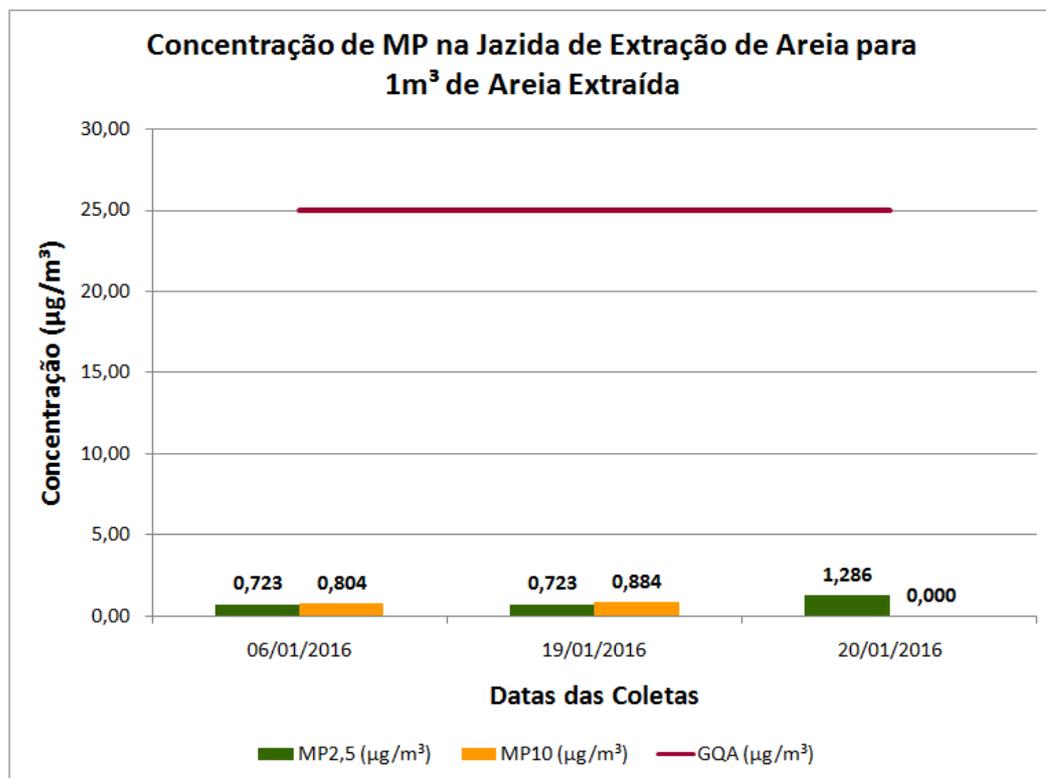
### 5.3.5 Unidade Funcional

A partir dos resultados obtidos foi calculada a unidade funcional, averiguando as emissões de material particulado, taxa de sulfatação e ruído para 1,00m<sup>3</sup> de material produzido.

Devido à falta de informações, com relação ao volume de material produzido durante as medições, não foi possível averiguar os dados referentes à produção do agregado reciclado de RCD.

Com relação à extração de areia, conforme dados fornecidos pelo proprietário da jazida, diariamente são extraídos 75,00m<sup>3</sup> e comercializados 36,00m<sup>3</sup>.

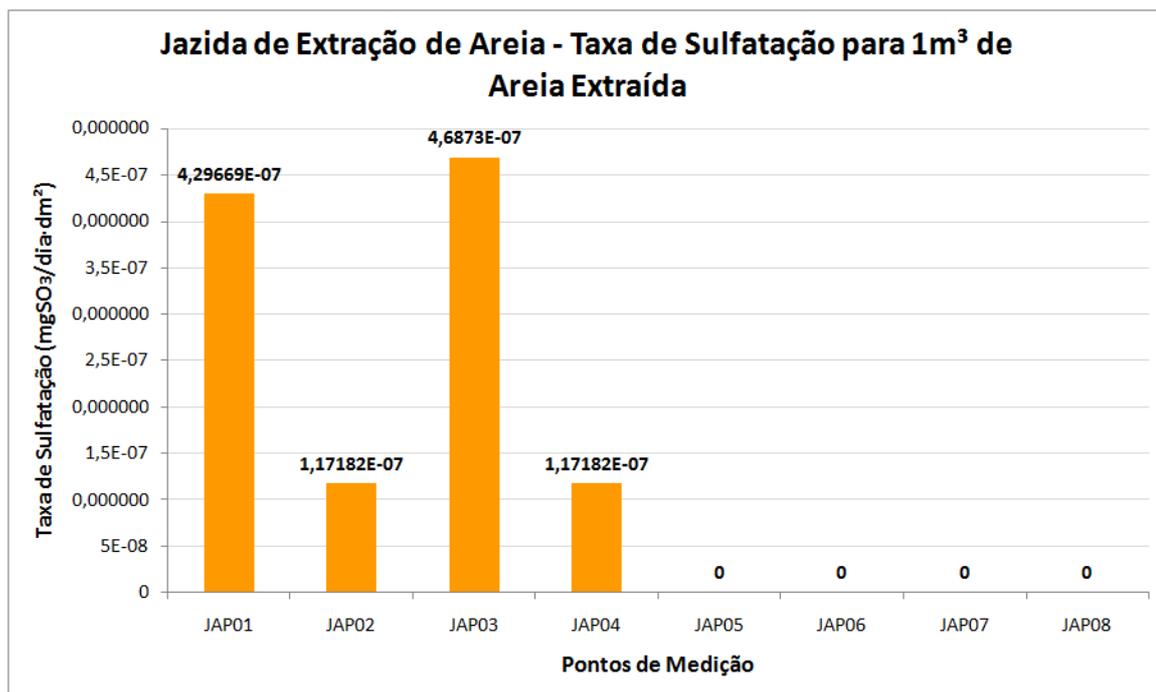
Mediante a situação atípica, devido à ocorrência de fortes chuvas e o período de seca, não foram obtidos resultados de material particulado, referentes ao processo de extração de areia, apenas dados relacionados ao carregamento do material. Na Figura 53 são apresentados os resultados de concentração de material particulado referentes a 1,00m<sup>3</sup> de areia comercializada.



**Figura 53 - Concentração de material particulado para 1m<sup>3</sup> de areia extraída (µg/m<sup>3</sup>)**

A partir da Figura 53 pode-se observar que todos os resultados estão abaixo dos valores aceitáveis pela OMS. Porém, cabe salientar que cada caminhão transporta 12,00m<sup>3</sup> de areia por viagem.

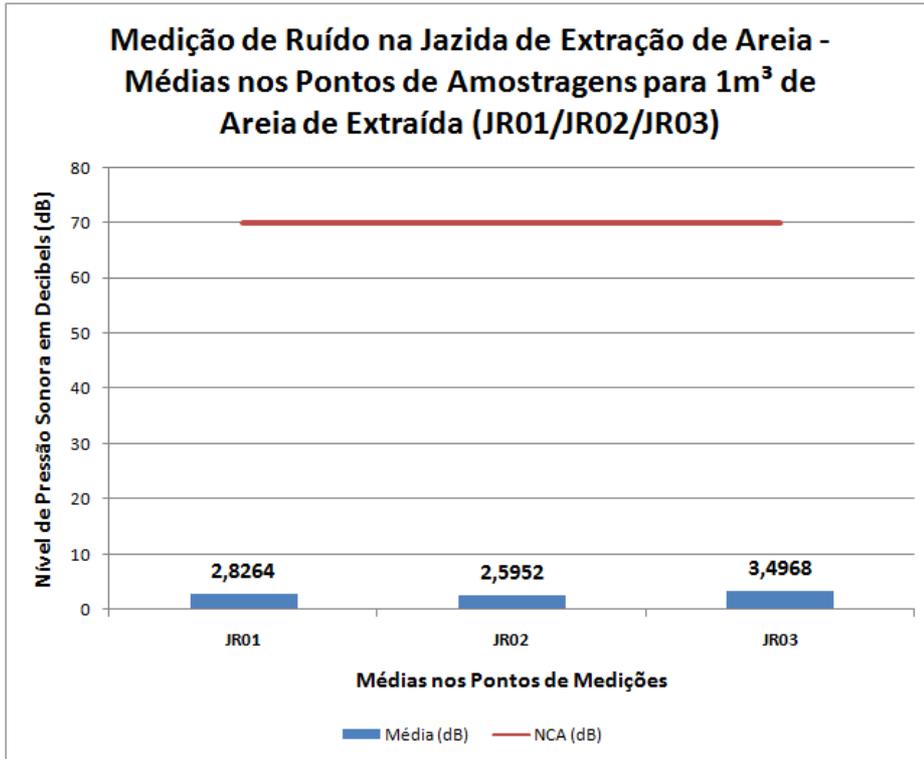
Na Figura 54 estão apresentados os valores referentes à determinação da taxa de sulfatação em cada um dos pontos de medições para a unidade funcional de 1,00m<sup>3</sup> de areia extraída.



**Figura 54 - Taxa de sulfatação referente à 1m<sup>3</sup> de areia extraída**

Levando em consideração que durante o período de medição da taxa de sulfatação ocorreram apenas três dragagens realizou-se os cálculos para obtenção destes dados proporcionais, a fim de obter o valor referente à apenas 1,00m<sup>3</sup> de areia extraída. Pode-se observar que todos os valores obtidos ficaram abaixo do valor referência de 0,047 mgSO<sub>3</sub>·dm<sup>-2</sup>·dia<sup>-1</sup>, apresentado por Rodrigues (2009), como classe de risco alto do nível de poluição atmosférica por enxofre.

Na Figura 55 estão apresentados os resultados de nível de pressão sonora referentes a 1,00m<sup>3</sup> de areia extraída.



**Figura 55 - Medição de ruído referente à 1m<sup>3</sup> de areia extraída**

Todos os dados obtidos apresentaram-se abaixo dos 70 dB estabelecidos como limite na legislação vigente.

Na Tabela 28 estão apresentados os resultados obtidos neste estudo de caso, utilizando como referência de cálculo 1,00m<sup>3</sup> de areia extraída.

**Tabela 28 - Parâmetros analisados neste estudo de caso, utilizando como unidade funcional 1,00m<sup>3</sup> de areia extraída**

Areia (m <sup>3</sup> )	Concentração de material particulado (µg·m <sup>-3</sup> )	Taxa de sulfatação (mgSO <sub>3</sub> ·dm <sup>-2</sup> ·dia <sup>-1</sup> )	Nível de pressão sonora (dB)
1,00	0,723	4,29669·10 <sup>-7</sup>	2,8264

Cabe ressaltar que os dados apresentados referem-se a um empreendimento de pequeno porte, que realiza extração de areia em recurso hídrico, por meio de uma barçaça com capacidade de carga e transporte de 25 m<sup>3</sup> de areia, equipada com dois motores de 120 CVs cada, um responsável pela movimentação da barçaça até os locais de extração e o outro para realizar a sucção do material.

## CONCLUSÃO

A partir dos dados levantados referentes à localização de jazidas de areia e usinas de reciclagem de RCD no território brasileiro, observa-se 8.573 processos de extrações de areia, em uma área superficial de 291.175,83 ha, que representa 0,03% do seu território, com consumo médio anual de 673.741.863 toneladas de agregados. Em termos de usina, levantou-se um número de 16 unidades em operação, somando a capacidade total de reciclagem de 375 t/h. Tomando como base o montante de 30.888 milhões de RCD coletado no ano de 2013 e a capacidade de processamento atual das usinas de reciclagem brasileiras, seria necessária a implantação de mais 54 usinas, ou seja, as usinas existentes atualmente, não apresentam capacidade de processamento para o total de resíduos gerados.

Observa-se ainda uma grande concentração de jazidas e usinas na Região Sudeste, em comparação às demais, que pode ser explicada por ser esta a Região que representa grande influência no cenário econômico nacional, abrigando o principal centro financeiro do país, e apresentando também o Estado com maior número de habitantes, consumo de agregados e, conseqüentemente, o maior PIB (Estado de São Paulo). Chama a atenção o grande número de Estados Brasileiros onde não há instalação de usinas para reciclagem de RCD.

Já no Estado do Rio Grande do Sul são observados 437 processos de extração de areia, com possibilidade de extração da matéria-prima em uma área superficial de 11.641,04 ha, correspondente a 0,04% da área total do Estado. Na Região Sul encontram-se apenas três usinas de reciclagem de RCD, estando todas estas localizadas no Estado do Rio Grande do Sul. A Mesorregião Metropolitana de Porto Alegre abriga duas usinas de reciclagem de RCD, 44% dos processos de extração de areia e o maior índice populacional do Estado.

Com a análise de significância dos impactos ambientais, observou-se em ambos os processos, emissões de material particulado, de CO<sub>2</sub> e de ruídos. O processo produtivo do agregado natural, assim como, o do agregado reciclado, apresentaram classificação crítica na análise de significância para alteração da biodiversidade e a redução da camada de ozônio, ou seja, estes impactos acarretam em danos irreversíveis ao meio ambiente. Sendo que na análise do processo de extração de areia também foram considerados críticos os danos ocasionados à fauna e flora e o efeito estufa.

Com relação à qualidade do ar, a concentração de material particulado apresentou-se acima dos limites aceitáveis pela OMS (25 µg/m<sup>3</sup>). Na jazida, o maior índice obtido apresentou 85,2% dos níveis aceitáveis. Enquanto na usina, dentre as três coletas

realizadas, uma apresentou-se seis vezes acima dos níveis aceitáveis (545,2%) e a outra 48 vezes (4.702,88%).

Todos os resultados obtidos com a determinação da taxa de sulfatação apresentaram-se abaixo da classificação de risco alto. Ou seja, comprovou-se que ambos os empreendimentos não geram emissões significativas de SO<sub>2</sub>.

Nas medições de nível de pressão sonora, dos três pontos analisados em ambos os empreendimentos, dois apresentaram-se acima dos 70 dB, indicados como limite pela legislação, para área industrial. Os índices mais elevados foram observados junto ao britador e nas dependências da embarcação, ou seja, nos equipamentos responsáveis pelas principais etapas analisadas nestes estudos de caso.

Os impactos medidos requerem atenção em termos de fiscalização destes empreendimentos, exigindo adequação aos limites estabelecidos pela legislação, visando à preservação do meio ambiente, a saúde e o bem-estar dos operadores.

Com todas as avaliações realizadas neste estudo pôde-se concluir que para utilização tanto do agregado reciclado de RCD como do agregado natural torna-se imprescindível a análise de variáveis referentes às emissões atmosféricas, consumo de recursos naturais não-renováveis e distâncias percorridas.

## **SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Para trabalhos futuros sugere-se a realização de uma avaliação do ciclo de vida completa do processo produtivo do agregado natural e do processo produtivo do agregado reciclado de RCD, contabilizando todos os recursos consumidos e todas as emissões geradas.

Sugere-se também, a realização de um levantamento das usinas de reciclagem de RCD no Brasil, com a localização exata das usinas e a apresentação dos tipos de equipamentos utilizados.

É necessário estudar um número maior de usinas de extração de areia natural e de agregados reciclados, em tamanhos diferentes, e em regiões com maior índice de extração.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI. **Agregados minerais para obras de construção civil e infraestrutura nas principais regiões metropolitanas do Brasil: diagnóstico e cenários da cadeia produtiva, com seus desafios e oportunidades.** Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Brasília, 2012. Disponível em: <http://anepac.org.br/wp/wp-content/uploads/2011/05/ABDI-AGREGADOS-MINERAIS-RELATORIO-01.pdf> Acesso em: 13 de fevereiro de 2015.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2013.** Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em: [http://www.abrelpe.org.br/noticias\\_detalhe.cfm?NoticiasID=2091](http://www.abrelpe.org.br/noticias_detalhe.cfm?NoticiasID=2091) Acesso em: 27 de dezembro de 2014.

ALMEIDA, S. L. M., et al. Análise comparativa de tecnologia de processamento na reciclagem da fração mineral dos resíduos de construção e demolição. In: Encontro Nacional de Tratamento e Minérios e Metalurgia Extrativa – ENTMMME, 21, 2005, Natal. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM, 2005. p. 305-312.

ALMEIDA, Fábio. **Ação ilegal de dragas causa danos ao Rio Jacuí, no RS.** RBS TV, Rio Grande do Sul, janeiro de 2013. Disponível em: <http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2013/01/acao-ilegal-de-dragas-causa-danos-ambientais-ao-rio-jacui-no-rs.html> Acesso em: 18 de maio de 2016.

ALVES, Darlan Daniel; LEITES, Rosieli da Silva; OSÓRIO, Daniela Montanari Migliavacca Osório. Avaliação do material particulado grosso e fino em áreas urbanas e semi-urbanas da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, Brasil. In.: IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental – ABES, 2014, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre, 2014.

ANGULO, Sérgio Cirelli. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos.** 2005. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ANGULO, Sérgio Cirelli. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados.** 2000. 172f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 10151** – Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento, Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 14001** – Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 14040** – Gestão ambiental – Análise do ciclo de vida – Princípios e estruturas, Rio de Janeiro, 2001.

BRASIL. **Decreto nº 18.481, de 10 de dezembro de 2013.** Regulamenta a Lei nº 10.847, de 9 de março de 2010, que institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil no Município de Porto Alegre, estabelecendo as diretrizes, os critérios e os procedimentos para a Gestão de Resíduos da Construção Civil (RCCs) e dá outras

providências. Disponível em: <http://www.sinduscon-rs.com.br/wp-content/uploads/2013/12/Decreto-18481.pdf>. Acesso em: 26 de maio de 2014.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.sinir.gov.br/web/guest/plano-nacional-de-residuos-solidos> Acesso em: 26 de maio de 2014.

BRAUNBGART, Michael; MCDONOUGH, William. **Cradle to cradle: criar e reciclar ilimitadamente**. 1 ed. São Paulo, 2013.

CALEIRO, João Pedro. **São Paulo sobe 12 posições em ranking de centros financeiros**. Economia, Revista Exame, setembro de 2015. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/economia/noticias/sao-paulo-sobe-12-posicoes-em-ranking-de-centros-financeiros> Acesso em: 18 de maio de 2016.

CARDOSO, Manoel Juarez Simões. **Cartografia das atividades de extração de minerais utilizados na construção civil e qualificação do grau de degradação ambiental na Região de Manaus – AM**. 2008. 110f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2008.

CARVALHO JR, João Andrade de; MCQUAY, Mardson Queiroz. **Princípios de combustão aplicada**. Florianópolis, 2007.

CIGANA, Caio. **Estoque de areia na Grande Porto Alegre está perto do fim e ameaça obras**. ZH Economia, Rio Grande do Sul, maio de 2013. Disponível em: <http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/economia/noticia/2013/05/estoque-de-areia-na-grande-porto-alegre-esta-perto-do-fim-e-ameaca-obras-4145430.html> Acesso em: 29 de janeiro de 2015.

CORDEIRO, L. N. P. et al. Análise econômica de concreto produzido com agregado reciclado de concreto. In: Congresso Brasileiro do Concreto – CBC, 56, 2014, Natal. **Anais eletrônicos...** Natal: IBRACON, 2014.

COSTA, Wellington Vinicius Gomes da; OLIVEIRA, Edna Alves. Estudo e análise dos impactos da segregação de resíduos sólidos de obras em Belo Horizonte. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 30-36, 2011.

CRETATEC, 2014. **Resíduos de construção e demolição (RCD)**. Disponível em: [http://www.cretatec.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=56:residuos-de-construcao-e-demolicao&catid=29:wiki-residuos&Itemid=78](http://www.cretatec.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=56:residuos-de-construcao-e-demolicao&catid=29:wiki-residuos&Itemid=78) Acessado em 08 de setembro de 2014.

DIAS, Michele Ferreira. **Modelo para estimar a geração de resíduos na produção de obras residenciais verticais**. 2013. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2013.

DINIZ, Fernando. **Obras da copa do mundo podem parar por falta de areia no RS**. Terra, junho de 2013. Disponível em: <http://noticias.terra.com.br/brasil/cidades/obras-da-copa-do-mundo-podem-parar-por-falta-de-areia-no-rs,65b260719961f310VgnVCM20000099cceb0aRCRD.html> Acesso em: 18 de maio de 2016.

DNPM – PE, 2015. **Guia do minerador**. Disponível em: [http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/Guia/Guia\\_2.htm](http://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/Guia/Guia_2.htm) Acessado em 06 de outubro de 2015.

DNPM, 2015. Disponível em: Acesso em: 14 de janeiro de 2015.

DNPM. **Sumário mineral 2010.** Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assuntos/economia-mineral> Acesso em 18 de maio de 2016.

DNPM. **Sumário mineral 2013.** Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assuntos/economia-mineral> Acesso em 14 de janeiro de 2015.

EDINGER, Luciana Ramos; OSORIO, Daniela Montanari Migliavacca. Avaliação da qualidade do ar da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos através de amostradores passivos. In.: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2012, Goiânia. **Anais eletrônicos...** Goiânia, 2012.

EDWARDS, Brian. **O guia básico para a sustentabilidade.** 2 ed. Londres, 2005.

FARIAS, Izaura Pereira. **Proposta do modelo de gestão de resíduos da construção civil para a zona leste da cidade de Teresina – PI.** 2014. 229 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2014.

FEDUMENTI, Mariana Battisti. **Avaliação da influência da cinza de casca de arroz no comportamento de concretos com agregado reciclado de concreto em relação a propriedades mecânicas e de durabilidade, com ênfase no transporte de íons cloreto.** 2013. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2013.

FEPAM, 2010. **1º Inventário de emissões atmosféricas das fontes móveis do Estado do Rio Grande do Sul – Ano Base – 2009.** FEPAM – RS, Porto Alegre, 2010.

FEPAM, 2015. **Portaria FEPAM nº 93/2015** – Estabelece as definições e os critérios técnicos para os procedimentos de licenciamento ambiental referente às atividades de lavra de areia e cascalho no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

FERREIRA, Gilson Ezequiel; PEREIRA, Luana dos Santos. Mercados de agregados no Brasil. In: ALMEIDA, Salvador Luiz M. de; LUZ, Adão Benvindo da. **Manual de agregados para a construção civil.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. Cap. 1, p. 3-29.

FERREIRA, João Alberto; ANJOS, Luiz Antonio dos Anjos. Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais. **Caderno de saúde pública,** Rio de Janeiro, v. 17(3), p. 689-696, 2001.

GANGOLELLS, et al. Assessing concerns of interested parties when predicting the significance of environmental impacts related to the construction process of residential buildings. **Building and Environment,** Elsevier, v. 46, p. 1023-1037, 2011.

GOMES, Luciana Paulo. **Manual do sistema de gestão ambiental: NBR ISO 14001/2004 – Unisinos,** 1 ed. São Leopoldo, 2013. Disponível em: <http://www.minhaunisinos.br/sga>(Documento interno).

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2014. **PERS – Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul 2015-2034,** Porto Alegre, 2014.

GUACELLI, Paulo Anélio Garcia. **Substituição da areia natural por areia de britagem de rochas basálticas para argamassas de revestimento.** 2010. 171f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.

GHENO, Juliano. **Avaliação da taxa de sulfatação e material particulado na BR116 na Região Metropolitana de Porto Alegre (RS).** 2012. 73f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Química) – Universidade Feevale, Novo Hamburgo, 2012.

GUIO, Lidiane Bahiense. **Comentários aos regimes de autorização e concessão da exploração mineral**. 2012. Disponível em: <https://jus.com.br/> Acesso em: 13 de dezembro de 2015.

HOLDIS, A. et al. Confeção de tijolo com a utilização de resíduo da construção civil. In: Congresso Brasileiro do Concreto – CBC, 56, 2014, Natal. **Anais eletrônicos...** Natal: IBRACON, 2014.

HOOD, Rogério da Silva Scott. **Análise de viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação**. 2006. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2006.

IBGE, 2015. **Web Cart Beta**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/webcart/swf/swf.php?nFaixas=5&ufs=43> Acesso em: 24 de fevereiro de 2016.

IBRAM. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. Instituto Brasileiro de Mineração. 7 ed. 2012. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002806.pdf> Acesso em: 13 de fevereiro de 2015.

INPE, 2012. **Protocolo para coleta de material particulado atmosférico**. São José dos Campos, 2012.

JAZIDA, 2015. **Jazida – Mapeamento**. Disponível em: <http://jazida.com/> Acesso em 01 de junho de 2015.

KERN, et al. Waste generated in high-rise buildings construction: A quantification model based on statistical multiple regression. **Waste Management**, Elsevier, 2015.

KERSTEN, et al. **Concepção de peneirador de areia para construção civil. Semana Internacional das Engenharias da FAHOR**. Inovação Tecnológica. Faculdade de Horizontina, Horizontina, 2011.

KLEIN, Jefferson. **Falta de areia interrompe trabalho nos corredores BRTs**. Economia, Jornal do Comércio, junho de 2013. Disponível em: <http://jcrs.uol.com.br/site/noticia.php?codn=126327> Acesso em: 18 de maio de 2016.

LA SERNA, Humberto Almeida de; REZENDE, Márcio Marques, 2009. **Agregados para a construção civil**. Disponível em: <http://anepac.org.br/wp/wp-content/uploads/2011/07/DNPM2009.pdf> Acesso em: 13 de fevereiro de 2015.

LASSO, et al. Avaliação do uso de resíduos de construção e demolição reciclados como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, MG. v. 37. p.1659-1668, 2013.

LIMA, Ângela Maria Ferreira. **Avaliação do ciclo de vida no Brasil – Inserção e perspectivas**. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2007.

LIMA, José Dantas de. **Plano de gerenciamento de resíduos da construção e demolição do município de Fortaleza – CE**. Prefeitura de Fortaleza, Fortaleza, Ceará, 2006.

MACHADO, A. C. M. et al. Uso de agregados reciclados em concreto de alta resistência. In: Congresso Brasileiro do Concreto – CBC, 56, 2014, Natal. **Anais eletrônicos...** Natal: IBRACON, 2014.

MARIANE, Aline. **Falta de areia preocupa empresários da construção no Rio Grande do Sul.** Pini Web, Revista Guia da Construção, agosto de 2013. Disponível em: <http://piniweb.pini.com.br/construcao/tecnologia-materiais/falta-de-areia-preocupa-empresarios-da-construcao-no-rio-grande-293661-1.aspx> Acesso em: 29 de janeiro de 2015.

MARQUES, Vinícius Martins. **Avaliação de aspectos e impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de telhas de fibrocimento com e sem amianto.** 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2014.

MAYORGA, R. D., et al. Os resíduos da construção civil e suas implicações socioambientais e econômicas na cidade de Fortaleza – CE. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural – SOBER, 47, 2009, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre, SOBER, 2009.

MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo José Melaragno. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 1 ed. São Paulo, 1994.

MENDES, Natalia Crespo. **Métodos e modelos de caracterização para a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida: análise e subsídios para a aplicação no Brasil.** 2013. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 01, de 08 de março de 1990. Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, nº 63, 02 de abril de 1990.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução RS nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos na construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, nº 136, 17 de julho de 2002.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 448, de 18 de janeiro de 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10º e 11º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, nº 14, 19 de janeiro de 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 348, de 16 de agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, nº 158, 17 de agosto de 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, estabelecendo nova classificação para o gesso. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, nº 99, 25 de maio de 2011.

MIRANDA, Leonardo F. R. **Inovações tecnológicas para a triagem de RCD.** In.: Seminário Nacional de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. ABRECON, 2015.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosemback; ANGULO, Sérgio Cirelli; CARELI, Élcio Duduchi. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: 1986-2008. **Ambiente construído**, Porto Alegre, RS, v.9, n.1, p.57-71, 2009.

MMA, s.d. **Manual de impactos ambientais – Orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas**. S.d.

OMS. **Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre**. 2005. Disponível em: [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair\\_aqg/es/](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair_aqg/es/) Acesso em: 13 de fevereiro de 2016.

ORTIZ, O.; PASQUALINO, J.C.; CASTELLS, F. Environmental performance of construction waste: Comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain. **Waste Management**, Elsevier, v. 30, p. 646-654, 2009.

PASCHOALIN FILHO, João Alexandre; GRAUDENZ, Gustavo Silveira. Destinação irregular de resíduos de construção e demolição (RCD) e seus impactos na saúde coletiva. **Revista de Gestão Social e Ambiental – RGSA**, São Paulo, v.6, n.1, p. 127-142, 2012.

PEREIRA, Eduardo; MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; LEVY, Salomon Mony. Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 125-134, 2012.

PETROBRAS. Serviços. **Densidade e poderes caloríficos superiores**. 2015. Disponível em: <http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/servicos/formulas-de-conversao/densidade-e-poderes-calorificos-superiores.htm> Acesso em: 23 de março de 2015.

PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos. **Aspectos ambientais da lavra de areia, exemplo da área produtora do Rio São João**. 1994. 81f. Tese (Mestrado em Ciências – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, 1994.

PIMENTEL, U. H. O., et al. O geoprocessamento na gestão dos resíduos de construção e demolição em João Pessoa/PB, Brasil. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 26, 2011, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre, 2011.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 218f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PRADO, M. R.; KASKANTZIS NETO, G. A análise do ciclo de vida como ferramenta de otimização de processos e gestão ambiental. **Revista Eletrônica Polidisciplinar Voos – REPV**, n. 1, p. 4-11, dezembro 2005.

QUARESMA, Luiz Felipe. **Produto 22 – Agregados para construção civil. Relatório técnico 31 – Perfil de areia para construção civil**. J. Mendo Consultoria, 2009. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P22\\_RT31\\_Perfil\\_de\\_areia\\_para\\_construcao\\_civil.pdf/9745127c-6fdc-4b9f-9eda-13fa0146d27d](http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P22_RT31_Perfil_de_areia_para_construcao_civil.pdf/9745127c-6fdc-4b9f-9eda-13fa0146d27d) Acesso em: 08 de dezembro de 2014.

**RESÍDUOS de construção e demolição (RCD)**. Disponível em: [http://www.cretatec.com.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=56:residuos-de-construcao-e-demolicao&catid=29:wiki-residuos&Itemid=78](http://www.cretatec.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=56:residuos-de-construcao-e-demolicao&catid=29:wiki-residuos&Itemid=78) Acesso em: 08 de setembro de 2014.

RIGON, Magali Rejane. **Avaliação ambiental do uso da casca de arroz com biomassa para fins energéticos e do coproduto cinza aplicado ao concreto**. 2015. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2015.

RIGON, Viviana Salete. **Aspectos e impactos ambientais durante a fase de execução de uma obra residencial**. 2013. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2013.

RODRIGUES, Edmundo. s.d. **Livro para a SBEA**. Agregados. Disponível em: <http://www.ceap.br/material/MAT1603201025102.pdf> Acesso em 20 de junho de 2015.

RODRIGUES, Magali da Silva. **Modelo para análise de risco ecológico associado a emissões atmosféricas em ambientes industriais**. 2009. 123 f. Tese (Doutorado em Ciências, ênfase em Ecologia) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2009.

SANCHEZ, Inaiê. O desafio de passar as leis ambientais do papel à prática. **Análise gestão ambiental – Rio + 20**. 34 ed, São Paulo, 2012.

SANTOS, Almai do Nascimento dos. **Diagnóstico da situação dos resíduos de construção e demolição (RCD) no município de Petrolina – PE**. 2008. 11 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

SANTOS, Altair. **Mineradores de areia tentam reinventar mercado**. Portal Itambé, Massa Cinzenta, abril de 2014. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/mineradores-de-areia-tentam-reinventar-mercado/> Acesso em: 29 de janeiro de 2015.

SANTOS, Eder Carlos Guedes dos. **Avaliação experimental de muros reforçados executados com resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) e solo fino**. 2011. 214 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SARTORI, B. R. C. et al. Relação entre absorção capilar e a carbonatação em concretos com adição de cinza de casca de arroz e agregado graúdo reciclado de concreto. In: Congresso Brasileiro do Concreto – CBC, 56, 2014, Natal. **Anais eletrônicos...** Natal: IBRACON, 2014.

SARTORI, Bruno Rommel Cattani. **Estudo da carbonatação em concretos com agregado graúdo reciclado de concreto e cinza de casca de arroz**. 2013. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2013.

SIGMINE, 2015. Disponível em: <http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/> Acesso em 01 de junho de 2015.

SILVA, A. O. et al. Sustentabilidade de estruturas de concreto através da análise do ciclo de vida e custos, do berço ao portão. In: Congresso Brasileiro do Concreto – CBC, 56, 2014, Natal. **Anais eletrônicos...** Natal: IBRACON, 2014.

SILVA, Cristine Santos de Souza. **Diagnóstico ambiental de áreas de disposição de resíduos da construção e demolição em Porto Alegre**. 2014. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, 2014.

SILVA, Maysa Alves da; SANTOS, Vito Assis Alencar dos. Reciclagem e reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil Em São Luís – MA: Um processo sustentável. **Revista**

do CEDS, Periódico do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB. n. 1, 2014.

SILVEIRA, Paulo Edison Martins da. **A aplicação do resíduo de construção e demolição reciclado no compósito solo-cimento.** 2005. 138f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2005.

SINDUSCON – RS. **Falta de areia preocupa a indústria da construção.** Sinduscon – RS, junho de 2013. Disponível em: <http://www.sinduscon-rs.com.br/falta-de-areia-preocupa-a-industria-da-construcao/> Acesso em 18 de maio de 2016.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** 2006. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

THE WORLD BANK. Disponível em: <http://data.worldbank.org/country/brazil> Acesso em: 15 de fevereiro de 2016.

T&C AMAZÔNIA. **A situação dos resíduos sólidos oriundos da construção civil vertical na cidade de Manaus.** Revista T&C Amazônia, 27 de março de 2014. Disponível em: <http://www.fucapi.br/tec/2014/03/27/a-situacao-dos-residuos-solidos-oriundos-da-construcao-civil-vertical-na-cidade-de-manaus/> Acesso em: 07 de janeiro de 2015.

ULSEN, Carina. **Caracterização tecnológica de resíduos de construção e demolição.** 2006. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

VALLE, Rogerio; SOUZA, Ricardo Gabbay de. **Logística reversa processo a processo.** 1 ed. São Paulo, 2014.

VEIGA, Rosângela Mendanha. **Subsídios para elaboração de plano de gerenciamento de resíduos da construção e demolição.** 2007. 212 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Planejamento Territorial) – Departamento de Ciências Econômicas, Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2007.

XAVIER, Vera Lúcia; CÔRREA, Henrique Luiz. **Sistemas de logística reversa criando cadeias de suprimentos sustentáveis.** São Paulo, 2013.

## **APÊNDICE 01**

### **JAZIDAS DE AREIA E USINAS DE RCD**

Na Tabela 29 encontra-se o levantamento dos empreendimentos legalizados para realizar extração de areia no Brasil, separados por Estados e fases de requerimento. Foram contabilizados apenas os processos ativos, ou seja, empreendimentos que possuem aprovação junto ao DNPM para realizar extração de areia, dependendo em qual fase os processos se enquadram.

Tabela 29 - Quantificação de empreendimentos legalizados para extração de areia no Brasil

Estados	Registros de extração	Concessões de lavras	Licenciamentos	Total	Área total de extração (ha)
Acre	0	1	32	33	956,39
Alagoas	1	0	148	149	3.280,92
Amapá	0	0	38	38	1.150,19
Amazonas	7	0	121	128	2.875,7
Bahia	10	32	171	213	7.745,65
Ceará	0	25	347	372	13.365,26
Distrito Federal	0	6	9	15	484,02
Espírito Santo	1	0	293	294	9.873,06
Goiás	1	196	727	924	29.288,37
Maranhão	8	6	95	109	2.524,83
Mato Grosso	0	25	329	354	9.582,9
Mato Grosso do Sul	1	34	165	200	6.695,9
Minas Gerais	16	121	1333	1470	43.611,97
Pará	0	1	246	247	8.998,35
Paraíba	0	19	130	149	6.178,97
Paraná	0	356	86	442	20.076,59
Pernambuco	0	11	140	151	5.485,14
Piauí	1	3	179	183	4.640,91
Rio de Janeiro	1	54	208	263	8.727,05
Rio Grande do Norte	0	1	80	81	3.026,47
Rio Grande do Sul	15	50	372	437	11.641,04
Rondônia	1	3	144	148	5.774,35
Roraima	0	0	42	42	964,41
Santa Catarina	5	82	358	445	19.122,65
São Paulo	3	646	666	1315	54.673,1
Sergipe	0	1	130	131	1.876,62
Tocantins	1	6	233	240	8.555,02
<b>Brasil</b>	<b>72</b>	<b>1.679</b>	<b>6.822</b>	<b>8.573</b>	<b>291.175,83</b>

Fonte: Baseado em DNPM (2015)

## APÊNDICE 02

### JAZIDAS DE EXTRAÇÃO DE AREIA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Nas figuras a seguir estão detalhadas as áreas de extrações de areia no Estado do Rio Grande do Sul, apresentadas em cada uma das Mesorregiões onde estão localadas.

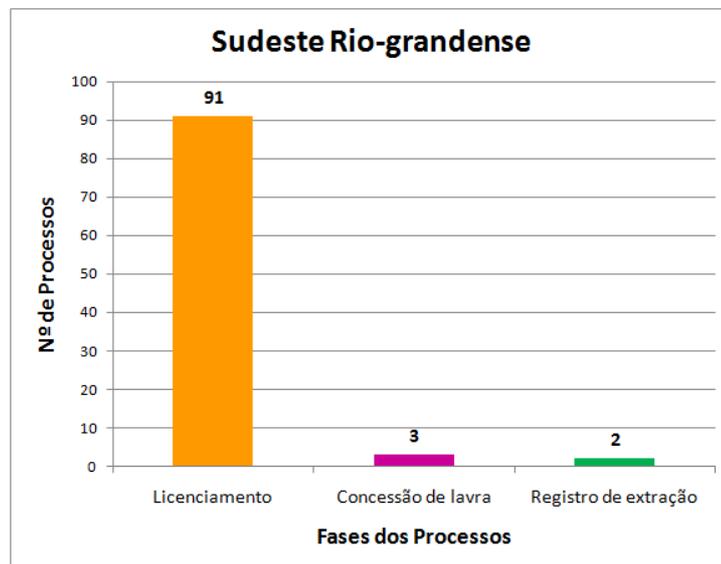
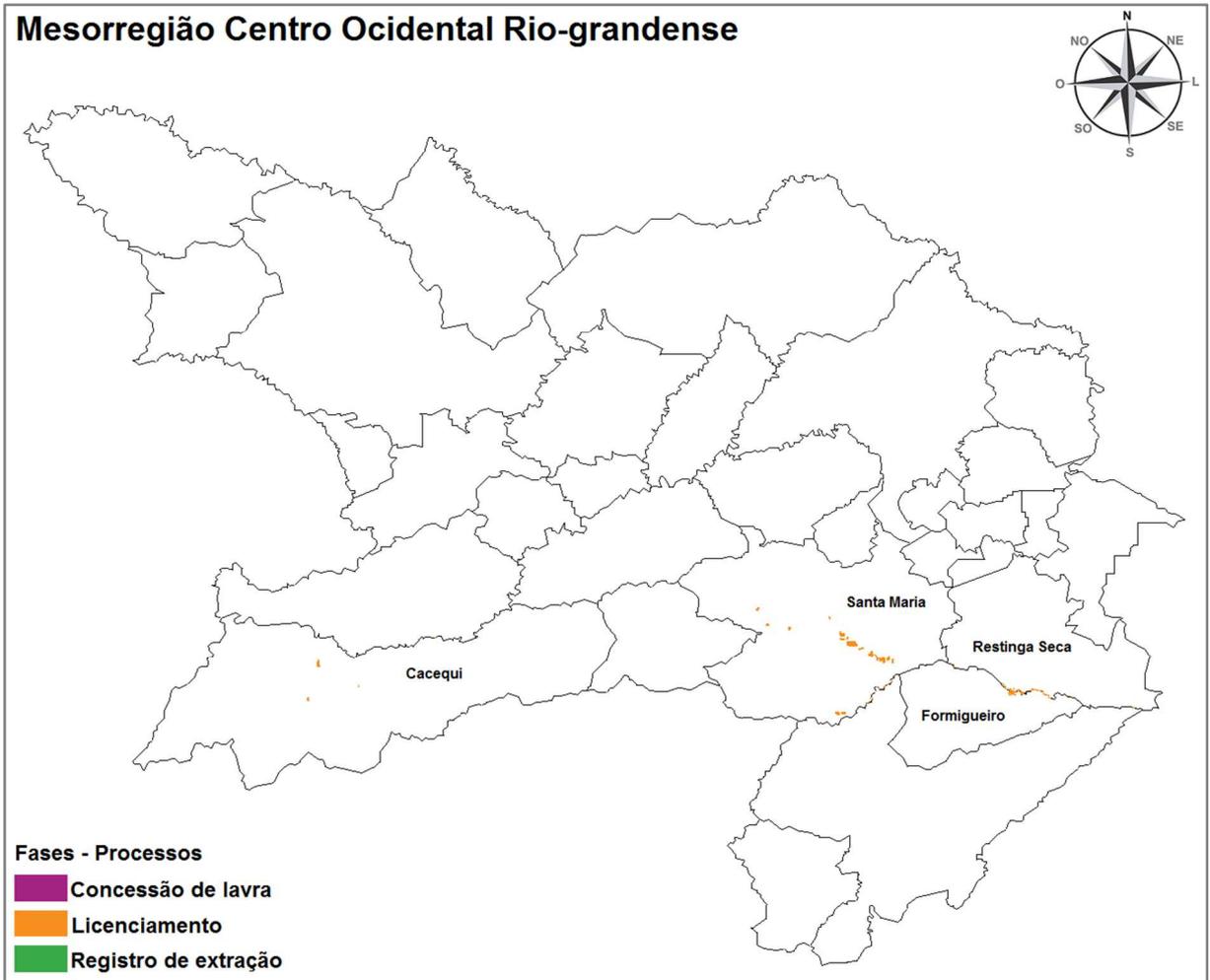


Figura 56 - Quantificação de processos de extrações de areia na Mesorregião Sudeste Rio-grandense



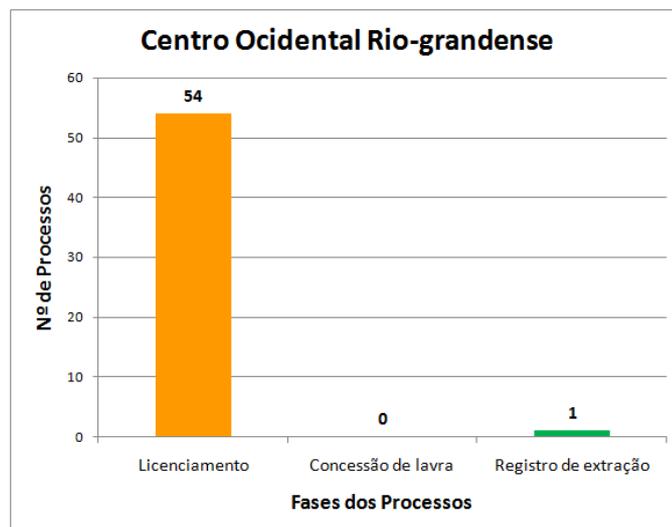
Figura 57 - Localização dos processos de extrações de areia na Mesorregião Sudeste Rio-Grandense

Fonte: Elaborado em Arcgis e Paint (2015)



**Figura 58 - Localização dos processos de extrações de areia na Mesorregião Centro Ocidental Rio-grandense**

Fonte: Elaborado em Arcgis e Paint (2015)



**Figura 59 - Quantificação dos processos de extrações de areia na Mesorregião Centro Ocidental Rio-grandense**

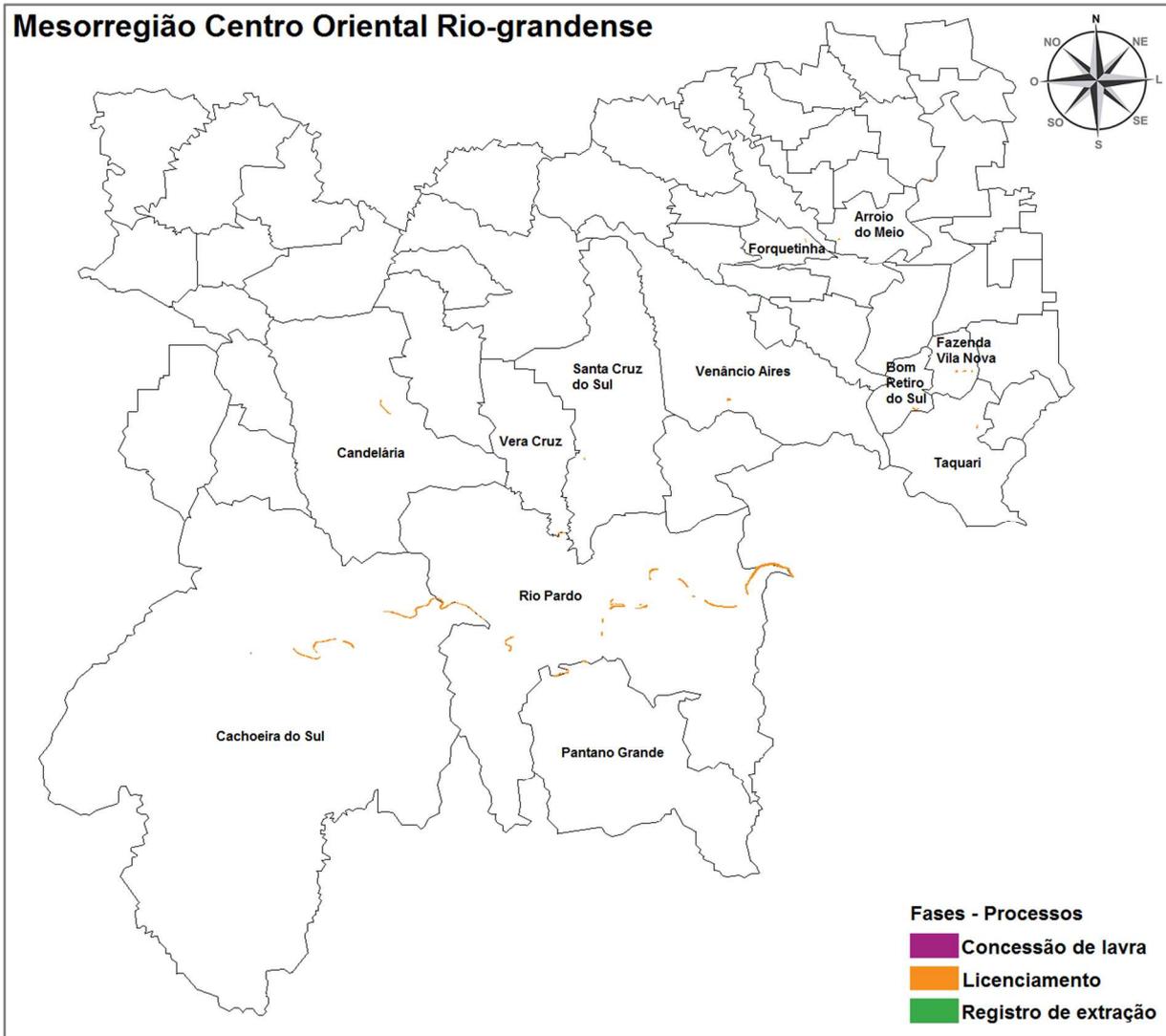


Figura 60 - Localização dos processos de extrações de areia na Mesorregião Centro Oriental Rio-grandense

Fonte: Elaborado em Arcgis e Paint (2015)

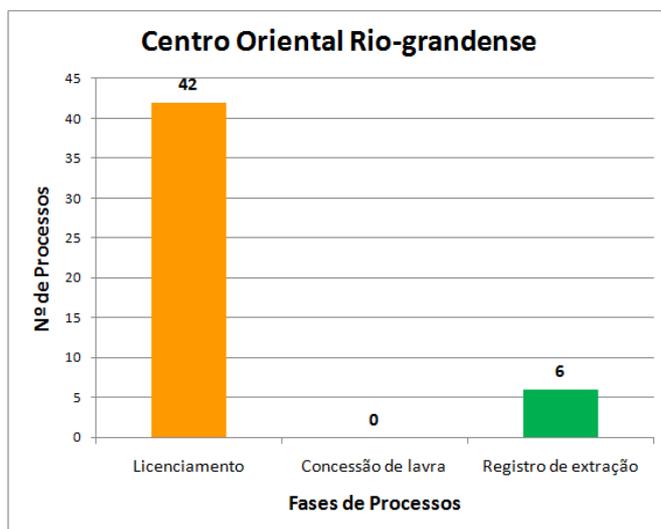


Figura 61 - Quantificação dos processos de extrações de areia na Mesorregião Centro Oriental Rio-grandense

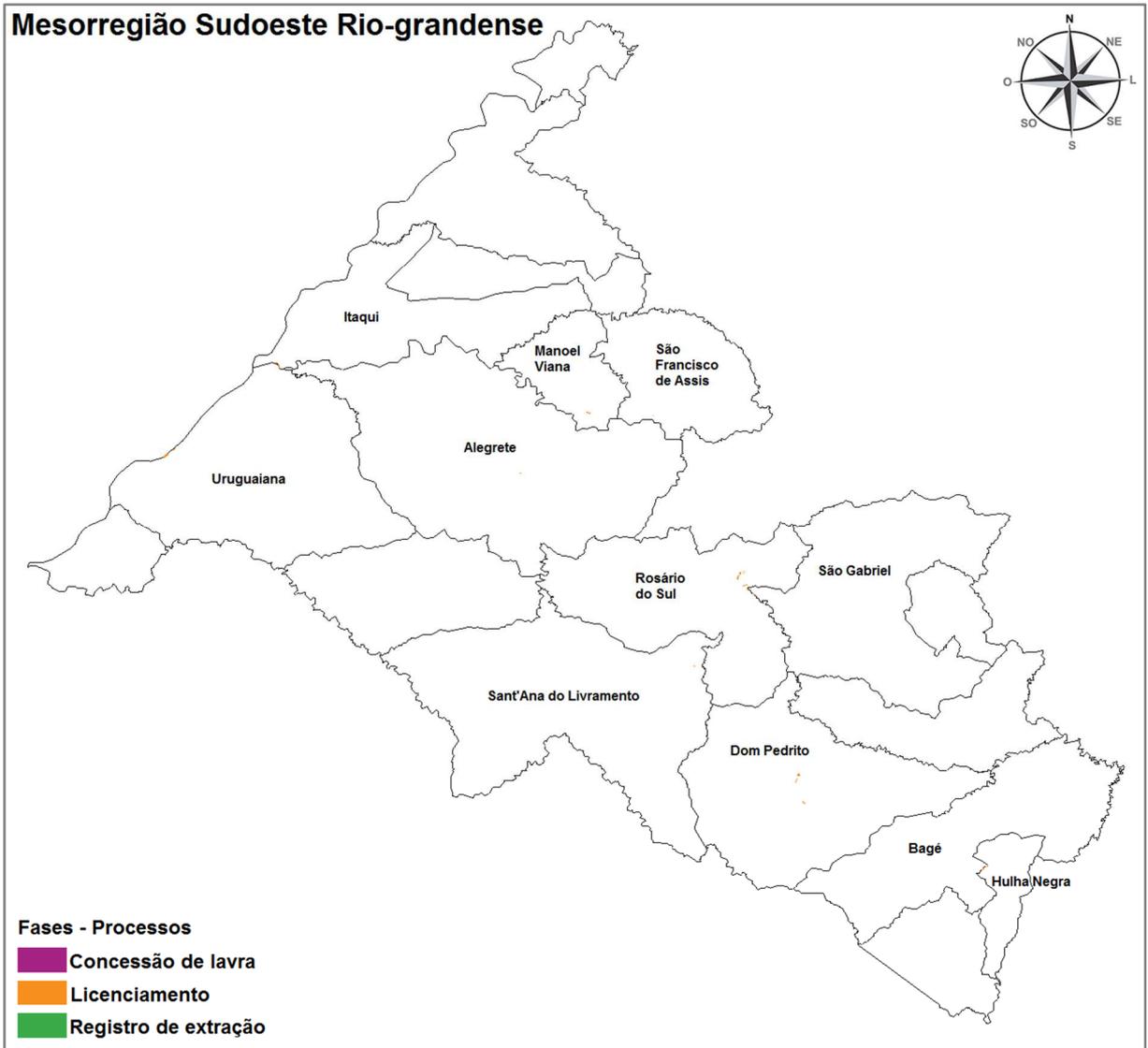


Figura 62 - Localização dos processos de extrações de areia na Mesorregião Sudoeste Rio-grandense

Fonte: Elaborado em Arcgis e Paint (2015)

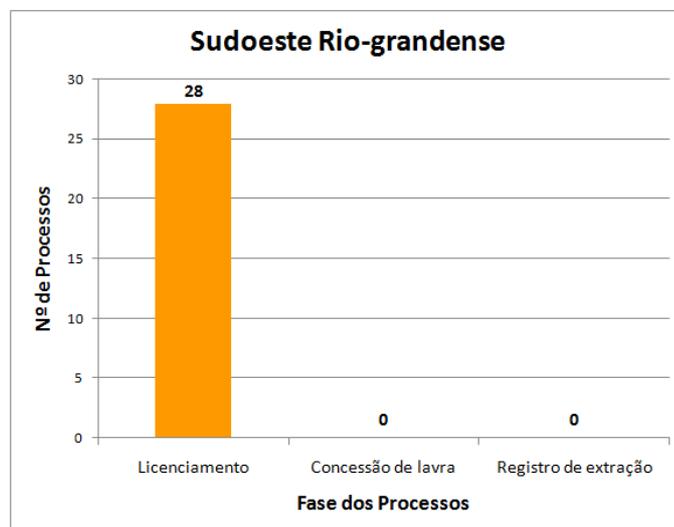
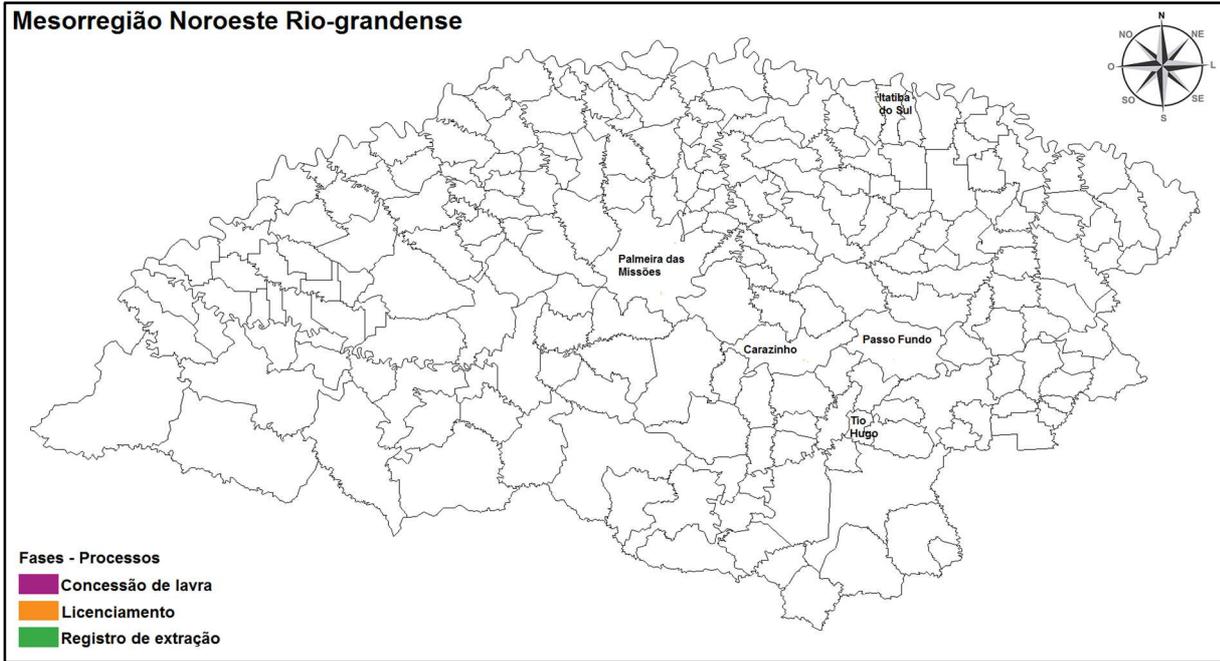
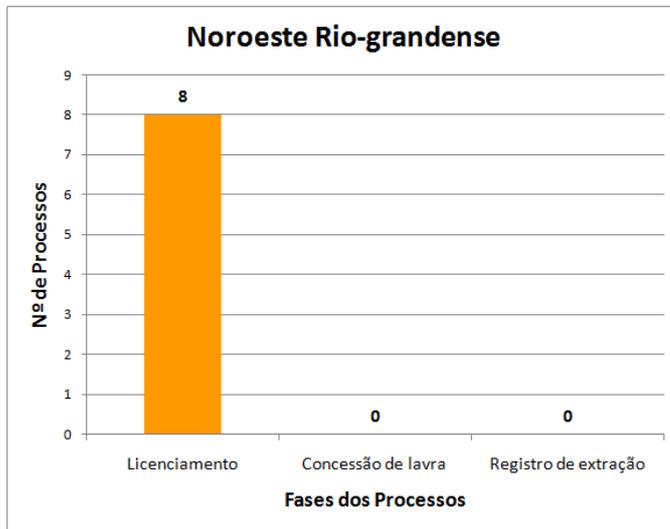


Figura 63 - Quantificação dos processos de extrações de areia na Mesorregião Sudoeste Rio-grandense

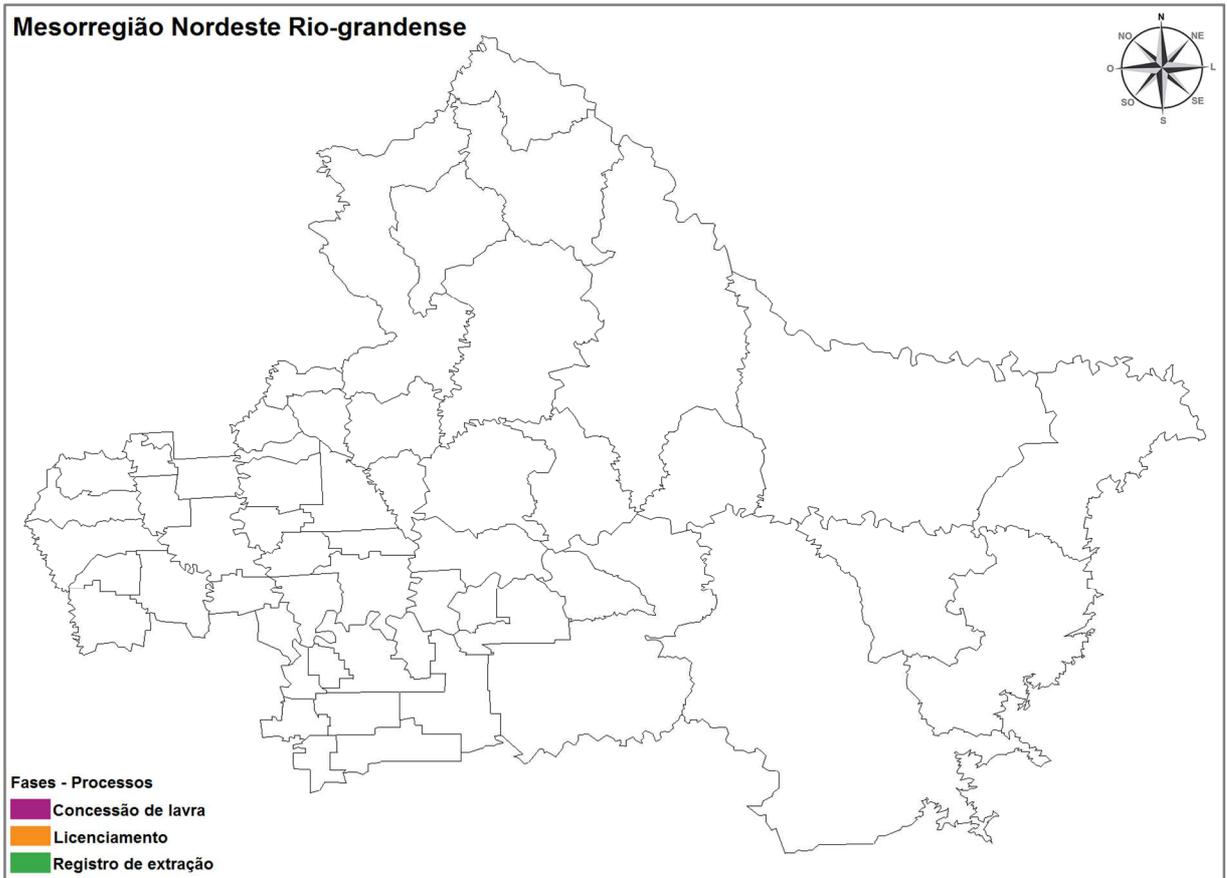


**Figura 64 - Localização dos processos de extrações de areia na Mesorregião Noroeste Rio-grandense**

Fonte: Elaborado em Arcgis e Paint (2015)

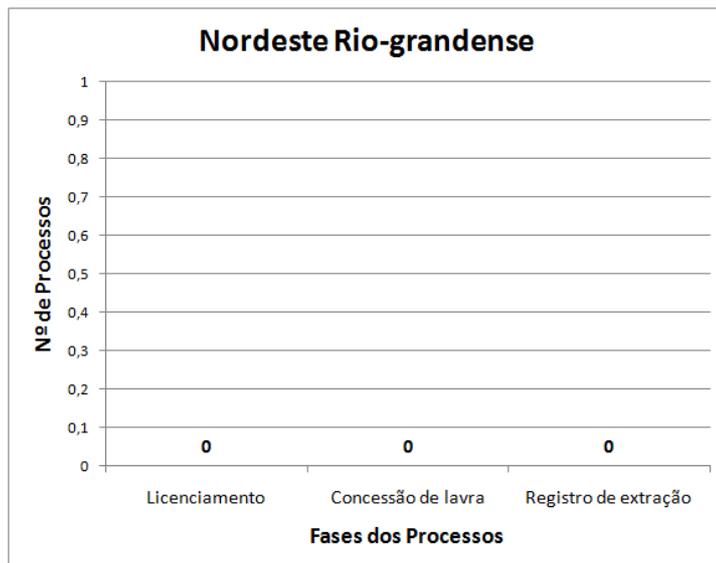


**Figura 65 - Quantificação de processos de extrações de areia na Mesorregião Noroeste Rio-grandense**



**Figura 66 - Mesorregião Nordeste Rio-grandense**

Fonte: Elaborado em Arcgis e Paint (2015)



**Figura 67 - Quantificação de processos de extrações de areia na Mesorregião Nordeste Rio-grandense**



## **APÊNDICE 03**

### **SIGNIFICÂNCIA DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS**

A seguir encontram-se as avaliações de significância de aspectos e impactos ambientais, realizadas por uma equipe multidisciplinar, constituída por seis pesquisadores.

**Tabela 30 - Avaliação de significância do processo de extração e beneficiamento do agregado natural realizada por equipe multidisciplinar**

Identificação		Resultados das avaliações de significância pelos pesquisadores (A a F)					
Aspecto ambiental	Impacto ambiental	A	B	C	D	E	F
Movimentação de veículos e maquinário	Erosão no solo	7	7	7	8	9	8
	Perturbação as comunidades vizinhas	8	7	9	6	7	8
	Efeito estufa	9	12	9	9	11	12
	Redução de infiltração de água no solo	8	6	6	8	12	9
	Depreciação da qualidade do solo	5	5	0	10	6	10
Consumo de matéria prima		7	8	0	8	6	12
	Alteração no lençol freático	6	10	6	11	12	11
	Redução da camada de ozônio	9	9	9	12	11	12
	Instabilidade de margens e taludes	6	5	4	10	7	7
	Cavas abandonadas	5	10	3	6	6	9
	Turbidez da água	4	6	7	5	7	7
			12	9	-	4	12
Consumo de combustível	Escassez de recurso natural	12	6	11	4	12	12
Consumo de água		12	7	10	4	12	12
Geração de material pulverulento	Contaminação do ar	10	4	8	9	9	9
	Erosão no solo	7	7	5	7	9	9
Geração de resíduo (inerte)	Contaminação do solo	8	9	5	6	9	10
	Lançamento de efluentes	8	9	12	7	12	8
Acúmulo de água, nas margens do rio, no acesso a embarcação	Geração de lodo	9	9	3	7	12	7
Alteração da forma natural do relevo	Alteração do sistema de drenagem natural	9	8	7	9	11	9
	Alteração nas calhas dos cursos d'água	9	7	12	8	12	10
	Supressão da vegetação (mata ciliar)	6	10	5	6	7	9
	Alteração da paisagem	6	9	7	8	7	5
	Risco de desabamento	7	7	10	8	7	4
			9	11	-	9	12
Interceptação de leitos de rios	Alteração da biodiversidade	9	12	-	9	12	9
Eliminação da fauna		9	12	11	9	12	12
	Danos a fauna e a flora	9	12	12	9	12	12
Matéria orgânica retirada no peneiramento	Alteração no uso e na ocupação do solo	5	6	6	9	12	5
	Resíduo	6	3	4	6	6	7

**Tabela 31 - Avaliação de significância de aspectos e impactos ambientais ocasionados pelo beneficiamento do agregado reciclado de RCD realizada por equipe multidisciplinar**

Identificação		Resultados das avaliações de significância pelos pesquisadores (A a F)					
Aspecto ambiental	Impacto ambiental	A	B	C	D	E	F
Movimentação de veículos e maquinário	Erosão no solo	7	3	8	8	9	8
	Perturbação as comunidades vizinhas	8	8	8	6	7	10
	Efeito estufa	9	12	9	3	11	12
	Redução de infiltração de água no solo	8	4	6	8	12	10
	Depreciação da qualidade do solo	5	7	10	8	6	10
Consumo de combustível	Redução da camada de ozônio	9	12	12	6	11	12
Consumo de água	Escassez de recurso natural	12	4	11	6	12	12
		12	7	12	4	11	12
Geração de material pulverulento	Contaminação do ar	8	8	11	7	9	10
	Erosão no solo	7	6	5	7	9	9
Geração de resíduo (inerte)	Contaminação do solo	8	8	12	7	9	6
	Lançamento de efluentes	8	8	10	7	12	8
Alteração da forma natural do relevo	Alteração do sistema de drenagem natural	9	8	7	7	9	8
	Supressão da vegetação	6	8	5	8	7	8
	Alteração da paisagem	6	9	7	8	6	7
	Risco de desabamento	7	3	9	8	6	8
Eliminação da fauna	Alteração na biodiversidade	9	9	12	8	10	12
	Danos a fauna e a flora	9	10	9	8	10	12
	Alteração no uso e na ocupação do solo	5	8	6	8	10	5
Processo produtivo	Resíduo	7	10	6	8	11	7



## APÊNDICE 04

### DADOS REFERENTES ÀS DATAS DE MEDIÇÕES DE MATERIAL PARTICULADO E TAXA DE SULFATAÇÃO

Nas Tabela 32 e Tabela 33 encontram-se os dados referentes às condições climáticas apresentados nos valores máximos atingidos durante os dias das coletas.

**Tabela 32 - Calendário de medições realizadas na jazida de extração de areia**

Dom	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sáb
03/01	04/01	05/01	06/01	07/01	08/01	09/01
<b>Enchente</b>			<b>Inst. AP</b> <b>1ª Medição de MP</b> Prec. Atm <sup>4</sup> : 0,2 UR <sup>5</sup> : 98 Vel. Ven <sup>6</sup> : 3,5 <b>Carregamento</b>	<b>Carregamento<sup>7</sup></b>	<b>Carregamento</b>	
	10/01	11/01	12/01	13/01	14/01	15/01
	<b>Carregamento</b>	<b>Carregamento</b>	<b>Carregamento</b>	<b>Carregamento</b>	<b>Carregamento</b>	
17/01	18/01	<b>Nível Baixo</b> 19/01	20/01	21/01	22/01	23/01
	<b>Carregamento</b>	<b>2ª Medição de MP</b> Prec. Atm.: 0,0 UR: 89 Vel. Ven.: 4,8 <b>Carregamento</b>	<b>3ª Medição de MP</b> Prec. Atm.: 0,0 UR: 96 Vel. Ven.: 4,4 <b>Carregamento</b>	<b>Carregamento</b>	<b>Carregamento</b>	
24/01	25/01	26/01	27/01	28/01	29/01	30/01
	<b>Carregamento</b>	<b>Carregamento</b>	<b>Carregamento</b>	<b>Carregamento</b>	<b>Carregamento</b>	
31/01	01/02	02/02	03/02	04/02	05/02	06/02
	<b>Dragagem – 3</b>	<b>Dragagem – 3</b>	<b>Retirada AP<sup>8</sup></b> <b>Dragagem – 3<sup>9</sup></b>			

Fonte: INMET (2016)

<sup>4</sup> Prec. Atm. – precipitação atmosférica, volume de chuva (mm).

<sup>5</sup> UR – umidade relativa do ar (%).

<sup>6</sup> Vel. Ven. – velocidade dos ventos (m/s), podendo apresentar rajadas de vento (m/s).

<sup>7</sup> Carregamento dos caminhões com o material, para comercialização.

<sup>8</sup> AP – amostradores passivos de SO<sub>2</sub>.

<sup>9</sup> Dragagem – processo de extração de areia. N<sup>o</sup> – quantidade de extrações realizadas.

Tabela 33 - Calendário de medições na usina de reciclagem de RCD

Dom	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
10/01	11/01	12/01	13/01	14/01	15/01 <b>Inst. AP</b>	16/01 <b>Recebimento</b>
17/01	18/01 <b>3 h operação</b>	19/01 <b>3 h operação</b>	20/01 <b>4 h operação</b>	21/01 <b>Recebimento</b>	22/01 <b>4 h operação</b>	23/01 <b>3 h operação</b>
24/01	25/01 <b>7 h operação</b>	26/01 <b>7 h operação</b>	27/01 <b>Recebimento</b>	28/01 <b>3 h operação</b>	29/01 <b>Recebimento</b>	30/01 <b>Recebimento</b>
31/01	01/02 <b>1ª Medição de MP01 e 02</b> Prec. Atm.: 0,0 UR: 93 Vel. Ven.: 3,0 <b>Recebimento</b>	02/02 <b>3 h operação</b>	03/02 <b>2ª Medição de MP01 e 02</b> Prec. Atm.: 3,8 UR: 92 Vel. Ven.: 1,8 <b>3 h operação</b>	04/02 <b>3ª Medição de MP01</b> Prec. Atm.: 10,6 UR: 94 Vel. Ven.: 2,2 <b>3 h operação</b>	05/02 <b>3 h operação</b>	06/02 <b>Recebimento</b>
07/02	08/02 <b>Recebimento<sup>10</sup></b>	09/02 <b>7 h operação<sup>11</sup></b>	10/02 <b>4 h operação</b>	11/02 <b>3ª Medição de MP02</b> Prec. Atm.: 0,0 UR: 89 Vel. Ven.: 3,3 <b>3 h operação</b>	12/02 <b>Retirada AP</b>	13/02

Fonte: INMET (2016)

<sup>10</sup> Ocorrência apenas de recebimento de material para beneficiamento.<sup>11</sup> Carga horária de utilização do britador para realizar o beneficiamento do RCD.

## APÊNDICE 05

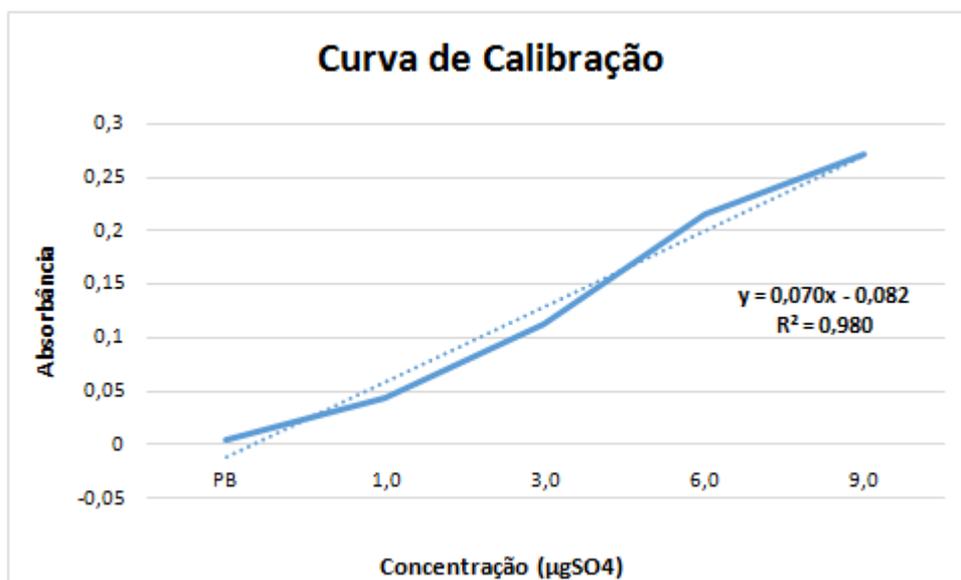
### TAXA DE SULFATAÇÃO

Na Tabela 34 encontram-se os resultados obtidos na construção da curva de calibração.

**Tabela 34 - Dados para a construção da curva de calibração**

Solução	0	1,0	3,0	6,0	9,0
Leitura	0,004	0,044	0,112	0,215	0,272
Resultante	1,914237				

A Figura 68 apresenta a curva de calibração construída com os dados obtidos nesta pesquisa.



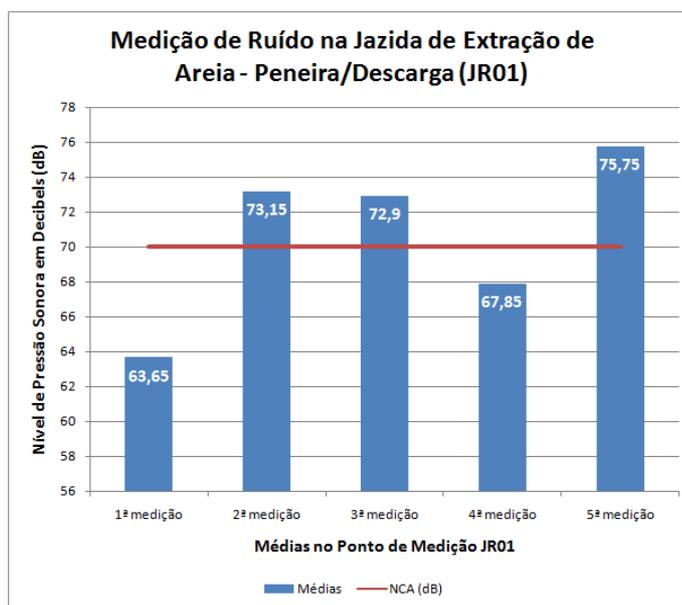
**Figura 68 - Curva de calibração resultante das soluções analisada**



## APÊNDICE 06

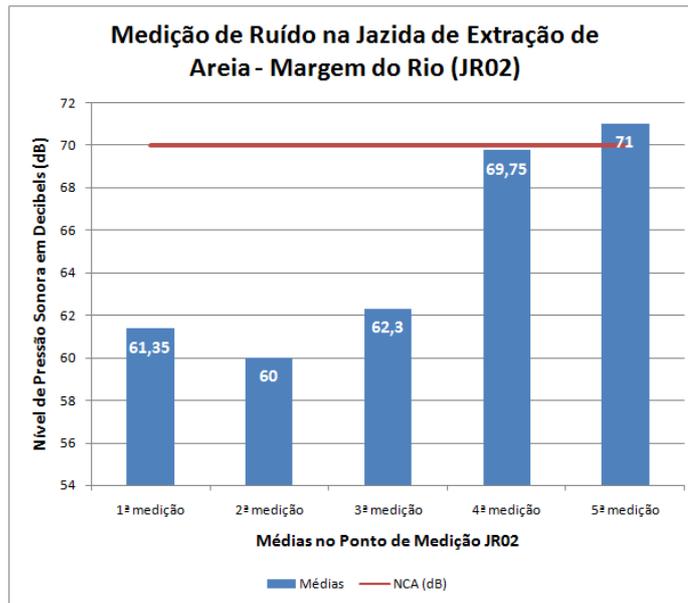
### DADOS DAS MEDIÇÕES DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA

Na Figura 69 são apresentadas as médias das medições obtidas no ponto JR01 (jazida ruído 01), onde é realizado o descarregamento da areia para peneiramento.



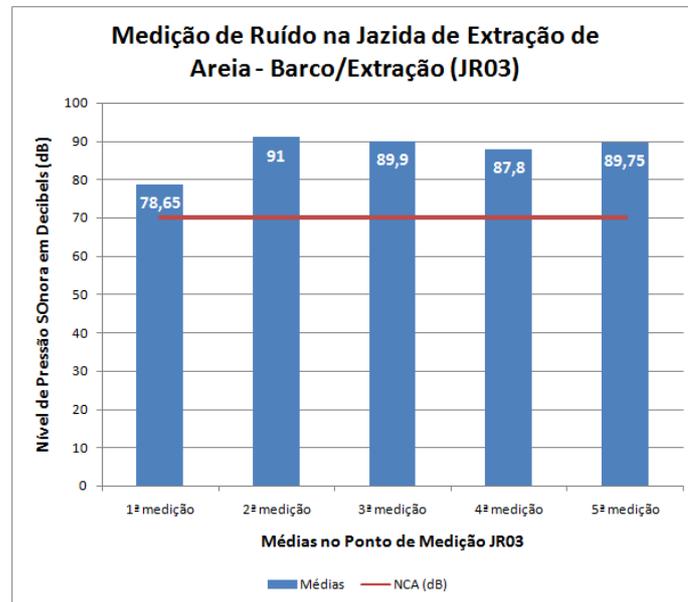
**Figura 69 - Médias obtidas no ponto de medição JR01**

Na Figura 70 são apresentadas as médias obtidas no ponto de medição JR02 (jazida ruído 02), onde é possível observar que apenas a quinta medição excedeu o limite estabelecido pela norma.



**Figura 70 - Médias obtidas no ponto de métrição JR02**

Na Figura 71 são apresentadas as métrições obtidas no ponto JR03 (jazida ruído 03). Ressalta-se que todas as métrições realizadas neste ponto, excederam os limites definidos pela NBR 10151 (2000).



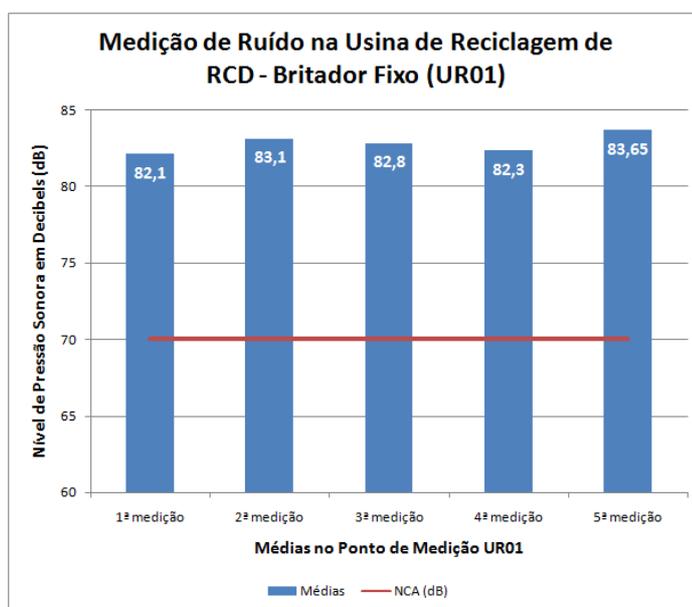
**Figura 71 - Médias obtidas no ponto de métrição JR03**

Na Tabela 35 são apresentados os dados obtidos nas cinco repetições realizadas em cada ponto de análise.

**Tabela 35 - Medições dos níveis de pressão sonora (dB)**

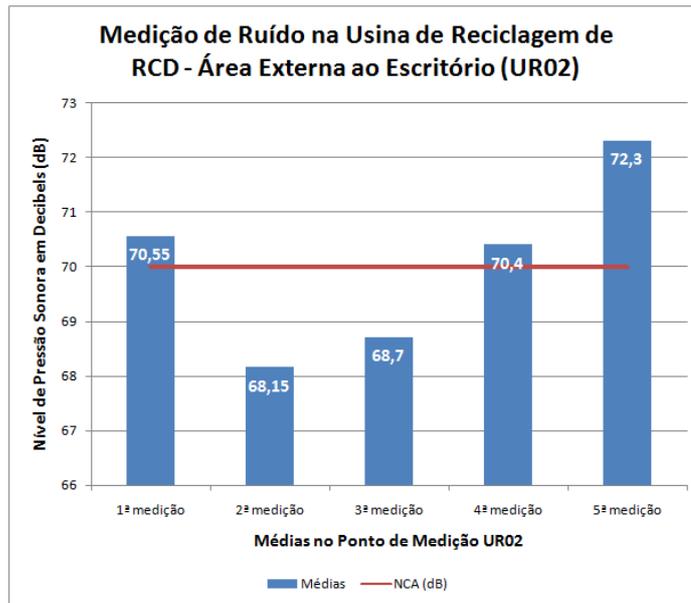
Ponto		1ª Medição	2ª Medição	3ª Medição	4ª Medição	5ª Medição
JR01	Medição inicial	55,5	73,5	73,1	62,9	78,1
	Medição final	71,8	72,8	72,7	72,8	73,4
JR02	Medição inicial	60,9	60,2	61,4	74	65,3
	Medição final	61,8	59,8	63,2	65,5	76,7
JR03	Medição inicial	68,9	92	88,2	87,9	92,3
	Medição final	88,4	90	91,6	87,7	87,2

Na Figura 72 são apresentadas as médias obtidas no ponto de medição UR01 (usina ruído 01), locado junto ao britador fixo, para averiguar os possíveis danos causados aos seres humanos durante a utilização do equipamento no processo de britagem do RCD.



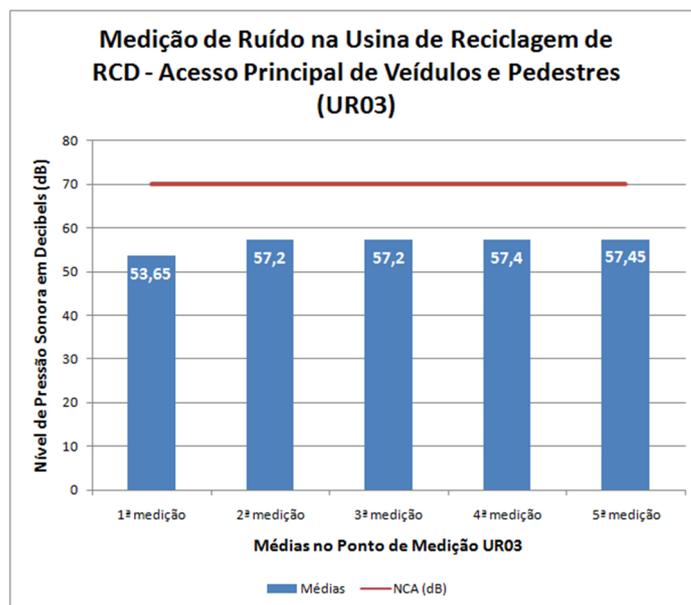
**Figura 72 - Médias obtidas no ponto de medição UR01**

Na Figura 73 são apresentadas as médias obtidas durante a medição realizada no ponto UR02 (usina ruído 02), realizada junto à área externa do escritório, onde observa-se maior fluxo de seres humanos durante os turnos de trabalho.



**Figura 73 - Médias obtidas no ponto de medição UR02**

Na Figura 74 são apresentados os dados obtidos na coleta próximo ao acesso principal à usina, utilizado tanto por pedestres como por veículos, a localização do ponto de medição UR03 foi escolhida devido ao fato do principal equipamento de medição da usina – o britador – gerar alto percentual de ruídos, durante a sua utilização.



**Figura 74 - Médias obtidas no ponto de medição UR03**

Na Tabela 36 estão apresentados detalhadamente os dados obtidos nas medições, para obter o nível de pressão sonora, na usina de reciclagem de RCD.

**Tabela 36 - Medições dos níveis de pressão sonora (dB)**

<b>Ponto</b>		<b>1ª Medição</b>	<b>2ª Medição</b>	<b>3ª Medição</b>	<b>4ª Medição</b>	<b>5ª Medição</b>
UR01	Medição inicial	76,4	82,3	83,6	81,8	81,5
	Medição final	87,8	83,9	82,0	82,8	85,8
UR02	Medição inicial	68,7	69,0	69,4	68,4	64,5
	Medição final	72,4	67,3	68,0	72,4	80,1
UR03	Medição inicial	50,3	56,8	57,2	57,3	57,4
	Medição final	57,0	57,6	57,2	57,5	57,5

Com os dados apresentados na Tabela 36 foram gerados os gráficos, apresentados anteriormente, utilizando as médias obtidas em cada ponto de medição.



## **ANEXO 01**

Na Tabela 37 encontram-se as informações referentes ao potencial poluidor e porte dos empreendimentos, conforme a classificação realizada pela FEPAM – RS, para processos de extrações de areia.

**Tabela 37 - Pesquisa de dados de licenciamento ambiental, conforme o ramo de atividade do empreendimento**

Atividade			Unidade de medida	Porte				
Código	Ramo	Pot. Poluidor		Mínimo	Pequeno	Médio	Grande	Excep.
510,00	Pesquisa mineral	Médio	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 100	De 100,0001 até 500	De 500,01 até 2000	De 2000,01 até 5000	Demais
520,00	Recuperação de áreas mineradas	Média	Área total em hectares (ha)	Até 5	De 5,01 até 10	De 10,01 até 20	De 20,01 até 30	Demais
530,01	Lavra de calcário caulim fosfato – a céu aberto e com recuperação de área degradada	Alto	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 100	De 100,01 até 300	De 300,01 até 500	De 500,01 até 800	Demais
530,02	Lavra de carvão turfa comestíveis minerais – a céu aberto e com recuperação de área degradada	Alto	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 100	De 100,01 até 300	De 300,01 até 500	De 500,01 até 800	Demais
530,03	Lavra de minério metálico (cobre, ouro, chumbo, etc) – a céu aberto e com recuperação de área degradada	Alto	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 100	De 100,01 até 300	De 300,01 até 500	De 500,01 até 800	Demais
530,04	Lavra de gemas (ágata, ametista, etc) – a céu aberto e com recuperação de área degradada	Médio	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 5	De 5,01 até 100	De 100,01 até 300	De 300,01 até 500	Demais
530,05	Lavra de rocha ornamental – a céu aberto e com recuperação de área degradada	Médio	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 10	De 10,01 até 30	De 30,01 até 100	De 100,01 até 500	Demais
530,06	Lavra de rocha para uso imediato na construção civil – a céu aberto, com uso de explosivos, com britagem e com recuperação de área degradada	Alto	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 5	De 5,01 até 20	De 20,01 até 100	De 100,01 até 500	Demais
530,07	Lavra de rocha para uso imediato na construção civil – a céu aberto, sem uso de explosivos, com britagem e	Alto	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 5	De 5,01 até 20	De 20,01 até 100	De 100,01 até 500	Demais

	com recuperação de área degradada							
530,08	Lavra de rocha para uso imediato na construção civil – a céu aberto, com uso de explosivos, sem britagem e com recuperação de área degradada	Alto	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 5	De 5,01 até 20	De 20,01 até 100	De 100,01 até 500	Demais
530,09	Lavra de rocha para uso imediato na construção civil – a céu aberto, sem uso de explosivos, sem britagem e com recuperação de área degradada	Médio	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 5	De 5,01 até 20	De 20,01 até 100	De 100,01 até 500	Demais
530,10	Lavra de saibro – a céu aberto e com recuperação de área degradada	Médio	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 5	De 5,01 até 20	De 20,01 até 100	De 100,01 até 500	Demais
530,11	Lavra de argila – a céu aberto e com recuperação de área degradada	Médio	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 5	De 5,01 até 20	De 20,01 até 100	De 100,01 até 500	Demais
530,12 <sup>12</sup>	Lavra de areia e ou cascalho – a céu aberto, em recurso hídrico e com recuperação de área degradada	Alto	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 10	De 10,01 até 30	De 30,01 até 100	De 100,01 até 500	Demais
530,13	Lavra de areia – a céu aberto, fora de recurso hídrico e com recuperação de área degradada	Médio	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 5	De 5,01 até 20	De 20,01 até 100	De 100,01 até 500	Demais
530,14	Lavra de areia industrial – a céu aberto, com recuperação de área degradada	Alto	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 10	De 10,01 até 30	De 30,01 até 100	De 100,01 até 500	Demais
540,01	Lavra de água mineral, subterrânea	Médio	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 100	De 100,01 até 300	De 300,01 até 500	De 500,01 até 800	Demais
540,02	Lavra de carvão turfa comestíveis	Alto	Área requerida ao	Até 100	De 100,01	De 300,01	De 500,01	Demais

<sup>12</sup> Ramo de atividade, no qual, a jazida de extração de areia utilizada no estudo de caso desta dissertação, foi classificada pela FEPAM.

	minerais, subterrânea e com recuperação de área degradada		DNPM em hectares (ha)		até 300	até 500	até 800	
540,03	Lavra de minério metálico (cobre, ouro, chumbo, etc), subterrânea e com recuperação de área degradada	Alto	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 100	De 100,01 até 300	De 300,01 até 500	De 500,01 até 800	Demais
540,04	Lavra de gemas (ágata, ametista, etc), subterrânea e com recuperação de área degradada	Alto	Área requerida ao DNPM em hectares (ha)	Até 100	De 100,01 até 300	De 300,01 até 500	De 500,01 até 800	Demais
550,00	Dragas	Médio	Nº de veículos/ embarcações / aeronaves	Até 1	-	-	-	-

Fonte: FEPAM – RS (2016)