



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DIOGO HENRIQUE FERNANDES DA PAZ

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO
À GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS
DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

Recife

2019

DIOGO HENRIQUE FERNANDES DA PAZ

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO
À GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS
DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Civil.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria do Carmo Martins Sobral

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Kalinny Patrícia Vaz Lafayette

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecário Josias Machado, CRB-4 / 1690

P348d Paz, Diogo Henrique Fernandes da.
Desenvolvimento de um sistema de apoio à gestão integrada de resíduos da construção e demolição / Diogo Henrique Fernandes da Paz. – 2019. 290f., il., figs., gráfs., tabs., abrev. e siglas.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria do Carmo Martins Sobral.
Coorientador: Prof^a. Dr^a. Kalinny Patrícia Vaz Lafayette.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.
Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Civil. 2. Gestão integrada. 3. Sistema de apoio à decisão. 4. Resíduos da construção civil. I. Sobral, Maria do Carmo Martins (Orientador). II. Lafayette, Kalinny Patrícia Vaz (Coorientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.) BCTG/2019 - 333



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Tese de Doutorado

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À GESTÃO INTEGRADA
DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

defendida por

Diogo Henrique Fernandes da Paz

Considera o candidato APROVADO

Recife, 26 de abril de 2019

Prof.^a Dr.^a Maria do Carmo Martins Sobral – UFPE – Orientadora _____

Prof.^a Dr.^a Kalinny Patrícia Vaz Lafayette – UPE – Coorientadora _____

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Maria do Carmo Martins Sobral - UFPE
(orientadora)

Prof. Dr. André Nagalli – UTFPR
(examinador externo)

Prof. Dr. Romildo Morant de Holanda – UFRPE
(examinador externo)

Prof. Dr. Alexandre Duarte Gusmão – UPE
(examinador externo)

Prof. Dr. Silvio Romero de Melo Ferreira – UFPE
(examinador interno)

Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro – UFPE
(examinador interno)

À minha esposa, Ana Camila Nobre de Lacerda Brito Paz, pela paciência, carinho e companheirismo diários.

Aos meus pais, Brivaldo Martins da Paz Júnior (*in memoriam*) e Maria Denize Fernandes da Paz, pelo cuidado, educação e amor,

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, Senhor e Salvador, pelo seu amor incondicional, pelas bênçãos concedidas nessa trajetória, por me dar forças para seguir em frente, mesmo com todas as dificuldades.

Aos meus familiares, pelo apoio que sempre me foi concedido, pelo amor, confiança, e me ensinar a humildade, a bondade, a coragem e a perseverança.

À minha esposa Ana Camila Paz, pelo seu carinho e companheirismo, pelo grande apoio dado, pela paciência, pelos dias de estudo juntos, pelos sábados e domingos que deixamos de aproveitar pela dedicação ao doutorado.

À minha orientadora, profa. Maria do Carmo Martins Sobral, e co-orientadora, profa. Kalinny Patrícia Vaz Lafayette, pelo apoio, paciência e tranquilidade, pela confiança no meu trabalho e pelos preciosos ensinamentos, a quem devo grande parte deste trabalho.

À todas as construtoras e gestores ambientais das obras, pelo apoio, paciência e disponibilidade de dados para a realização dessa pesquisa.

À Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana – EMLURB, pela parceria estabelecida com esta pesquisa no fornecimento dos dados essenciais sobre o diagnóstico da gestão municipal em Recife.

À Thiago Paz, pela grande parceria na codificação do SIGERCON, e por todos os meses de trabalho incansável no desenvolvimento do sistema.

Às professoras Ioná Rameh e Aida Araújo, pela parceria e disponibilização de toda a infraestrutura e alunos do Laboratório de Geotecnologias – LABGEO do IFPE, *campus* Recife para desenvolvimento dos módulos do SIGERCON.

Aos alunos Jonathan Henrique, Adeílto Pereira, Victor Vinícius, Davyd Adriel e Marcos Brasileiro, do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas do IFPE, *campus* Recife, e do Labgeo, pelo interesse e ótimo desempenho no desenvolvimento dos módulos do SIGERCON.

Ao Grupo de Pesquisa de Engenharia Aplicada ao Meio Ambiente – AMBITEC, pelas pesquisas realizadas, artigos publicados, e reuniões realizadas.

Aos amigos e colegas pesquisadores do Mestrado em Engenharia Civil da POLI/UPE, Cidney Sampaio, Maria Júlia, Tiana Ximenes e Alberto Alvarenga, pelas tardes de reuniões, produções científicas, que foram de grande auxílio para a realização desta pesquisa.

E a todos os outros que direta ou indiretamente contribuíram para que eu pudesse finalizar esta tese, com bom aprendizado e aproveitamento.

RESUMO

Os Resíduos da Construção e Demolição (RCD) constituem atualmente um dos maiores problemas das áreas urbanas, visto que são gerados em volumes significativos, e não possuem uma destinação final adequada. Uma das maneiras de minimizar o impacto provocado pelos RCD é através da implementação de uma gestão integrada, que necessita de uma abordagem apoiada em ferramentas de tomada de decisão. Dessa forma, esta pesquisa teve como objetivo desenvolver um sistema computacional como subsídio à gestão integrada dos resíduos sólidos da construção e demolição para os municípios brasileiros. Para isso, foi realizado inicialmente um diagnóstico da gestão municipal de RCD em Recife, de modo a identificar os principais desafios de uma gestão integrada de RCD. Foram definidos indicadores de sustentabilidade para classificar a gestão municipal de RCD; realizou-se um mapeamento de pontos de deposição irregular de RCD na cidade, e desenvolveu-se um método para classificação dos riscos ambientais provenientes da deposição irregular. Foram propostos, ainda, locais para instalação de novas ecoestações e Áreas de Transbordo e Triagem de resíduos (ATT) na cidade, bem como de aterros de inertes e usinas na Região Metropolitana do Recife (RMR). Posteriormente, realizou-se um diagnóstico da geração de RCD em 34 canteiros de obra, a fim de estruturar um banco de dados para, após tratamento estatístico, compor o banco de dados de um modelo matemático de geração de RCD em obras. Para o tratamento estatístico, realizou-se uma análise descritiva dos dados de geração de RCD das obras, análise de variância, e verificou-se a aplicabilidade da regressão linear múltipla para o conjunto de dados utilizados. O modelo matemático foi desenvolvido em planilha eletrônica, sendo realizada sua validação em 13 obras que não compuseram o banco de dados da etapa de calibração do modelo. Por fim, desenvolveu-se o Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção (SIGERCON). Foi estabelecido o modelo conceitual e a instanciação dos três módulos do sistema. A partir da etapa de estruturação, realizou-se a codificação do software. Após a codificação, realizou-se a integração dos módulos e a validação do software, para verificação da aplicabilidade do SIGERCON. Os resultados mostraram que a cidade do Recife possui uma gestão mediana de RCD, mapeando-se um total de 565 pontos de deposição irregular, sendo 53 pontos com risco ambiental alto. Propôs-se a instalação de 20 novas ecoestações e duas ATT. Quanto às obras, verificou-se que a taxa de geração variou entre 29 e 157 kg/m², de modo que é preciso considerar o porte da obra na estimativa da geração de RCD. O custo médio de gerenciamento de RCD foi de R\$ 61.935,00, sendo um custo por m² de R\$ 4,86. O modelo matemático desenvolvido foi validado com dados de 9 das 13 obras

utilizadas. O SIGERCON foi testado e validado no município de Jabotão dos Guararapes. Conclui-se que o sistema de apoio favorece a implementação da gestão integrada de RCD em municípios brasileiros, ao dispor de ferramentas de controle e otimização, bem como um banco de dados que permite a adequação dos municípios à realidade da região.

Palavras-chave: Gestão integrada. Sistema de Apoio à Decisão. Resíduos da construção civil.

ABSTRACT

Construction and Demolition Wastes (CDW) are currently one of the biggest problems in urban areas, since they are generated in significant volumes and do not have a suitable final destination. One of the ways to minimize the CDW impacts is through the implementation of an integrated management, which requires an approach supported by decision-making tools. Thus, this research aims to develop a computational system to assist the construction and demolition waste integrated management for Brazilian municipalities, validated in the city of Recife, Pernambuco. For this, a diagnosis of CDW municipal management in Recife was initially carried out, in order to identify the main challenges of CDW integrated management. Sustainability indicators were defined to classify the CDW municipal management; a mapping of 565 points of CDW illegal deposition in the city was carried out, and a method was developed to classify the environmental risks from illegal deposition. Sites were also proposed for the installation of new eco-stations and Transshipment and Waste Sorting Areas (TWSA) in the city, as well as construction waste landfills and waste treatment plants in the Metropolitan Region of Recife (MRR). Subsequently, a diagnosis was made of CDW generation in 34 construction sites, in order to structure a database to, after statistical treatment, compose the database of a CDW generation mathematical model on sites. For the statistical treatment, a descriptive analysis of CDW generation data of the sites, analysis of variance and was verified the applicability of the multiple linear regression for the dataset used. The mathematical model was developed in a spreadsheet, being validated in 13 works that did not compose the database of model calibration step. Finally, the Construction Waste Integrated Management System (SIGERCON) was developed. The conceptual model and the instantiation of the three system modules were established. From the structuring stage, the software coding was performed. After coding phase, the integration of the modules and the software validation was performed to verify the applicability of SIGERCON. The results showed that Recife has a median CDW management, mapping a total of 565 illegal dumping sites, being 53 points with high environmental risk. It was proposed the installation of 20 new eco-stations for the city and two TWSA. Regarding the generation of waste in construction sites, was verified that the generation rate varied between 29 and 157 kg/m², so that it is necessary to consider the size of the site in the estimate of CDW generation. The average cost of CDW management was R\$ 61,935.00, with a cost per m² of R\$ 4.86. The developed mathematical model was validated with data from 9 of the 13 sites used. SIGERCON was tested and validated in the municipality of Jaboatão dos Guararapes. It is concluded that the

support system favors the implementation of CDW integrated management in brazilian municipalities, by having control and optimization tools, as well as a database that allows the municipalities to adapt to the reality of the region.

Keywords: Integrated management. Decision support system. Construction waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Valor das incorporações, obras e serviços, segundo o setor de atividade – Brasil – 2012/2017.....	34
Figura 2	- Instrumentos legais voltados para a gestão dos RSU.....	36
Figura 3	- Composição dos RCD em 22 municípios do estado de São Paulo.....	43
Figura 4	- Origem dos RCD no município de Viçosa no ano de 2010, baseada nas obras licenciadas.....	44
Figura 5	- Conjunto de processos na construção civil que geram impactos ambientais.....	45
Figura 6	- Plano de Gerenciamento de Resíduos estabelecido pela Resolução CONAMA nº 307/2002.....	49
Figura 7	- Gestão integrada municipal de RCD.....	51
Figura 8	- Modelo de fluxos de RCD estabelecido pela Resolução CONAMA nº 307/2002.....	52
Figura 9	- Modelo de aterro de inertes.....	54
Figura 10	- Modelo de Área de Transbordo e Triagem de Resíduos (ATT).....	56
Figura 11	- Modelo de layout para posto de recebimento de pequenos volumes.....	58
Figura 12	- Exemplo de bacia de captação de um PEV.....	59
Figura 13	- Mapa com a definição das “bacias de captação” de RCD em Guarulhos/SP.....	60
Figura 14	- Mapa de aptidão para instalação de PEV para o distrito de Cachoeira do Campo.....	61
Figura 15	- Principais causas da geração de resíduos na visão dos construtores.....	74
Figura 16	- Densidade aparente média dos resíduos da construção civil analisados em Belo Horizonte/MG.....	80
Figura 17	- Projeto de canteiro de obras contemplando a segregação de resíduos.....	85
Figura 18	- Usinas de reciclagem de RCD classe A inauguradas de 1991 a 2016.....	94
Figura 19	- Percentual de usinas ativas no país.....	97
Figura 20	- Percentual de usinas inativas no país.....	97
Figura 21	- Esquema de funcionamento de uma usina de reciclagem de RCD.....	97
Figura 22	- Percentagem de custos referente à implantação de usinas públicas de RCD.....	101
Figura 23	- Percentagem de custos referente à operação de usinas públicas de RCD.....	102
Figura 24	- Fluxograma de elaboração de projetos para usinas de beneficiamento.....	102
Figura 25	- Representação esquemática do ambiente de decisão.....	103
Figura 26	- Estrutura básica de um sistema especialista.....	106
Figura 27	- Interface referente à tela inicial de apresentação do SISRCD.....	108
Figura 28	- Interface do SAD GIR@SSOL.....	109
Figura 29	- Fluxograma de utilização do SIGOR – Módulo Construção Civil.....	110
Figura 30	- Fluxograma do funcionamento do sistema de gerenciamento de RCD em canteiros de obras.....	111
Figura 31	- Etapas desenvolvidas pela pesquisa.....	116
Figura 32	- Localização da cidade do Recife.....	117
Figura 33	- Composição gravimétrica dos RSU gerados na cidade do Recife.....	117
Figura 34	- Quantidade de RSU da cidade do Recife enviados para a destinação final.....	118
Figura 35	- Esquema geral da Análise Hierárquica de Processos (AHP).....	137
Figura 36	- Localização das obras cadastradas em Recife utilizadas na pesquisa.....	141

Figura 37	- Etapas de realização da modelagem matemática.....	145
Figura 38	- Detalhamento do <i>software</i> de gestão integrada de RCD.....	147
Figura 39	- Etapas de desenvolvimento do SAD.....	148
Figura 40	- Processo de codificação do SIGERCON.....	151
Figura 41	- Grau de sustentabilidade dos grupos de indicadores.....	157
Figura 42	- Percentual da pontuação obtida por cada grupo de indicador.....	157
Figura 43	- Classificação final do IGRD para o município.....	158
Figura 44	- Quantidade de pontos de deposição irregular de RCD por km ² nas RPA de Recife.....	159
Figura 45	- Localização dos pontos de deposição irregular de RCD em Recife.....	160
Figura 46	- Tabela de atributos contendo as informações dos pontos de deposição irregular de RCD em Recife.....	161
Figura 47	- Quantidade de pontos referente a cada classe de RCD em Recife.....	162
Figura 48	- Quantidade de pontos de deposição irregular contendo cada tipo de material.....	163
Figura 49	- Porte dos pontos de deposição irregular.....	163
Figura 50	- Localização dos pontos de deposição irregular de RCD de acordo com o porte.....	164
Figura 51	- Pontos de deposição irregular cadastrados na cidade do Recife.....	165
Figura 52	- Deposição de RCD em terrenos baldios e margens de canais na RPA 2, em Recife.....	165
Figura 53	- Ponto de deposição irregular proveniente de pequenos geradores em local com placa de proibição de descarte de lixo.....	166
Figura 54	- Localização dos pontos de deposição em relação à renda média familiar dos setores censitários.....	167
Figura 55	- Quantidade de pontos de acordo com a renda média familiar.....	168
Figura 56	- Mapa de riscos de impactos ambientais: (a) aglomerados subnormais; (b) recursos hídricos; (c) vegetação; (d) equipamentos de saúde; (e) equipamentos de educação; (f) parques e praças.....	169
Figura 57	- <i>Score</i> dos riscos de impactos ambientais obtidos para os critérios utilizados.....	171
Figura 58	- Classificação da área urbana de Recife de acordo com os riscos ambientais.....	172
Figura 59	- Classificação final dos pontos de deposição irregular de RCD em Recife.....	173
Figura 60	- Localização e classificação dos pontos de deposição irregular de RCD.....	174
Figura 61	- Modelo de ecoestação utilizada em Recife.....	175
Figura 62	- Aptidão das áreas de acordo com a concentração dos pontos de deposição irregular.....	177
Figura 63	- Terreno proposto para instalação da URPV no bairro da Caxangá.....	178
Figura 64	- Bacias de captação das ecoestações da cidade do Recife.....	179
Figura 65	- Quantidade de RSU coletados em Recife e destinados a aterro sanitário.....	180
Figura 66	- Composição dos resíduos coletados na cidade do Recife (EMLURB).....	180
Figura 67	- Localização das ATT propostas para Recife.....	183
Figura 68	- Terrenos propostos para instalação das ATT em Recife: (a) ATT Zona Norte; (b) ATT Zona Sul.....	184
Figura 69	- Mapas temáticos referentes aos critérios restritivos: (a) áreas urbanas; (b) unidades de conservação; (c) recursos hídricos.....	186

Figura 70	- Mapas temáticos referentes aos critérios escalonados: (a) declividade; (b) rodovias; (c) geologia; (d) solos.....	187
Figura 71	- Mapa de aptidão da RMR.....	188
Figura 72	- Mapa de recomendação de áreas da RMR.....	189
Figura 73	- Área recomendada para instalação do aterro/usina em São Lourenço da Mata.....	190
Figura 74	- Via de acesso à área recomendada no município de Moreno.....	191
Figura 75	- Geração total de RCD nas obras analisadas.....	193
Figura 76	- Composição da geração de RCD por fase de obra.....	194
Figura 77	- Quantidade média de caçambas coletadas nas obras analisadas.....	194
Figura 78	- Composição dos RCD de acordo com as classes da Resolução nº - 307/2002.....	197
Figura 79	- Composição dos resíduos Classe B.....	197
Figura 80	- Custo total de gerenciamento de RCD.....	198
Figura 81	- Composição dos custos de gerenciamento para as etapas de coleta e destinação final.....	199
Figura 82	- Correspondência entre a quantidade de RCD estimada no PGRCC e real..	200
Figura 83	- Quantidade estimada e gerada de resíduos de demolição.....	200
Figura 84	- Correspondência entre a quantidade de RCD estimada e observada.....	204
Figura 85	- Planilha de modelagem matemática de geração de RCD em obras.....	206
Figura 86	- Coeficientes das equações utilizadas no modelo.....	207
Figura 87	- Planilha de cálculo da geração diária e acumulada de resíduos no modelo.....	208
Figura 88	- Dados de saída do modelo.....	209
Figura 89	- Análise do Coeficiente de Determinação (CD) de cada obra.....	210
Figura 90	- Fluxograma geral do Módulo I – Geradores.....	215
Figura 91	- Processo de registro dos indicadores ambientais no Módulo I.....	217
Figura 92	- Fluxograma geral do <i>menu Gerenciamento</i> do Módulo II – Órgãos Ambientais.....	220
Figura 93	- Fluxograma do cálculo da estimativa de geração de RCD no município....	222
Figura 94	- Fluxograma do cálculo da geração de RCD por classe.....	223
Figura 95	- Fluxograma do cálculo da geração de RCD por material.....	224
Figura 96	- Fluxograma do dimensionamento das ecoestações.....	225
Figura 97	- Fluxograma do dimensionamento da usina de RCD pública.....	228
Figura 98	- Fluxograma de funcionamento do sistema <i>mobile</i>	230
Figura 99	- Fluxograma geral do Módulo III – Transporte e destinação final.....	232
Figura 100	- Fluxo de integração de dados entre os módulos do SIGERCON.....	234
Figura 101	- Ferramenta de cadastro de indicadores ambientais no Módulo I.....	235
Figura 102	- Ferramenta para editar informações do município no Módulo II.....	236
Figura 103	- Solicitação de acesso na tela principal do SIGERCON.....	237
Figura 104	- Cadastro de usuários – Tela principal do SIGERCON.....	237
Figura 105	- Ferramenta de monitoramento de obras – Módulo II.....	238
Figura 106	- Ferramenta de análise dos PGRCC das obras.....	239
Figura 107	- Ferramenta de monitoramento de empresas de transporte.....	239
Figura 108	- Ferramenta de cadastro de pontos de deposição irregular de RCD.....	240
Figura 109	- Ferramenta de cadastro de ecopontos.....	240
Figura 110	- <i>Menu</i> de monitoramento – Módulo II.....	241
Figura 111	- Ferramenta de caracterização dos resíduos do <i>menu</i> “Projeto”.....	241
Figura 112	- Parte da ferramenta de dimensionamento de ecoestações – Módulo II.....	242
Figura 113	- Parte da ferramenta de caracterização dos resíduos do <i>menu</i> “Usina de	

beneficiamento de RCD”.....	243
Figura 114 - Tela principal do Módulo III – Transporte e destinação.....	243
Figura 115 - Ferramenta de coleta de resíduos – Módulo III.....	244
Figura 116 - Ferramenta de envio de relatórios – Módulo III.....	244
Figura 117 - Telas iniciais do SIGERCON <i>mobile</i>	245
Figura 118 - Telas de realização de denúncia e <i>login</i> do fiscal.....	246
Figura 119 - Mapa de localização de um ponto de deposição irregular cadastrado no SIGERCON <i>mobile</i>	246
Figura 120 - Estimativa de geração de resíduos por classe em Jaboatão dos Guararapes.....	249
Figura 121 - Estimativa de geração de resíduos por tipo de material em Jaboatão dos Guararapes.....	250
Figura 122 - Dimensionamento das ecoestações para o município de Jaboatão dos Guararapes.....	250
Figura 123 - Dimensionamento da usina de beneficiamento para o município de Jaboatão dos Guararapes.....	251
Figura 124 - Localização das ecoestações propostas para o município de Jaboatão dos Guararapes.....	252
Figura 125 - Classificação das áreas e localização da usina proposta para o município de Jaboatão dos Guararapes.....	252

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios para a classificação de resíduos sólidos.....	30
Quadro 2 - Classificação dos resíduos sólidos de acordo com a origem e produção.....	32
Quadro 3 - Classificação dos RCD de acordo com a CONAMA nº 307/2002.....	33
Quadro 4 - Normas técnicas da ABNT relativas aos RCD.....	38
Quadro 5 - Dimensões da gestão integrada de resíduos sólidos.....	48
Quadro 6 - Atores que compõem o processo de gerenciamento de RCD.....	50
Quadro 7 - Definição das instalações para manejo de RCD e volumosos, da responsabilidade pública, em município com dimensões típicas.....	62
Quadro 8 - Estrutura da gestão de RCD em alguns municípios brasileiros.....	62
Quadro 9 - Estratégias propostas para a diretriz 1 – Depositar o RCD em locais licenciados.....	67
Quadro 10 - Estratégias propostas para a diretriz 2 – beneficiar o RCD classe A.....	67
Quadro 11 - Estratégias propostas para a diretriz 3 – Depositar o RCD em locais licenciados.....	68
Quadro 12 - Ações propostas para o eixo universalidade dos serviços da gestão integrada de RCD.....	69
Quadro 13 - Planilha de cálculo do IQG.....	71
Quadro 14 - Classificação das notas do IGR.....	72
Quadro 15 - Indicadores de avaliação de gestão de RCD para municípios de pequeno porte.....	73
Quadro 16 - Categorização das pesquisas relacionadas à quantificação de RCD.....	78
Quadro 17 - Principais origens e tipos de resíduos por fase da obra.....	81
Quadro 18 - Principais origens e tipos de resíduos por tipo de obra.....	81
Quadro 19 - Oportunidades e dificuldades para a demolição seletiva.....	87
Quadro 20 - Destinação final adequada dos resíduos de acordo com a classe.....	90
Quadro 21 - Publicações sobre gerenciamento de resíduos em canteiros de obras.....	90
Quadro 22 - Critérios de implantação de áreas de reciclagem de RCD.....	98
Quadro 23 - Características dos itens considerados na estimativa dos custos de implantação da usina.....	100
Quadro 24 - Classificação dos SAD.....	105
Quadro 25 - Responsabilidades e utilidades do SIGOR para cada usuário.....	111
Quadro 26 - Vantagens e limitações dos SAD desenvolvidos no Brasil.....	113
Quadro 27 - Indicadores de gestão de RCD definidos a partir do que estabelece a Resolução CONAMA nº 307/2002.....	122
Quadro 28 - Indicadores dos instrumentos de gestão de RCD.....	123
Quadro 29 - Indicadores dos programas de gestão de RCD.....	123
Quadro 30 - Indicadores da coleta e triagem de RCD.....	124
Quadro 31 - Indicadores do tratamento e disposição final de RCD.....	124
Quadro 32 - Classificação das pontuações do IGRCD.....	125
Quadro 33 - Variáveis e categorias aplicadas na identificação dos impactos socioambientais.....	126
Quadro 34 - Critérios e <i>scores</i> utilizados para a classificação dos riscos ambientais..	127
Quadro 35 - Critérios escolhidos por pesquisas anteriores relacionadas à localização de aterros de inertes e usinas.....	134
Quadro 36 - Hierarquia dos critérios obtida por pesquisas anteriores.....	137

Quadro 37 - Escala fundamental de números absolutos.....	138
Quadro 38 - Índice de consistência aleatória.....	139
Quadro 39 - Comparação dos critérios aos pares.....	185
Quadro 40 - Descrição das atividades realizadas pelos usuários dos módulos do SIGERCON.....	212
Quadro 41 - Modelo conceitual com as necessidades observadas.....	213
Quadro 42 - Dados requeridos para denúncia no sistema mobile.....	230
Quadro 43 - Resumo das informações integradas do SIGERCON.....	233
Quadro 44 - Relação entre os itens estabelecidos pelo Código de Limpeza Urbana e ferramentas do SIGERCON.....	247

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados gerais da indústria da construção – Brasil – 2012-2017.....	35
Tabela 2 - Estimativa da geração de RCD a partir do parâmetro das áreas licenciadas (novas edificações).....	41
Tabela 3 - Estimativa da geração total de RCD para os municípios brasileiros em 2013.....	42
Tabela 4 - Composição do RCD em algumas cidades brasileiras.....	43
Tabela 5 - Composição de RCD de acordo com a origem.....	44
Tabela 6 - Número de disposições irregulares de RCD cadastrados em algumas cidades brasileiras.....	46
Tabela 7 - Quantidade de Ecopontos instalados em alguns municípios brasileiros...	60
Tabela 8 - Valor gasto em 2012 pela prefeitura de São Paulo para a limpeza urbana dos RCD.....	64
Tabela 9 - Taxas de geração de RCD obtidas em pesquisas internacionais.....	78
Tabela 10 - Taxas de geração de RCD obtidas em pesquisas nacionais.....	79
Tabela 11 - Taxa de geração de resíduos de acordo com o tipo de material.....	79
Tabela 12 - Percentagem dos tipos de materiais em relação ao tipo de obra.....	82
Tabela 13 - Percentagem dos tipos de materiais em relação ao total de RCD gerado nas obras (%).....	83
Tabela 14 - Composição gravimétrica dos RCD gerados em municípios brasileiros (%).....	83
Tabela 15 - Usinas de reciclagem de RCD instaladas em alguns municípios do Brasil.....	95
Tabela 16 - Dados históricos da oferta de agregados reciclados no Brasil de 2002 a 2015.....	96
Tabela 17 - Estimativa dos custos de instalação de usinas de beneficiamento de RCD no Brasil.....	101
Tabela 18 - Principais funcionalidades dos Sistemas de Apoio à decisão desenvolvidos no Brasil.....	113
Tabela 19 - Categorização das classes sociais de acordo com a renda.....	128
Tabela 20 - <i>Score</i> dos pontos devido ao porte da pilha de resíduos.....	129
Tabela 21 - Classes de risco ambiental e as respectivas pontuações.....	129
Tabela 22 - Área mínima necessária para implantação das ATT.....	132
Tabela 23 - Classes de fragilidade de acordo com os tipos de solos.....	135
Tabela 24 - Critérios restritivos e classificação através de índices de aptidão.....	136
Tabela 25 - Critérios escalonados e classificação através de índices de aptidão.....	136
Tabela 26 - Aptidão das áreas para instalação de aterros de inertes e usinas.....	139
Tabela 27 - Características das obras analisadas com dados completos.....	142
Tabela 28 - Matriz de sustentabilidade do grupo Instrumentos de Gestão.....	153
Tabela 29 - Matriz de sustentabilidade do grupo Programas Municipais de RCD.....	154
Tabela 30 - Matriz de sustentabilidade do grupo Triagem e Coleta de RCD em Recife.....	155
Tabela 31 - Matriz de Sustentabilidade do grupo Tratamento e Disposição Final dos RCD.....	156
Tabela 32 - Quantidade de pontos de deposição irregular de RCD mapeados na cidade do Recife/PE.....	159
Tabela 33 - Pontos de deposição irregular, e sua relação com as características	161

socioeconômicas das RPAs.....	170
Tabela 34 - Quantidade de pontos de acordo com a pontuação obtida.....	173
Tabela 35 - Classificação dos pontos de deposição irregular de acordo com as RPA...	178
Tabela 36 - Quantidade de ecoestações propostas no município estudado.....	181
Tabela 37 - Área construída e disponível das Ecoestações (EE).....	182
Tabela 38 - Quantidade de obras em cada RPA de Recife.....	184
Tabela 39 - Quantidade de obras em cada zona do Recife e estimativa da geração de RCD.....	185
Tabela 40 - Peso dos critérios aos pares.....	185
Tabela 41 - Pesos estatísticos dos critérios da matriz AHP.....	190
Tabela 42 - Área total disponível para instalação de aterro de inertes e usinas nos municípios da RMR.....	195
Tabela 43 - Geração total e índices de geração de RCD por faixas de área construída.....	196
Tabela 44 - Taxa de geração de RCD por tipo de material.....	196
Tabela 45 - Comparativo da taxa de geração por material com outros autores.....	198
Tabela 46 - Volume e Índices de Perda (IP) para as fases de construção e classes de resíduos.....	199
Tabela 47 - Custos de gerenciamento de RCD por faixa de área construída.....	201
Tabela 48 - Estatística descritiva dos dados coletados.....	202
Tabela 49 - Estatística descritiva da variável dependente (Geração de RCD) para as Obras Controle (Grupo 1) e as Demais Obras (Grupo 2).....	202
Tabela 50 - Análise de variância da variável dependente para os grupos 1 e 2 pelo Teste F.....	203
Tabela 51 - Análise de Kruskal-Wallis para comparação das médias entre construtoras.....	204
Tabela 52 - Testes de normalidade da variável dependente (Geração total de RCD)...	205
Tabela 53 - Análise de correlação de Spearman.....	210
Tabela 54 - Coeficientes da regressão não-linear.....	211
Tabela 55 - Dados de entrada das obras utilizadas na validação do modelo.....	249
Tabela 56 - CD resultante de cada obra utilizada na validação.....	
Tabela 57 - Dados de entrada do município de Jaboatão dos Guararapes cadastrados no SIGERCON.....	

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ATT	Área de Transbordo e Triagem de Resíduos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CD	Coefficiente de Determinação
CTR	Controle de Transporte de Resíduos
IGR	Índice de Gestão de Resíduos
IGRCD	Índice de Gestão de Resíduos da Construção e Demolição
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PEV	Ponto de Entrega Voluntária
PGRCC	Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PHP	Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PIGRCC	<i>Hypertext Preprocessor</i>
PMGRCC	Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PMRS	Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos
PNEA	Política Nacional de Educação Ambiental
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Política Nacional de Saneamento Básico
PRR	Posto de Recebimento de Resíduos
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
REDRECK	Registro de Dados de Resíduos da Construção Civil
RMR	Região Metropolitana do Recife
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIGERCON	Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção
SIGOR	Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SISRCD	Sistema de Apoio À Gestão Municipal de RCD
SNIR	Sistema Nacional de Informações sobre Resíduos Sólidos
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
URPV	Unidade de Recebimento de Pequeno Volume

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	23
1.2	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	25
1.3	OBJETIVOS	27
1.3.1	Objetivo geral	27
1.3.2	Objetivos específicos	27
1.4	HIPÓTESE.....	28
1.5	ESTRUTURAÇÃO DA TESE.....	28
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL	29
2.1.1	Definição e classificação dos resíduos sólidos	29
2.1.2	A indústria da construção civil	33
2.1.3	Instrumentos legais voltados à gestão de resíduos sólidos	36
2.1.3.1	Política Nacional de Resíduos Sólidos e Política Estadual de Resíduos Sólidos	36
2.1.3.2	Resolução CONAMA nº 307/2002 – Diretrizes e critérios para a gestão dos resíduos da construção	37
2.1.3.3	Normas Técnicas da ABNT para aplicações de RCD	38
2.2	CARACTERIZAÇÃO DOS RCD GERADOS NOS MUNICÍPIOS	38
2.2.1	Caracterização quantitativa dos RCD municipais	39
2.2.2	Caracterização qualitativa dos RCD municipais	42
2.3	IMPACTOS AMBIENTAIS PROVENIENTES DOS RCD	45
2.4	GESTÃO INTEGRADA DE RCD NOS MUNICÍPIOS.....	47
2.4.1	Caracterização da gestão integrada de RCD	47
2.4.2	Alternativas de destinação de RCD nos municípios	52
2.4.2.1	Aterros de Resíduos Classe A.....	53
2.4.2.2	Área de Transbordo e Triagem de RCD.....	54
2.4.2.3	Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes	56
2.4.3	Experiências de gestão municipal de RCD	63
2.4.3.1	Belo Horizonte/MG.....	63
2.4.3.2	São Paulo/SP	64
2.4.3.3	Rio de Janeiro/RJ.....	64
2.4.3.4	Londrina/PR.....	65

2.4.3.5	João Pessoa/PB	65
2.4.4	Modelos de estruturação da gestão integrada de RCD	66
2.4.5	Indicadores de sustentabilidade para avaliação da gestão de RCD	70
2.5	CARACTERIZAÇÃO DOS RCD GERADOS NOS CANTEIROS DE OBRA	73
2.5.1	Caracterização quantitativa dos RCD em canteiros de obra.....	73
2.5.2	Caracterização qualitativa dos RCD em canteiros de obra	80
2.6	GESTÃO DE RCD EM CANTEIROS DE OBRAS.....	84
2.6.1	Demolição Seletiva	86
2.6.2	Triagem dos resíduos.....	87
2.6.3	Transporte dos resíduos coletados	88
2.6.4	Destinação final dos resíduos.....	89
2.7	RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	91
2.7.1	Experiências nacionais de utilização de usinas de beneficiamento de RCD	93
2.7.2	Critérios de localização de usinas de beneficiamento	98
2.7.3	Viabilidade econômica de implantação de usinas de RCD.....	99
2.8	SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO PARA GESTÃO DE RCD	103
2.8.1	Experiências internacionais e nacionais em desenvolvimento de SAD para a gestão de RCD.....	107
3	MATERIAIS E MÉTODOS	115
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	116
3.2	GESTÃO MUNICIPAL DE RCD NA CIDADE DO RECIFE.....	120
3.2.1	Desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade da gestão de RCD.....	120
3.2.2	Mapeamento dos pontos de deposição irregular de RCD.....	125
3.2.3	Classificação dos riscos ambientais provenientes da deposição de RCD	126
3.2.4	Indicação de áreas aptas para recebimento de RCD	129
3.2.4.1	Áreas de Recebimento de Pequenos Volumes	130
3.2.4.2	Áreas de Transbordo e Triagem de Resíduos.....	131
3.2.4.3	Aterros de inertes e usinas de reciclagem	133
3.3	GESTÃO DE RCD EM CANTEIROS DE OBRAS.....	140
3.3.1	Diagnóstico da gestão e geração de RCD em obras.....	140
3.3.2	Tratamento estatístico dos dados	143
3.3.3	Desenvolvimento do modelo matemático de geração de RCD.....	145
3.4	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RCD	146

3.4.1	Detalhamento do sistema	147
3.4.2	Aquisição de conhecimentos	148
3.4.3	Estruturação do sistema	148
3.4.4	Codificação do sistema	150
3.4.5	Validação do sistema	151
4	DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA CIDADE DO RECIFE	153
4.1	DESENVOLVIMENTO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DA GESTÃO DE RCD	153
4.2	MAPEAMENTO DOS PONTOS DE DEPOSIÇÃO IRREGULAR DE RCD.....	158
4.3	CLASSIFICAÇÃO DOS RISCOS AMBIENTAIS PROVENIENTES DA DEPOSIÇÃO DE RCD.....	166
4.4	INDICAÇÃO DE ÁREAS APTAS PARA RECEBIMENTO DE RCD	175
4.4.1	Instalação de URPVs na cidade do Recife	175
4.4.2	Instalação de ATTs na cidade do Recife	182
4.4.3	Instalação de Aterros de inertes e Usinas de beneficiamento de RCD	184
5	DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO DE RCD EM CANTEIROS DE OBRA	193
5.1	DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO DE RCD EM OBRAS	193
5.2	MODELO PARA ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE RCD EM OBRAS	201
5.2.1	Estatística descritiva dos dados	201
5.2.2	Análise de variância da variável dependente	202
5.2.3	Análise de regressão	203
5.2.4	Modelo matemático para estimativa da geração de RCD em obras de edificações	205
6	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO (SIGERCON)	212
6.1	MODELO CONCEITUAL	212
6.2	INSTANCIAÇÃO DO SISTEMA.....	213
6.2.1	Módulo I – Geradores	213
6.2.2	Módulo II – Órgãos Ambientais	218
6.2.3	Sistema Mobile do SIGERCON	229
6.2.4	Módulo III– Transporte e destinação final de resíduos	231
6.2.5	Integração dos módulos do SIGERCON	233
6.3	CODIFICAÇÃO DO SISTEMA.....	235
6.3.1	Sistema Web	235

6.3.2	Sistema mobile do SIGERCON	245
6.4	VALIDAÇÃO DO SISTEMA.....	247
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	254
7.1	CONCLUSÕES	254
7.2	RECOMENDAÇÕES	256
	REFERÊNCIAS.....	258
	APÊNDICE A - RESUMO DO LATTES – DIOGO HENRIQUE FERNANDES DA PAZ.....	282
	APÊNDICE B - RESUMO DO LATTES – MARIA DO CARMO MARTINS SOBRAL (ORIENTADORA)	283
	APÊNDICE C - RESUMO DO LATTES – KALINNY PATRÍCIA VAZ LAFAYETTE (CO-ORIENTADORA).....	284
	APÊNDICE D - ARTIGO PUBLICADO NA REVISTA WASTE MANAGEMENT & RESEARCH (QUALIS A1 – ENGENHARIAS I).....	285
	APÊNDICE E - ARTIGO PUBLICADO NA REVISTA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (QUALIS B2 – ENGENHARIAS I).....	286
	APÊNDICE F - ARTIGO PUBLICADO NA REVISTA ENVIRONMENT, DEVELOPMENT AND SUSTAINABILITY (QUALIS B2 – ENGENHARIAS I)	287
	APÊNDICE G - ARTIGO PUBLICADO NO V ENCONTRO PERNAMBUCO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (EPERSOL) - 2016.....	288
	APÊNDICE H - ARTIGO PUBLICADO NO V ENCONTRO PERNAMBUCO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (EPERSOL) - 2016.....	289
	APÊNDICE I - ARTIGO ACEITO PARA PUBLICAÇÃO NA THE JOURNAL OF SOLID WASTE TECHNOLOGY AND MANAGEMENT – PUBLICAÇÃO EM NOVEMBRO/2019.....	290

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada a problemática da gestão dos resíduos sólidos da construção e demolição (RCD) em áreas urbanas, abordando questões voltadas para o crescimento no consumo de recursos naturais, aumento na geração de RCD e sua disposição inadequada.

É apresentada também a justificativa da pesquisa, e sua importância para o desenvolvimento da gestão integrada de RCD, ao trazer soluções viáveis para os municípios brasileiros.

Além disso, os objetivos geral e específicos são apresentados, bem como a hipótese e a estruturação da tese, de acordo com os capítulos desenvolvidos.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A indústria da construção civil é reconhecida como um setor de grande contribuição para o desenvolvimento econômico e social do país, devido especialmente à quantidade de empregos diretos e indiretos gerados e influência em diversos outros setores que produzem materiais, equipamentos e serviços utilizados no seu processo produtivo (MARTINS, 2012; GULARTE *et al.*, 2017). De acordo com Bezerra *et al.* (2016), geralmente é um dos primeiros setores que apontam a situação financeira de uma região, tanto em momentos de crescimento quanto em momentos de recessão econômica.

Por outro lado, o setor também é um dos maiores consumidores de recursos naturais, representando cerca de 20% a 50% do total de recursos consumidos pela sociedade (MESQUITA, 2012; WU *et al.*, 2014), ocasionando em alterações na paisagem local (SILVA *et al.*, 2014; BEZERRA *et al.*, 2016) e elevada quantidade de resíduos gerados ao longo da cadeia construtiva (YUAN *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2014; KERN *et al.*, 2015).

De acordo com Borges *et al.* (2015), o crescimento populacional nos grandes centros urbanos proporcionou um aumento da demanda para a indústria da construção civil nas últimas décadas em diversos setores, o que ocasionou a geração de um volume significativo de RCD (ZHENG *et al.*, 2017; DUAN *et al.*, 2019), responsável por 10% a 35% de todos os resíduos gerados pela sociedade (LI e ZHANG, 2013; BIZCOCHO e LLATAS, 2018).

No entanto, devido à mudança do ciclo econômico, a atividade de construção entrou em uma fase de declínio, sofrendo uma desaceleração em 2014 e 2015 (ALMEIDA, 2016), ocorrendo uma redução na quantidade de RCD gerados em alguns países da Europa e no

Brasil (SÁEZ *et al.*, 2015). Por outro lado, a gestão destes resíduos tende a piorar na maioria dos países (CHENG e MA, 2013), de modo que, no caso da Espanha, a deposição irregular de RCD aumentou cerca de 20% após o início da crise (GERD, 2013).

Dessa forma, os RCD constituem um dos maiores problemas das áreas urbanas (SÁEZ *et al.*, 2012; YE *et al.*, 2012; GUERRERO *et al.*, 2013; YUAN *et al.*, 2013), pois apesar da maior parte dos resíduos não serem perigosos, ainda são gerados em volumes significativos (WON *et al.*, 2016). Na União Europeia, mais de 450 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição são gerados anualmente (BANIAS *et al.*, 2011). Já nos Estados Unidos, estudos como o de Sandler e Swingle (2006) apontam para uma geração aproximada de 136 milhões de toneladas de RCD anualmente, onde apenas 20 a 30% são reciclados.

Isso se deve à grande geração de resíduos proveniente principalmente dos pequenos geradores, além das construções onde, apesar de 90% dos RCD serem reaproveitáveis, conforme aponta Gusmão (2008), são destinados de forma inadequada, ocasionando uma série de problemas de ordem econômica, social e ambiental.

A disposição dos RCD em áreas ilegais traz uma série de impactos ambientais, como a poluição visual e o estreitamento de leitos dos rios, ocasionando enchentes, poluição das águas e solos, indução à deposição de outros tipos de rejeitos e atrativo para vetores de doenças. Além disso, até recentemente, a prática legal mais comum tende a ser a destinação final em aterros sanitários, locais construídos para receber preferencialmente resíduos orgânicos (BANIAS *et al.*, 2011). O volume substancial de RCD aterrado agiliza a diminuição da vida útil do aterro (ESIN e COSGUN, 2007).

Ciente desta situação, alguns países estão implementando políticas nacionais de controle dos RCD, bem como medidas específicas para prevenir a geração de resíduos que podem ser evitados e promover medidas para aumentar a reciclagem e recuperação destes (TSAI *et al.*, 2013; SILVESTRE *et al.*, 2014)

A indústria da construção civil tem a possibilidade de reaproveitar quase que totalmente os resíduos que produz ao longo de sua atividade. Enquanto outros setores industriais realizam programas de produção mais limpa de modo a reduzir a geração de resíduos, existe uma grande dificuldade em reduzir a quantidade dos materiais necessários para uma edificação sem comprometer a qualidade e a durabilidade do empreendimento (SILVA *et al.*, 2014). Apesar do elevado potencial de recuperação de RCD, e a existência de diversos modelos de gestão, os profissionais atualmente continuam a priorizar a eliminação ao invés buscar o reaproveitamento dos materiais (SHEN *et al.*, 2010). Dessa forma, buscam-se técnica

e alternativas para o reaproveitamento e destino desses resíduos, que sejam ambientalmente corretas e economicamente viáveis (AJAYI *et al.*, 2017).

Para Albuquerque (2015), as pesquisas relacionadas aos RCD em vários países tiveram início na década de 80, porém apenas com o estabelecimento de normas técnicas e instrumentos legais sobre o tema, observou-se um maior avanço nas buscas de alternativas de gestão desses resíduos, por parte do poder público e iniciativa privada. No Brasil, destaca-se a Resolução CONAMA nº 307/2002, que estabeleceu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCD, a Lei Federal nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010b) e o Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 (BRASIL, 2010a), que regulamentou a PNRS.

Uma das maneiras de minimizar o impacto provocado pelos resíduos é a implementação de uma gestão eficiente dos RCD, que exige uma abordagem apoiada por ferramentas de tomada de decisão. As ferramentas que estimam a geração de RCD ao longo da execução da obra é uma das mais importantes, por ser bastante útil para os gestores públicos e a indústria da construção civil como auxílio à quantificação com precisão e gerenciamento adequado dos RCD (LI e ZHANG, 2013).

Muitos métodos têm sido desenvolvidos para a gestão de resíduos de construção (WU *et al.*, 2016), como a criação de um programa de gestão de resíduos, a adoção de tecnologias de construção avançadas (como a pré-fabricação), a realização de triagem de resíduos no local, e utilização de métodos de construção precisa (LU *et al.*, 2011).

Além disso, várias outras pesquisas têm utilizado Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e ferramentas de Análise Multicritério, como auxílio ao planejamento da gestão de resíduos em áreas urbanas (BIOTTO *et al.*, 2009; DOSAL *et al.*, 2012; DING *et al.*, 2018).

A sociedade sofre influência dos RCD a partir de uma perspectiva econômica, social e ambiental. Os impactos econômicos da gestão de resíduos de construção sobre a sociedade englobam: o investimento na coleta de resíduos de construção, os custos de separação e triagem; custo de aquisição de equipamentos; benefícios econômicos da gestão de resíduos da construção civil; custo de aterros sanitários; e os lucros provenientes da reciclagem de resíduos (YE *et al.*, 2012).

1.2 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Conforme aponta Nagalli (2014), são diversas as pessoas físicas e jurídicas que atuam no gerenciamento dos RCD e que, dessa forma, há necessidade de um sistema de comunicação

eficiente, de modo que as partes interajam entre si, compartilhando dados. Assim, a documentação e registro de quaisquer atividades relacionadas à gestão integrada de resíduos deve ser considerada.

Neste sentido, De Castro *et al.* (2012) sugerem o fluxo de dados seja facilitado através do uso da informática, sistematizando e automatizando todo o processo de cadastro e gerenciamento

Porém, de acordo com Yuan e Shen (2011), devido à rápida urbanização nas últimas décadas e falta de atenção acerca da geração de RCD nos países em desenvolvimento, a disponibilidade de dados sobre o volume gerado, tipos de resíduos e custos de gerenciamento ainda são escassos, o que impossibilita o planejamento adequado da gestão integrada dos RCD.

Conforme aponta Guerra (2009), a falta de planejamento do gerenciamento de RCD em todas as fases de um canteiro dificulta que as obras mantenham constante o sistema de gerenciamento de resíduos e a possibilidade de reduzir continuamente o volume de RCD. Como consequência, tem-se um aumento no custo do gerenciamento, e redução do desempenho ambiental da empresa (CHEN *et al.*, 2002; MENDIS *et al.*, 2013).

Além disso, os municípios não fornecem uma estrutura adequada que permita a segregação, triagem, acondicionamento, transporte e destinação final ambientalmente adequada dos RCD, o que estimula a deposição irregular em vias públicas e margens de rios.

Neste contexto, surge a necessidade de desenvolvimento de uma ferramenta informatizada que auxilie na implementação de uma gestão integrada de RCD, envolvendo as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, e que contemplem técnicas e soluções que localizem os pequenos e grandes geradores, de forma a promover a redução da geração e melhoria no gerenciamento nas etapas de coleta, transporte, reutilização e reciclagem, além de alternativas de tratamento e disposição final.

Para mudar essa realidade, Maia *et al.* (2009) afirmam ser de grande relevância as parcerias entre a iniciativa privada, a sociedade civil e a gestão pública para elaboração e implementação do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PIGRCC), conforme estabelecido pela Resolução nº 307/2002, do CONAMA.

Para o planejamento da gestão integrada de RCD, é necessário possuir um conhecimento prévio do que está sendo gerado (dados qualitativos), o quanto está sendo gerado (dados quantitativos), e qual a destinação adequada a ser dada a esse material (PAZ, 2014; KERN *et al.*, 2015; CAETANO *et al.*, 2018). Apesar de já existirem pesquisas voltadas à caracterização desses resíduos, ainda não foi desenvolvido um banco de dados confiável que dê subsídios aos gestores na tomada de decisão referente ao gerenciamento dos RCD.

Gomes (2006) aponta que tomar uma decisão é fazer uma escolha entre as diversas alternativas disponíveis. Na gestão de RCD, deve-se sempre buscar a alternativa que ofereça os melhores resultados possíveis. As alternativas selecionadas para serem analisadas devem ser factíveis de atender o objetivo da decisão (gestão integrada), e serão comparadas em função de critérios e sob a influência de atributos.

Esta pesquisa surge como proposta de contribuir para uma gestão mais eficiente dos RCD proveniente dos pequenos e grandes geradores, ao dar apoio através da apresentação de alternativas, que aprimore o desempenho ambiental dos atores responsáveis pela gestão integrada de RCD nos municípios brasileiros.

1.3 OBJETIVOS

A seguir é apresentado o objetivo geral da pesquisa, bem como os objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo geral

Esta pesquisa tem como objetivo desenvolver um sistema computacional como subsídio à gestão integrada dos resíduos sólidos da construção e demolição para os municípios brasileiros.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar um diagnóstico da gestão atual de RCD na cidade do Recife (PE) por meio do uso de indicadores de sustentabilidade e indicar possíveis áreas para destinação adequada dos resíduos;
- Analisar a geração e classificação dos resíduos nos canteiros de obra e desenvolver novos indicadores de geração de RCD;
- Desenvolver um *software* que auxilie a gestão integrada dos RCD nos municípios brasileiros, a partir do estudo de caso;
- Formular um manual técnico para implementação do sistema de gestão integrada de RCD em municípios brasileiros.

1.4 HIPÓTESE

A utilização de um sistema de apoio à gestão integrada de RCD em ambiente computacional contribui para identificar as melhores alternativas de gestão para municípios brasileiros.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DA TESE

A tese está dividida em 7 capítulos, conforme descrito a seguir.

No capítulo 1, é apresentada a introdução da pesquisa, onde é realizada uma contextualização do tema abordado, a justificativa do trabalho e os objetivos propostos.

No capítulo 2, é apresentado um referencial teórico dos principais temas voltados à gestão de RCD, tratando de definições, classificação, caracterização quantitativa e qualitativa, instrumentos legais para a gestão dos RCD, gestão integrada de resíduos em municípios e sistemas de apoio à decisão.

No capítulo 3, são apresentados os materiais e métodos aplicados na realização da pesquisa, onde são descritas as etapas de diagnóstico da gestão municipal de resíduos, tratamento dos dados, estruturação, codificação e validação do sistema.

No capítulo 4, é apresentada a gestão integrada de resíduos da construção civil na cidade do Recife, onde são discutidos a coleta e tratamento dos dados referente à aplicação dos indicadores de sustentabilidade, mapeamento dos pontos de deposição irregular, além da indicação das áreas aptas para recebimento de RCD na cidade do Recife/PE.

No capítulo 5, é apresentado o diagnóstico da geração de RCD em canteiros de obra, onde são abordados a coleta dos dados referente à geração de resíduos nos canteiros de obra, o tratamento estatístico dos dados e o desenvolvimento do modelo matemático de geração de RCD.

No capítulo 6, é apresentado o desenvolvimento do sistema integrado de gerenciamento de resíduos da construção (SIGERCON), onde são descritas as etapas de estruturação, codificação e validação do *software*.

No capítulo 7, são apresentadas as conclusões e recomendações da pesquisa, a partir de um resumo dos resultados obtidos, e sugestões para pesquisas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os aspectos conceituais e técnicos dos resíduos sólidos da construção e demolição, abordando a classificação dada pela legislação ambiental vigente, e a caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos, baseados em diversas pesquisas já realizadas na área. São apresentados ainda os vários modelos de geração de RCD em canteiros de obra já desenvolvidos no âmbito nacional e internacional.

Posteriormente, são abordados os principais impactos ambientais provenientes da atividade da construção civil e consequente geração de resíduos, analisando também os impactos em termos sociais e econômicos, como a atração de vetores de doenças e o aumento dos custos de coleta, transporte e destinação final dos resíduos, fatos que motivaram o desenvolvimento desta pesquisa.

Em seguida, estão apresentadas as principais experiências nacionais de gestão municipal de RCD, dando uma maior ênfase em cidades das Regiões Metropolitanas, de modo a favorecer a definição dos indicadores de sustentabilidade utilizados nesta pesquisa. São abordados os aspectos técnicos e legais de implantação de Áreas de Transbordo e Triagem (ATT), Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes (URPV), Aterros de inertes e usinas de reciclagem de RCD.

São analisadas ainda as formas de gestão dos resíduos dentro do canteiro de obras, e as alternativas de reutilização dos materiais no processo construtivo, abordando-se o processo de reciclagem de RCD em usinas de beneficiamento.

Por fim, são apresentadas as ferramentas de apoio à decisão voltados para a gestão de RCD em canteiros de obras e nos municípios já desenvolvidas no Brasil e em outros países, analisando as características e aplicabilidade de cada ferramenta no auxílio aos gestores na gestão dos resíduos.

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A seguir são apresentados os principais conceitos relacionados aos resíduos sólidos, à indústria da construção civil, e os instrumentos relacionados à gestão de resíduos.

2.1.1 Definição e classificação dos resíduos sólidos

A norma brasileira NBR 10.004/04 (ABNT, 2004a) define resíduos sólidos como “resíduos no estado sólido e semissólido, que resultam de atividades da comunidade de

origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face de melhor tecnologia disponível”.

Já a *United States Environmental Protection Agency* (USEPA, 2019) define os resíduos sólidos como: “qualquer material ou rejeito, proveniente de lodo de estação de tratamento de águas residuais, estação de tratamento de água ou instalações de controle da poluição do ar e outros materiais descartados, resultantes de operações industriais, comerciais, de mineração e agrícolas”.

De acordo com Júnior *et al.* (2003), considerando-se os resíduos quanto à sua natureza, pode-se classificar da seguinte forma:

- facilmente degradáveis (FD): restos de comida, sobras de cozinha, folhas, capim, cascas de frutas, animais mortos e excrementos;
- moderadamente degradáveis (MD): papel, papelão, e outros produtos celulósicos;
- dificilmente degradáveis (DD): trapo, couro, pano, madeira, borracha, cerâmica;
- não degradáveis (ND): metal não ferroso, vidro, pedras, cinzas, terra, areia, cerâmica.

Existem vários critérios de classificação dos resíduos, dependendo do aspecto que está sendo considerado. O Quadro 1 mostra os diferentes critérios de classificação dos resíduos sólidos.

Quadro 1 - Critérios para a classificação de resíduos sólidos

Critério de classificação	Classes
Origem, fonte e local de produção	Doméstico, residencial ou domiciliar, comercial, hospitalar, especial, radioativo, industrial, público.
Tratabilidade	Biodegradável, descartável, reciclável
Grau de biodegradabilidade	Altamente degradável, moderadamente degradável, lentamente degradável, não degradável
Padrão econômico da fonte de produção	Alto, médio e baixo
Possibilidade de reagir	Inerte, orgânico e reativo
Economia	Aproveitável, inaproveitável e recuperável
Possibilidade de incineração	Combustível e não combustível
Possibilidade e recuperação energética	Alta, média e baixa
Ponto de vista sanitário	Contaminado e não contaminado
Natureza física	Seco e molhado
Composição química	Matéria orgânica e inorgânica
Periculosidade	Perigosos, não inertes e inertes

Fonte: Poletto *et al.* (2010)

A NBR 10.004/04 classifica os resíduos sólidos de acordo com o risco que oferecem (ABNT, 2004a):

“Classe I (ou perigosos) – são classificados como classe I ou perigosos os resíduos sólidos ou mistura de resíduos que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar riscos à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento da mortalidade ou incidência de doenças e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada”;

“Classe IIA (ou não inertes) – são classificados como classe IIA ou resíduos não inertes, os resíduos sólidos ou mistura de resíduos que não se enquadram na classe I – perigosos ou na classe IIB – inertes. Estes resíduos podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, com possibilidade de acarretar riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos classe I – perigosos - ou classe IIB – inertes”;

“Classe IIB (ou inertes) – são classificados como Classe IIB ou resíduos inertes, os resíduos sólidos ou mistura de resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa (conforme a Norma NBR 10.007 – Amostragem de resíduos – Procedimento) e submetidos ao teste de solubilização (Norma NBR 10.006 – Solubilização de resíduos – Procedimento), não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se o aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme Anexo G – Padrões para o teste de solubilização”.

Considerando o critério de origem e produção, pode-se classificar os resíduos conforme o Quadro 2.

Dentro da classificação dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), tem-se os Resíduos da Construção Civil (RCD). O termo RCD é geralmente utilizado para se referir aos resíduos sólidos gerados no setor de construção civil (YUAN e SHEN, 2011). Para Shen *et al.* (2004), mais especificamente, o termo é definido como os resíduos que resultam das atividades de construção, reforma e demolição, incluindo a escavação ou terraplenagem e obras rodoviárias. Com o advento da Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os RCD tiveram sua classificação própria, não mais estando dentro da classificação de RSU.

Quadro 2 - Classificação dos resíduos sólidos de acordo com a origem e produção

Origem	Descrição
Resíduos Urbanos	Provenientes de residências, estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, da varrição, de podas e da limpeza de vias, logradouros públicos, de sistema de drenagem urbana e tratamento de esgotos, os entulhos da construção civil e similar;
Resíduos Industriais	Provenientes de atividades de pesquisa e transformação de matérias-primas e substâncias orgânicas e inorgânicas em novos produtos. Por processos específicos, bem como os provenientes das atividades de mineração, de montagem e aqueles gerados em áreas de utilidades e manutenção dos estabelecimentos industriais;
Resíduos de Serviços de Saúde	Provenientes de atividades de natureza médico-assistencial, de centros de pesquisa e de desenvolvimento e experimentação na área de saúde bem como os remédios vencidos e/ou deteriorados requerendo condições especiais quanto ao acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final, por apresentarem periculosidade real ou potencial à saúde humana, animal e ao meio ambiente;
Resíduos Especiais	Provenientes do meio urbano e rural que pelo seu volume, ou por suas propriedades intrínsecas exigem sistemas especiais para acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final, de forma a evitar danos ao meio ambiente;
Resíduos de atividades rurais	Provenientes da atividade agrosilvopastoril, inclusive os resíduos dos insumos utilizados nestas atividades;
Resíduos de serviços de transporte	Decorrentes da atividade de transporte e os provenientes de portos, aeroportos, terminais rodoviários, ferroviários e portuários e postos de fronteira;
Rejeitos radioativos	Materiais resultantes de atividades humanas que contenham radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados de acordo com a norma da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, e que sejam de reutilização imprópria ou não prevista, observado o disposto na Lei nº 11.423.

Fonte: Júnior *et al.*(2003); Poletto *et al.* (2010)

A Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) apresenta a definição de RCD mais utilizada nacionalmente:

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

Além disso, os RCD, no geral, são classificados pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a) em Classe IIB – inertes, pelo fato deste resíduo ser constituído principalmente por componentes minerais não poluentes e ser praticamente inerte quimicamente. Porém, também são gerados em uma pequena quantidade resíduos classificados como Classe I (Perigosos), como as tintas e solventes, e Classe IIA (Não inertes), como os resíduos orgânicos.

A classificação específica para os RCD é dada pela Resolução CONAMA nº 307/2002, a qual os identifica em quatro classes de resíduos, as quais devem ter tratamentos distintos, conforme o Quadro 3. A resolução CONAMA nº 348, de 16 de agosto de 2004, e a resolução CONAMA nº 431, de 24 de maio de 2011, modificaram a classificação dada pela resolução nº 307, inserindo o amianto como material perigoso (classe D) e mudando a classificação do gesso, de classe C para a classe B, respectivamente.

Mais recentemente, a Resolução CONAMA nº 469/2015 alterou a classificação das embalagens vazias de tintas imobiliárias de Classe D para Classe B, e estabelece que serão submetidas a sistema de logística reversa, conforme requisitos da Lei nº 12.305/2010.

Quadro 3 - Classificação dos RCD de acordo com a CONAMA nº 307/2002

Classe	Definição
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: tijolos, concreto, argamassa, blocos, telhas, placas de revestimentos, solos provenientes de terraplanagem, etc.
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação.
D	São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos que contenham amianto e outros produtos nocivos à saúde.

Fonte: Brasil (2002) e alterações

Embora o gesso tenha sido reclassificado como resíduo classe B, o seu acondicionamento deve ser realizado separadamente dos outros resíduos de sua classe e de outras classes, em recipiente próprio, para futura reciclagem (CABRAL e MOREIRA, 2011).

Na visão de Freitas (2009), a descrição dos RCD em classes bem definidas facilita o manejo e segregação dos resíduos por parte do gerador, pois dessa forma é possível identificar a melhor solução para os resíduos gerados no seu empreendimento, obtendo-se assim, uma redução de custo ao reduzir o desperdício e viabilizar a reutilização destes.

2.1.2 A indústria da construção civil

Conforme apresentado por Mello e Amorim (2009), a indústria da construção civil compõe-se de uma cadeia produtiva bastante complexa, que envolve diversos setores industriais, como a mineração, siderurgia do aço, metalurgia do alumínio e do cobre, vidro,

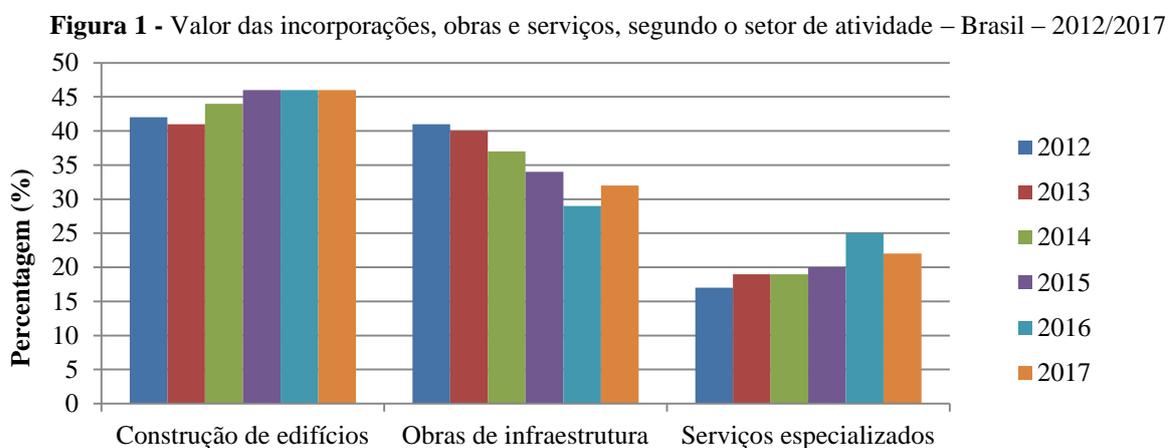
cerâmica, madeira, plásticos, equipamentos elétricos e mecânicos, fios e cabos, além de prestadores de serviços, como escritórios de projetos, serviços de engenharia, dentre outros.

Para Martins (2012), ainda que o macrossetor da construção civil seja composto por diversos segmentos, a construção em si possui maior importância na cadeia produtiva, se considerada sua representatividade de 65% na composição da cadeia produtiva e o fato dela ser a principal consumidora dos demais materiais e serviços componentes desta cadeia (MARTINS, 2012).

Este setor possui uma grande importância para o crescimento e desenvolvimento nacional devido a (CBIC, 2016):

- um elevado efeito multiplicador;
- uma menor necessidade de investimento, devido à baixa relação capital/produto;
- utilização intensiva de mão-de-obra, incluindo a não qualificada;
- responsabilidade por significativa parte dos investimentos;
- reduzido coeficiente de importação

O setor que mais contribui para o crescimento do valor corrente das incorporações, obras e/ou serviços é o da construção de edifícios (R\$ 128,2 bilhões), de acordo com dados da Pesquisa Anual da Indústria da Construção (IBGE, 2018), com participação de 45,8% do total. O segundo em termos de participação foi o segmento de obras de infraestrutura (R\$ 90,2 bilhões), com 32,2% em 2017, registrando uma redução em relação à 2016. Quanto ao setor de serviços especializados para construção (R\$ 61,6 bilhões), tem-se mostrado um crescimento na sua participação, indo de 19,4% em 2015, para 22% em 2017, conforme a Figura 1.



Fonte: IBGE (2016)

Ainda segundo o PAIC, a maior parte das empresas de construção civil (52%) é de pequeno porte (até quatro pessoas), enquanto as empresas com 30 ou mais representam 8% do total. A Tabela 1 apresenta outros dados gerais da indústria da construção civil.

Tabela 1 - Dados gerais da indústria da construção – Brasil – 2012-2017

Ano	Número de empresas ativas	Pessoal ocupado	Salários, retiradas e outras remunerações	Gastos com pessoal	Total dos custos e despesas	Valor das incorporações, obras e serviços	Valor das obras e/ou serviços	Construções para entidades públicas	Receita operacional líquida
2012	106.097	2.826.615	60.471	90.861	277.742	337.177	326.451	114.228	313.484
2013	111.931	2.961.190	67.401	102.293	301.796	357.722	346.650	116.840	337.604
2014	128.012	2.894.458	74.129	108.110	329.406	395.132	382.687	129.780	370.783
2015	131.487	2.439.429	68.577	99.691	299.206	354.359	337.949	103.495	323.971
2016	127.332	2.013.789	58.514	86.266	266.292	309.639	299.100	94.139	292.777
2017	126.316	1.909.293	53.551	78.426	239.257	249.439	280.008	83.716	256.861

Fonte: IBGE (2018)

A indústria da construção civil tem passado por uma grande transformação, cuja competitividade existente no setor demonstra a necessidade de mudanças, uma vez que este acelerado crescimento tem gerado uma série de preocupações, como o atendimento aos prazos de entrega de obras e custos previstos no orçamento (PINHO, 2013).

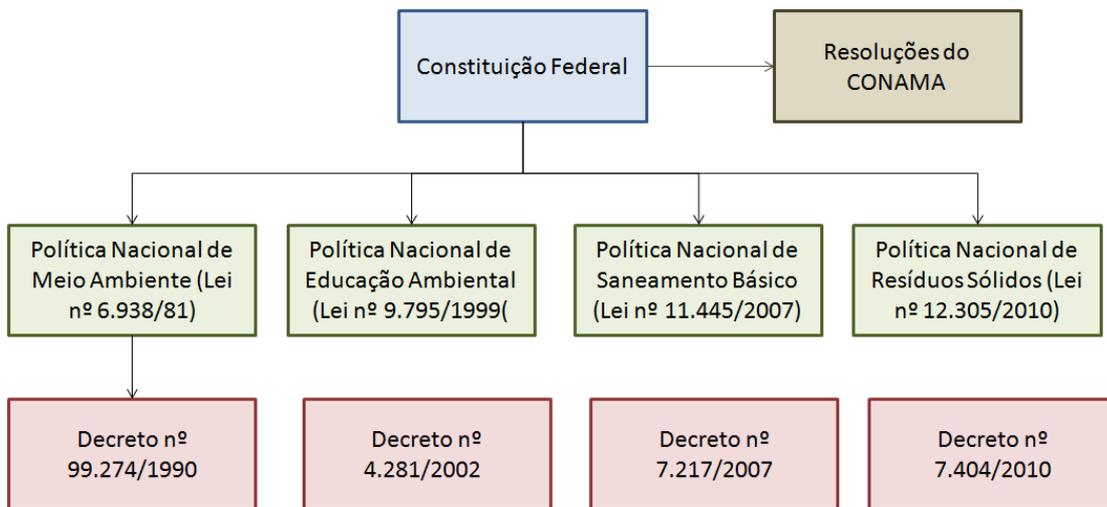
Em termos de produtividade, qualidade e funcionalidade do produto, o desempenho da indústria da construção civil tem sido baixo quando comparado a outras indústrias, que ocorre devido à baixa taxa de inovação tecnológica (GRADVOHL *et al.*, 2011). Todos esses aspectos contribuem para uma maior perda de materiais nos canteiros e, conseqüentemente, uma maior geração de resíduos.

Martins (2012) aponta que a indústria da construção nacional impulsiona a maioria dos segmentos produtivos e funciona como força motriz para o desenvolvimento do país. Por outro lado, é o setor que mais apresenta impactos ambientais em todas as etapas do seu processo, desde a extração da matéria-prima, produção de materiais, construção e uso, até a demolição. Tais impactos decorrem de variados fatores, entre os quais o enorme peso do macrossetor da construção civil na economia.

2.1.3 Instrumentos legais voltados à gestão de resíduos sólidos

De acordo com Silva (2015), a base legal brasileira (Figura 2) que abrange os resíduos sólidos envolve a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), que se articula com a Política Nacional de Educação (PNEA), a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), e a principal delas, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), e seus respectivos decretos que as regulamentam.

Figura 2 - Instrumentos legais voltados para a gestão dos RSU



Fonte: Adaptado de Jucá *et al.* (2013) e Silva (2015)

São descritos a seguir os principais instrumentos legais voltados para a gestão de RCD, aplicáveis à área de estudo desta pesquisa.

2.1.3.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos e Política Estadual de Resíduos Sólidos

A PNRS (BRASIL, 2010b) e a Lei Estadual nº 14.236, de 13 de dezembro de 2010, que estabelece a Política Estadual de Resíduos Sólidos - PERS (PERNAMBUCO, 2010) define como sendo de responsabilidade do estado a elaboração de um Plano Estadual de Resíduos Sólidos, e que deve abranger a gestão dos RCD. A lei também estabelece que a responsabilidade administrativa, nos casos de ocorrências envolvendo resíduos, de qualquer origem ou natureza, que provoquem danos ambientais ou ponham em risco a saúde da população, recairá sobre:

“Os estabelecimentos geradores, no caso de resíduos provenientes da construção civil, indústria, comércio e de prestação de serviços, inclusive os de saúde, no tocante ao transporte, tratamento e destinação final para seus produtos e embalagens

que comprometam o meio ambiente e coloquem em risco a saúde pública...” (BRASIL, 2010b).

Dentre os instrumentos definidos pela PNRS, vários se correlacionam com a gestão de RCD, porém destacam-se:

- os planos de resíduos sólidos;
- a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;
- a educação ambiental;
- o Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos;
- o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras.

Em relação aos planos de resíduos sólidos, o Art. 20 estabelece que estão sujeitos à elaboração de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS): “III - as empresas de construção civil, nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA”.

2.1.3.2 Resolução CONAMA nº 307/2002 – Diretrizes e critérios para a gestão dos resíduos da construção

A Resolução nº 307, de 5 de Julho de 2002 (BRASIL, 2002), que estabelece as “diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil”, é o primeiro instrumento legal a tratar especificamente sobre a gestão dos RCD. O principal instrumento da resolução é a implementação do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PIGRCC), que será discutido posteriormente.

Esta Resolução estabelece ainda que os RCD não podem ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei, obedecidos os prazos definidos no art. 13 desta Resolução. Foi definido ainda que, no prazo máximo de dezoito meses, os Municípios e o Distrito Federal deverão cessar a disposição de resíduos de construção civil em aterros de resíduos domiciliares e em áreas de “bota fora”.

Recentemente, foi estabelecida a Resolução CONAMA nº 469/2015, que alterou a CONAMA nº 307/2002, ao tornar obrigatório o sistema de logística reversa das embalagens vazias de tintas imobiliárias¹, conforme requisitos da Lei nº 12.305/2010. Para isso, foi alterado o Art. 3 da CONAMA nº 307/2002, mudando a classificação das embalagens de tintas vazias da Classe D para a Classe B.

2.1.3.3 Normas Técnicas da ABNT para aplicações de RCD

De acordo com Cabral e Moreira (2011), as normas técnicas específicas de RCD foram elaboradas pelos Comitês Técnicos e publicadas pela ABNT em 2004, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 - Normas técnicas da ABNT relativas aos RCD

Norma	Título
NBR 15.112/04	Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.
NBR 15.113/04	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes. Aterros. Diretrizes para projeto, implantação e operação.
NBR 15.114/04	Resíduos sólidos da construção civil. Áreas de reciclagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação
NBR 15.115/04	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Execução de camadas de pavimentação. Procedimentos.
NBR 15.116/04	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos

Estas normas envolvem as diretrizes para implantação de áreas de transbordo e triagem, de aterros de inertes e de reciclagem dos RCD, além de procedimentos para a execução da pavimentação com agregados reciclados e de concreto sem função estrutural.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RCD GERADOS NOS MUNICÍPIOS

A seguir é apresentada uma revisão bibliográfica de dados quantitativos e qualitativos referentes aos RCD proveniente de pesquisas já realizadas em municípios brasileiros.

¹ “No âmbito dessa resolução consideram-se embalagens vazias de tintas imobiliárias, aquelas cujo recipiente apresenta apenas filme seco de tinta em seu revestimento interno, sem acúmulo de resíduo de tinta líquida” (BRASIL, 2012).

2.2.1 Caracterização quantitativa dos RCD municipais

A intensa atividade no setor da construção durante a última década tem gerado enormes volumes de RCD, sendo responsável por cerca de 30% a 70% do total de resíduos gerados nas áreas urbanas^{2,3} (FREITAS, 2009; PIOVEZAN JÚNIOR *et al.*, 2010; MESQUITA, 2012; SÁEZ *et al.*, 2015). Tal valor sugere um índice preocupante de perda de materiais. Essa geração é diretamente proporcional ao crescimento e ao desenvolvimento econômico de uma sociedade cada vez mais urbanizada (TESSARO *et al.*, 2012).

Porém, o conhecimento da quantidade real de RCD gerados em municípios ainda é incipiente. De acordo com Kern *et al.* (2015), a quantificação da geração de RCD pode contribuir para o controle dos resíduos e fornecer um referencial para programas de redução do desperdício de materiais.

Neste sentido, a quantificação correta dos RCD ainda é um grande desafio, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil, onde as fontes de geração mais preocupantes são as obras informais (pequenos geradores), onde não se tem um banco de dados exitoso.

Conforme aponta Gusmão (2008), ainda não existe no Brasil uma metodologia consagrada no meio técnico para a estimativa da geração de RCD nos municípios. Porém, diversas pesquisas (CARNEIRO, 2005; MARQUES NETO, 2009; CÓRDOBA, 2010; FALCÃO, 2011) utilizaram a metodologia proposta por Pinto e González (2005)⁴, a qual pode ser realizada a partir de três fontes de informação:

- Cálculo da geração de RCD pelo parâmetro de áreas licenciadas;
- Transporte de RCD pelas empresas de coleta (movimentação de carga);
- Deposição dos resíduos nas áreas utilizadas como destino final de RCD.

Para quantificação do volume e massa de RCD produzidos nos municípios por meio do parâmetro de áreas licenciadas pelas prefeituras, são adotadas as seguintes diretrizes (MARQUES NETO e SCHALCH, 2010):

- Levantamento do total de áreas licenciadas no município nos últimos quatro anos;
- Levantamento das áreas licenciadas por tipo de obra e origem das construções nos

² Freitas (2009) observou que os RCD correspondem a aproximadamente 56% do volume de resíduos gerados no município de Batatais/SP.

³ Piovesan Júnior *et al.* (2010) observaram que 64% dos resíduos urbanos do município de Santa Rosa/RS correspondem aos RCD.

⁴ Pinto e González (2005) realizaram uma adaptação da metodologia desenvolvida por Pinto (1999).

últimos dois anos;

- Levantamento de informações e dados referentes à geração de RCD em pelo menos cinco obras de diferentes características do município;
- Determinação de valores-padrão do volume gerado nessas obras em relação à sua área construída;
- Cálculo da taxa de geração de RCD a partir dos dados obtidos nas construções;
- Cálculo do volume total produzido através da extrapolação dos índices padronizados volume/área das obras em relação às áreas totais licenciadas no município;
- Cálculo da massa total produzida através da relação massa/volume obtida da massa unitária oriunda da composição dos RCD.

A obtenção de dados sobre o movimento de cargas provenientes das empresas transportadoras se tornou uma variável importante na estimativa da geração dos RCD, pois estas empresas retiram diariamente das obras um volume expressivo de materiais (MARQUES NETO e SCHALCH, 2010). Ainda segundo estes autores, neste método aplica-se um questionário junto às empresas coletoras, para quantificar:

- O número de caçambas/dia retiradas das obras e transportadas até sua disposição final nos depósitos autorizados;
- Número de caçambas/mês retiradas das obras e transportadas até sua disposição final nos depósitos autorizados;
- Avaliação da capacidade volumétrica das caçambas retiradas;
- Cálculo do volume total/mês através do número de caçambas retiradas das obras pela sua capacidade volumétrica;
- Cálculo da massa total/mês pelo movimento de cargas das empresas coletoras, por meio da relação volume/massa obtido da massa unitária oriunda da composição dos RCD.

A Tabela 2 apresenta as estimativas de geração de RCD em alguns municípios que utilizaram a mesma metodologia (PINTO e GONZÁLEZ, 2005), de acordo com o parâmetro das áreas licenciadas de obras formais⁵.

⁵ Para manter o padrão dos dados, os cálculos de algumas pesquisas foram adaptados, para que todas as estimativas considerassem a média das áreas licenciadas dos anos levantados, quando possível, e não as áreas licenciadas do último ano disponível. Padronizou-se ainda a geração mensal considerando 26 dias. Não foi considerado neste cálculo o levantamento da movimentação de cargas e da quantidade de RCD disposta em aterro.

Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública (ABRELPE, 2018), mostram que os RCD coletados de despejos clandestinos por serviços de limpeza pública dos municípios tiveram uma redução de 0,1% de 2016 para 2017 (nos anteriores sempre houve aumento), totalizando em valores absolutos de 123.421 toneladas de RCD recolhidos diariamente somente de logradouros públicos. Porém, poucos municípios conseguem quantificar o volume de RCD disposto nas áreas irregulares, o que muitas vezes não é considerado nas estimativas.

Tabela 2 - Estimativa da geração de RCD a partir do parâmetro das áreas licenciadas (novas edificações)

Município	População (hab)	Média das Áreas licenciadas (m ² /ano)	Índice de geração (kg/m ²)	Geração de RCD (t/dia)	Taxa de geração (kg.hab.dia)	Fonte (Adaptado)
Batatais/SP	54.525	56.124,70	151,71	27,16	0,50	Freitas (2009)
São Carlos/SP	226.789	466.192,98	137,02	204,71	1,04	Córdoba (2010)
Olinda/PE	391.433	69.768,60	141,93	31,74	0,10	Falcão (2011)
Criciúma/SC	192.236	231.351,00	150,00	111,23	0,58	Cardoso (2011)
Içara/SC	58.859	63.434,00	150,00	30,50	0,52	Cardoso (2011)
São Leopoldo/RS	213.098	166.850,90	150,00	80,22	0,38	Silva (2011)
Viçosa/MG	72.244	106.284,90	150,00	51,10	0,71	Buselli (2012)
Matinhos/PR	29.172	32.604,6	49,58	5,18	0,18	Schmitz (2012)
Pontal do Paraná/PR	20.839	48.073,20	49,58	7,64	0,37	Schmitz (2012)
João Pessoa/PB	723.515	415.289,00	60,40	80,40	0,11	Pimentel (2013)
Constantina/RS	9.752	13.555,40	150,00	6,52	0,67	Dordi (2013)
Lagarto/SE	48.854	53.327,90	150,00	25,64	0,52	Prata (2013)
Ilha Solteira/SP	25.071	70.308,00	96,00	33,80	1,35	Oliveira (2014)
Jaboatão dos Guararapes/PE	644.620	320.329,50	212,53	212,53	0,33	Santos (2015)

Fonte: Elaborado pelo autor

Angulo *et al.* (2011) apresentam uma validação de métodos de quantificação de RCD, sendo um direto e outro indireto, considerando a produção advinda dos agentes informais (reforma) e formais (construção). O método indireto tem como objetivo quantificar a geração de RCD em massa, considerando a área construída das edificações (construção) e transformação dos pontos de ligação de água e luz instalados (reforma). Já o método direto quantifica a geração de RCD em volume, identificando-se a geração advinda dos agentes informais (reforma) e formais (construção) nas proximidades dos pontos de disposição finais, nas diferentes regiões do município.

Aplicando-se a análise comparativa em um município de 36.300 habitantes na região Noroeste do estado de São Paulo, obteve-se que, com base no método direto, os resíduos de reforma correspondem a 82% da massa dos RCD gerados no município. A geração *per capita*

média de RCD está em torno de 367 kg/hab/ano, e apresenta correlação com o índice de desenvolvimento humano (IDH) para os municípios paulistas (ANGULO *et al.*, 2011).

Como forma de estimar a geração atual de RCD nos municípios brasileiros, Paz *et al.* (2013) realizaram uma análise estatística com dados de 2003 a 2012 de 112 municípios. A média de geração *per capita* obtida foi de 1,33 kg/hab/dia ou 485 kg/hab/ano, ficando este valor dentro da faixa apresentada na Tabela 2, que foi de ordem de 37 a 493 kg/hab/ano e muito próximo ao valor obtido por Angulo (2005) que foi aproximadamente 500 kg/hab/ano (Tabela 3).

Tabela 3 - Estimativa da geração total de RCD para os municípios brasileiros em 2013

População	nº de municípios	Geração média de RCD (t/dia)	Geração <i>per capita</i> (kg/hab/dia)	Geração <i>per capita</i> (kg/hab/ano)	Geração total de RCD (t/dia)	Geração total de RCD (t/ano)
acima de 500 mil	37	1345,3	1,2	449,7	49776,5	18.168.411
de 201 a 500 mil	91	461,5	1,4	514,3	41998,6	15.329.494
de 71 a 200 mil	275	94,8	0,8	301,1	26060,9	9.512.223
de 21 a 70 mil	1128	80,7	0,9	312,7	91048,3	33.232.629
até 20 mil	4034	10,7	1,7	546,4	43070,8	15.720.847
TOTAL	5565	-	-	-	251.955,0	91.963.587

Fonte: Paz *et al.* (2013)

Para Coelho e Brito (2011b), além de saber a quantidade total de RCD gerados no município, é importante também conhecer a composição dos resíduos, uma vez que irá informar os gestores e técnicos sobre os materiais que terão de lidar e em que proporções, o que ajuda no processo de tomada de decisões, economizando tempo e recursos.

2.2.2 Caracterização qualitativa dos RCD municipais

Os RCD, em relação a sua composição, possuem características bastante heterogêneas, comparando-se com resíduos gerados por outras indústrias, pois possuem em sua composição parcelas de praticamente todos os materiais que foram utilizados na construção da obra (PONTES, 2007). Conforme apresenta Angulo (2005), a maior parte do RCD (90% em massa) é de origem mineral, composta por concretos, argamassas, blocos e telhas.

Já foram realizados no Brasil diversos estudos de caracterização qualitativa dos RCD em municípios. A Tabela 4 apresenta a composição de RCD em algumas cidades brasileiras, através de pesquisas realizadas nos últimos 10 anos.

Marques Neto (2009) realizou um diagnóstico da gestão de RCD em 64 municípios do

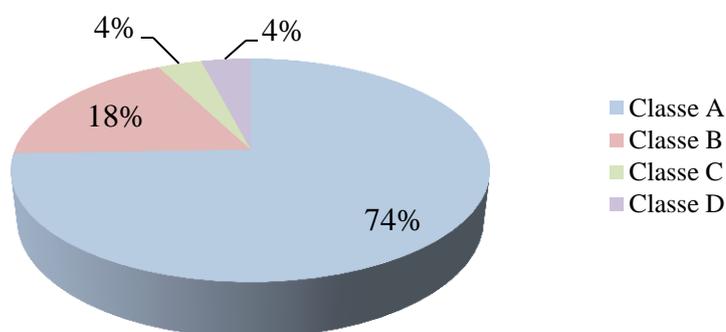
estado de São Paulo. Destes, obteve dados de composição de RCD em 22 municípios. Identificou-se que os resíduos classe A correspondem em média a 74% dos RCD gerados nestes municípios, seguido dos resíduos Classe B, com 18% (Figura 3).

Tabela 4 - Composição do RCD em algumas cidades brasileiras

Material (%)	Petrolina ¹	Batatais ²	São Carlos ³	Olinda ⁴	Pelotas ⁵	Viçosa ⁶	Fortaleza ⁷	Ji Paraná ⁸
Argamassa	23,6	6,3	8,0	22,4	16,0	18,0	22,0	10,7
Concreto	14,1	37,7	19,0	32,2	16,0	15,0	15,6	6,8
Cerâmica polida	-	3,4	14,0	32,3	-	1,2	6,3	1,6
Cerâmica Pedras	45,5	19,2	26,0	10,6	31,0	13,6	24,8	7,6
Areia/Solo	-	-	10,0	-	-	1,34	-	1,9
Gesso	8,0	32,3	9,0	-	25,0	44,4	24,6	9,3
Madeira	6,3	0,04	1,0	-	1,0	4,5	5,0	0,3
Metals	2,0	0,54	7,0	1,0	4,0	0,7	-	0,7
Material miúdo	-	0,20	2,0	-	2,5	0,6	-	0,3
Outros	-	-	-	1,4	-	-	-	20,0
	0,5	0,1	4,0	-	4,5	0,7	1,7	40,8

Fonte: ¹Santos (2008); ²Freitas (2009); ³Marques Neto e Schalch (2010); ⁴Falcão (2011); ⁵Tessaro *et al.* (2012); ⁶Buselli (2012); ⁷Lima e Cabral (2013); ⁸Orozco e Frederico (2015)

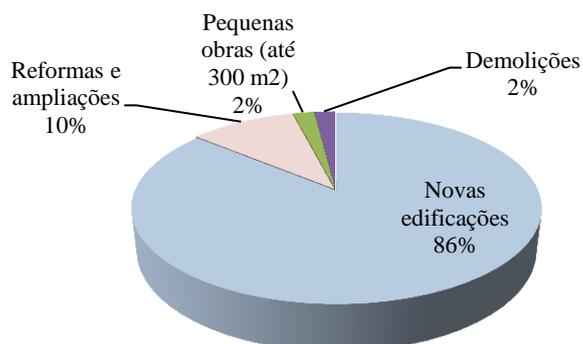
Figura 3 - Composição dos RCD em 22 municípios do estado de São Paulo



Fonte: Marques Neto (2009)

Já de acordo com os levantamentos realizados por Prata (2013) e Alves (2015), em Lagarto/SE e Campo Mourão/PR, respectivamente, os resíduos Classe A nos pontos de deposição irregular correspondem a 97,3% e 91,5%, enquanto que classe B correspondem a 1,86% e 8,14%.

A origem dos RCD nos municípios, em grande parte, é proveniente das novas edificações, principalmente os edifícios convencionais multifamiliares, conforme levantamento realizado no município de Viçosa (BUSELLI, 2012), seguido das reformas e ampliações de edifícios já existentes (Figura 4).

Figura 4 - Origem dos RCD no município de Viçosa no ano de 2010, baseada nas obras licenciadas

Fonte: Buselli (2012)

Freitas (2009) verificou que as novas edificações correspondem a 76,27% das obras no município de Batatais/SP. As ampliações correspondem a 23,10%, enquanto que 0,63% das áreas licenciadas referem-se à demolições.

A composição dos RCD pode variar de acordo com a origem do material. A Tabela 5 apresenta o comparativo da composição dos RCD proveniente de obras novas com obras de reforma e demolição, de acordo com dados obtidos por Orozco e Frederico (2015).

Tabela 5 - Composição de RCD de acordo com a origem

Material	Obras novas (%)	Reformas e demolições (%)
Concreto	14,53	3,22
Argamassa	2,35	14,43
Tijolo	2,63	10,16
Madeira Cerrada	0,48	0,75
Papel	0,35	0,17
Cerâmica	0,66	2,04
Plástico, PVC e sacos	0,77	0,15
Ferro, fios e arames	0,73	0,08
Material agregado	8,92	2,97
Terra	29,33	0,17
Pedra	6,15	-
Caliça retida	19,25	42,07
Caliça peneirada	12,60	23,38
Gesso	1,07	-
Material orgânico e galhos	0,86	-

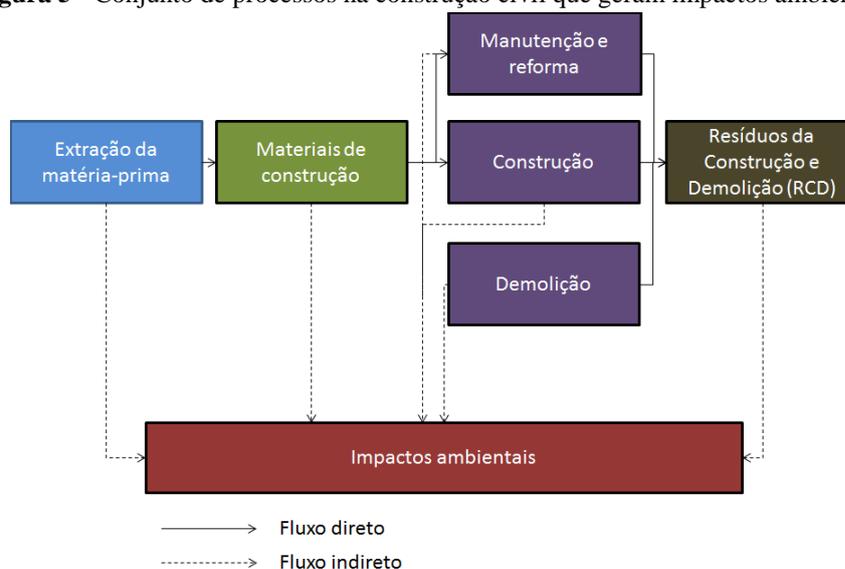
Fonte: Adaptado de Orozco e Frederico (2015)

Mesquita (2012) acrescenta que a composição média dos RCD também varia de acordo com a região estudada e o período de análise, o que impossibilita a fixação de valores definitivos de porcentagem para cada material. O autor ainda complementa que em um mesmo local de amostragem, pode-se ter grandes variações na participação de alguns materiais.

2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS PROVENIENTES DOS RCD

A indústria da construção gera uma série de impactos ambientais ao longo de toda sua cadeia produtiva, ao utilizar em grande escala matéria-prima não renovável, e consumir energia para a extração, transporte e processamento dos insumos (VALENÇA, 2008; JINGKUANG *et al.*, 2012). A Figura 5 apresenta a cadeia da construção civil onde são gerados impactos ambientais em todo o processo.

Figura 5 - Conjunto de processos na construção civil que geram impactos ambientais



Fonte: Adaptado de Schneider (2003)

Todo o volume de RCD gerado nos municípios está tornando os aterros sanitários e as reservas de matéria-prima cada vez mais esgotados (ESIN e COSGUN, 2007; YUAN e SHEN, 2011; YU *et al.*, 2013). Dentre os diversos impactos ambientais gerados, a deposição irregular de RCD nos centros urbanos é o mais preocupante (SEROR *et al.*, 2014; ESA *et al.*, 2017), principalmente nos países em desenvolvimento (CHANAKYA *et al.*, 2017).

Nos países em desenvolvimento, especialmente no Brasil, ainda é corrente a presença intensa e dispersa da deposição clandestina de RCD e outros resíduos, notadamente os volumosos e domiciliares, que causam danos ao meio ambiente, à sociedade e ao poder público (ALVES *et al.*, 2014; SEROR e PORTNOV, 2018).

Algumas construtoras preferem reduzir seus custos com a gestão de RCD ao depositá-los em áreas ilegais ao invés das áreas licenciadas, devido à distância do canteiro de obras os custos relacionados à destinação final (ZAINUN e OTHMAN, 2015; SEROR e PORTNOV, 2018; DUAN *et al.*, 2019). Porém, a maior quantidade de deposição irregular ainda provém dos pequenos geradores.

Esses locais, portanto, se tornam áreas de grande risco ambiental, agravando enchentes urbanas, poluição visual e proliferação de doenças (CARELLI e MIRANDA, 2013; BAKCHAN *et al.*, 2019), e ocasionado grandes impactos socioeconômicos e ambientais (YE *et al.*, 2012).

Além da poluição ambiental gerada pela deposição irregular, a gestão desses resíduos aumenta de forma significativa os custos da administração municipal na limpeza da área e restauração paisagística (FEIJÃO NETO, 2010; SEROR *et al.*, 2014). De acordo com Carelli e Miranda (2013), mesmo em capitais menores, como da Prefeitura de São Luís/MA, que possui cerca de 800.000 habitantes, são contabilizados gastos acima de R\$ 300.000,00/mês com remoção de resíduos.

Dessa forma, os municípios limpam com frequência esses pontos de forma corretiva e onerosa que, muitas vezes, situam-se em regiões periféricas e próximas de cursos d'água ou nos próprios rios e em áreas de preservação, tornando-se um passivo ambiental, e em pouco tempo recebem novas deposições (FEIJÃO NETO, 2010; FERNANDES, 2013; KLEIN e GONÇALVES-DIAS, 2017).

Uma das formas de minimizar a deposição irregular de RCD nas áreas urbanas é o mapeamento dos principais pontos de deposição (CHANAKYA *et al.* 2017), onde são utilizadas frequentemente as ferramentas de geoprocessamento. Neste sentido, pesquisadores realizaram levantamentos da quantidade de pontos de deposição espalhados pelo município, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Número de disposições irregulares de RCD cadastrados em algumas cidades brasileiras

Município	Total de deposições	Fonte
Vitória de Santo Antão/PE	68	Lorena <i>et al.</i> (2017)
Recife/PE	184	Albuquerque (2015)
Jaboatão dos Guararapes/PE	101	Santos (2015)
Campinas/SP	23	Kawatoko (2015)
Porto Alegre/RS	42	Silva (2014)
Teresina/PI	67	Farias (2014)
Goiânia/GO	187	Oliveira <i>et al.</i> (2013)
Uberlândia/MG	48	Ribeiro e Dias (2013)
Campina Grande/PB	46	Mendes (2013)
Lagarto/SE	51	Prata (2013)
Pelotas/RS	18	Tessaro <i>et al.</i> (2012)
Viçosa/MG	52	Buselli (2012)
Feira de Santana/BA	142	Oliveira (2012)
Pontal do Paraná/PR	16	Schmitz (2012)
Matinhos/PR	6	Schmitz (2012)
Criciúma/SC	97	Rosa (2011)
Olinda/PE	55	Falcão (2011)
Parnaíba/PI	43	Feijão Neto (2010)
Distrito Federal	537	Pinto (2008)

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas médias e grandes cidades, as empresas privadas de coleta e transporte de RCD se concentram nos centros urbanos, mas as deposições irregulares ocorrem com mais frequência na periferia, onde se concentra a população de baixa renda, e muitas vezes em municípios que não apresentam alternativas adequadas de descarte de resíduos (LIMA, 2012; KLEIN e GONÇALVES-DIAS, 2017).

Dessa forma, de acordo com Buselli (2012), é imprescindível a adoção de medidas que venham a disciplinar as ações relacionadas à deposição irregular de RCD. Entre elas deve estar a seleção e a implantação de áreas localizadas em pontos estratégicos, próximas aos pontos de geração de resíduos, com a finalidade de receber, reaproveitar e reciclar esse material.

Alguns pesquisadores desenvolveram técnicas para o monitoramento adequado da deposição irregular de RCD e proposição de áreas de recebimento proveniente de pequenos geradores. Oliveira (2008) desenvolveu uma ferramenta de apoio ao monitoramento da deposição irregular de RCD no município de Bauru/SP. Inicialmente, foram cadastrados os pontos irregulares em um *software* desenvolvido na pesquisa, e georreferenciados por meio da ferramenta de Sistema de Informações Geográficas (SIG) MaxiCad 3.2, sendo possível elaborar mapas de correlação entre os pontos de deposição e parâmetros como regiões da cidade e recursos hídricos.

Karpinski *et al.* (2009), desenvolveram um *website* com informações sobre alternativas de gestão municipal de RCD, apresentando como estudo de caso a localização dos pontos de deposição irregular no município de Passo Fundo/RS. Além disso, o sistema possui informações sobre o PMGRCC e empresas de coleta e transporte de RCD.

2.4 GESTÃO INTEGRADA DE RCD NOS MUNICÍPIOS

É apresentado a seguir uma caracterização da gestão integrada de RCD e alternativas de destinação final de RCD nos municípios brasileiros. São mostradas ainda experiências de gestão municipal no Brasil e modelos de estruturação da gestão integrada, bem como os indicadores de sustentabilidade existentes para monitoramento destas ações.

2.4.1 Caracterização da gestão integrada de RCD

De acordo com Buselli (2012), a gestão dos RSU envolve várias atividades que vão desde a segregação até a destinação final, necessitando de procedimentos que otimizem os recursos humanos e materiais, reduzindo ao máximo os impactos ambientais e de saúde.

A forma mais adequada de gerenciar os RSU é através da implementação de um sistema de gestão integrada. O Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM) conceitua a Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos como “a forma de conceber, implementar e administrar sistemas de manejo de resíduos sólidos urbanos, considerando uma ampla participação dos setores da sociedade e tendo como perspectiva o desenvolvimento sustentável” (MESQUITA JÚNIOR, 2007).

A Lei nº 12.305/2010, que estabelece a PNRS, apresenta que a gestão integrada é:

“um conjunto de ações voltadas para busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável” (BRASIL, 2010).

Dessa forma, a PNRS incorpora a dimensão da gestão integrada de resíduos sólidos, levando o conceito a dimensões mais amplas, conforme o Quadro 5 (JARDIM *et al.*, 2012).

Quadro 5 - Dimensões da gestão integrada de resíduos sólidos

Dimensões	Conceito
política	Reconhecendo a importância da dimensão política, a lei permite tratar dos acordos necessários e da superação de eventuais conflitos de interesse que representem barreiras à implementação de boas práticas e soluções economicamente viáveis para os resíduos sólidos.
econômica	A lei favorece o reforço à necessidade prática de se viabilizar as soluções para os resíduos sólidos, bem como abre o caminho para a definição e a implantação dos instrumentos econômicos que favoreçam as posturas ambientalmente saudáveis por parte dos diversos atores sociais
ambiental	A lei aponta a essência da gestão dos resíduos, que é a minimização dos impactos ambientais.
cultural	Aponta para a necessidade de levar em consideração os hábitos e os valores das populações locais, quando da definição dos métodos e dos procedimentos a serem implantados para o gerenciamento dos resíduos sólidos.
social	A PNRS aponta ainda a necessidade de controle social.

Fonte: Adaptado de Jardim *et al.* (2012)

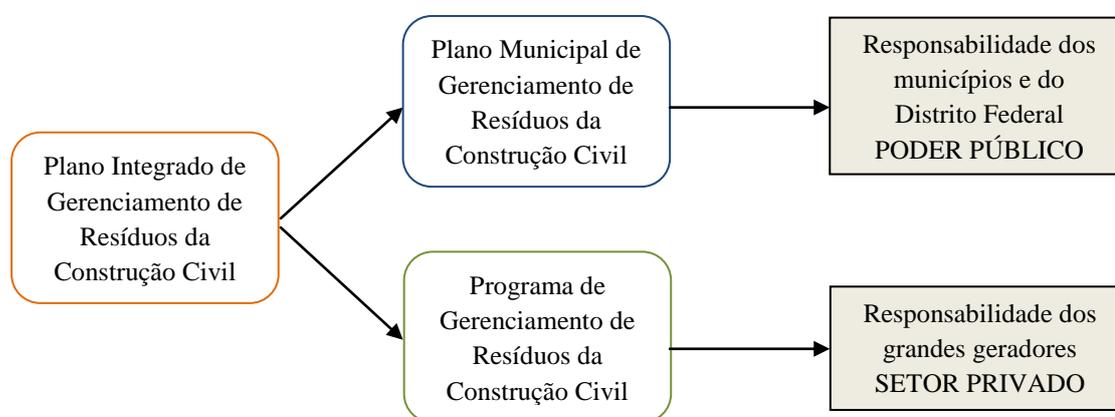
Para Calijuri e Cunha (2013), a gestão integrada dos resíduos sólidos compete aos municípios e o Distrito Federal. Aos estados, compete a integração das ações realizadas pelos municípios em cada região, bem como de buscar a realização de consórcios entre dois ou mais municípios.

Na visão de Córdoba (2010), os sistemas integrados contemplam técnicas e soluções que localizem os pequenos e grandes geradores, de forma a promover a redução da geração e melhoria na gestão, nas etapas de coleta, transporte, reutilização, reciclagem e recuperação energética, além de alternativas de tratamento e disposição final.

A gestão integrada é considerada atualmente como sendo a maneira mais eficaz de controle dos resíduos, pelo fato de favorecer o cumprimento da legislação ambiental pertinente e contemplar a redução dos impactos relacionados aos resíduos (MARQUES NETO, 2009).

Com a promulgação da Resolução CONAMA nº 307/2002, foi estabelecida a obrigatoriedade da implementação de um Plano Integrado de Gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil por parte dos municípios brasileiros e o Distrito Federal (Figura 6).

Figura 6 - Plano de Gerenciamento de Resíduos estabelecido pela Resolução CONAMA nº 307/2002



Fonte: Adaptado de Inojosa (2010)

Conforme aponta Nagalli (2014), não são apenas as construtoras que compõem o processo de gerenciamento de RCD, como também vários outros atores, responsáveis pela eficiência do processo. O Quadro 6 apresenta alguns dos atores e seu papel na gestão de RCD.

Aos órgãos municipais compete a elaboração e execução de seu Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil – PMGRCC, como forma de implementar a gestão integrada de RCD em um município, que de acordo com o art. 4 da Resolução CONAMA nº 307/2002, deve conter (BRASIL, 2002):

I – as diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores, em conformidade com os critérios técnicos do sistema de limpeza urbana local e para os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil a serem elaborados pelos grandes geradores, possibilitando o exercício das responsabilidades de todos os geradores;

II – o cadastramento de áreas, públicas ou privadas, aptas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes, em conformidade com o porte da área urbana municipal, possibilitando a destinação posterior dos resíduos oriundos de pequenos geradores às áreas de beneficiamento;

III – o estabelecimento de processos de licenciamento para as áreas de beneficiamento e reservação de resíduos e de disposição final de rejeitos;

IV – a proibição da disposição dos resíduos de construção em áreas não licenciadas;

V – o incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo;

VI – a definição de critérios para o cadastramento de transportadores;

VII – as ações de orientação, de fiscalização e de controle dos agentes envolvidos;

VIII – as ações educativas visando reduzir a geração de resíduos e possibilitar a sua segregação.

Quadro 6 - Atores que compõem o processo de gerenciamento de RCD

Atores	Funções
Geradores	Pessoas físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos definidos na Resolução CONAMA nº 307/02
Transportadores	Pessoas, físicas ou jurídicas, encarregadas da coleta e do transporte dos resíduos entre as fontes geradoras e as áreas de destinação
Destinatários	Áreas ou empreendimentos destinados ao beneficiamento ou à disposição final de resíduos, inclusive recicladoras e áreas de aterro
Agentes licenciadores e de fiscalização	Órgãos públicos ou entidades responsáveis por verificar o cumprimento dos requisitos técnicos e legais para desenvolvimento das atividades de geradores, transportadores e destinatários
Fornecedores	Pessoas, físicas ou jurídicas, que atuam no fornecimento de produtos ou serviços aos Geradores. São elo importante no processo de logística reversa, especialmente no âmbito das embalagens.
Clientes	Pessoas interessadas na aquisição de um bem ou serviço gerador de resíduo de construção ou demolição
Consultores	Pessoas, físicas ou jurídicas, encarregadas de orientar os Geradores, Transportadores e/ou Destinatários no cumprimento dos requisitos técnicos e legais a pedido de uma das partes, apontando oportunidades de melhoria e ações corretivas
Auditores	Pessoas, físicas ou jurídicas, encarregadas de verificar, a pedido de uma das partes (interna ou externa), o cumprimento dos requisitos técnicos e legais, de maneira independente, apontando irregularidades.

Fonte: Adaptado de Nagalli (2014)

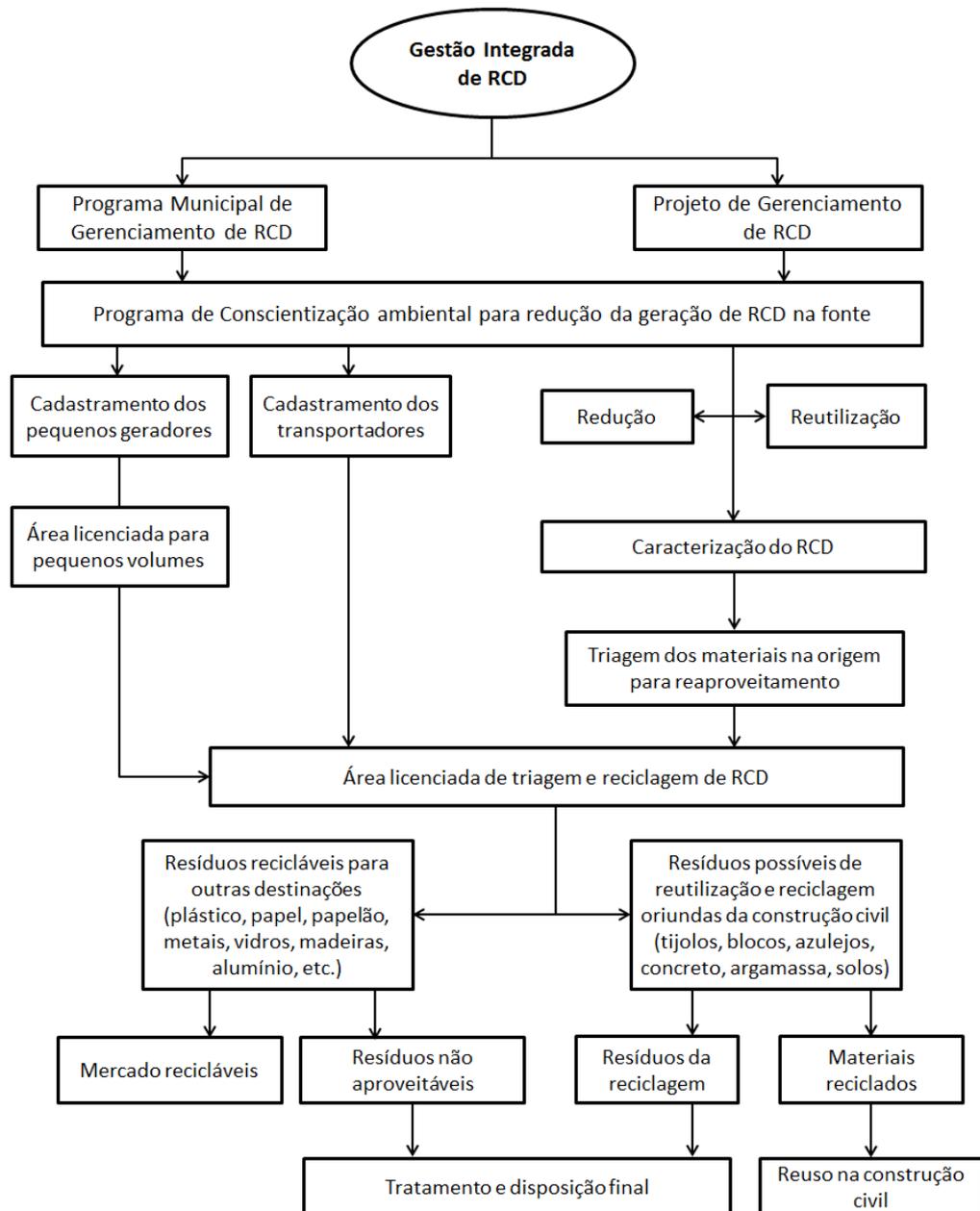
A Figura 7 apresenta um resumo das atividades referentes à gestão integrada de RCD em um município. Geralmente, a utilização de análises e planejamento estratégico na gestão de RCD a nível regional pode contribuir para práticas de gestão em uma determinada região em três grandes dimensões (CÓRDOBA, 2010).

Inicialmente, um diagnóstico da atual gestão permite que o governo, a indústria da construção e partes interessadas no processo aprofundem seus conhecimentos sobre a atual situação da região em estudo. Além disso, permite a identificação dos principais problemas que são enfrentados pela indústria da construção, de forma a apresentar medidas eficazes de melhorias. Por fim, os resultados analíticos podem ser informações úteis para orientar o desenvolvimento da gestão de RCD na região, tanto a curto como médio prazo (YUAN *et al.*, 2013).

Maia *et al.* (2009) apontam que para ser possível viabilizar politicamente o PGIRCC, o gestor municipal deve buscar a integração das ações entre os municípios vizinhos, através dos

consórcios intermunicipais, promovendo a gestão compartilhada, e reduzindo os custos, além de aprimorar o uso e ocupação do solo.

Figura 7 - Gestão integrada municipal de RCD



Fonte: Córdoba (2010)

O dimensionamento dos sistemas de gestão depende da identificação das áreas de disposição irregulares nas diferentes localidades e do dimensionamento de unidades de triagem e reciclagem (PINTO *et al.*, 2005). Conforme aponta Beiriz (2010), os resíduos gerados por pequenas obras devem, prioritariamente, ser descartados em Ecopontos. Portanto,

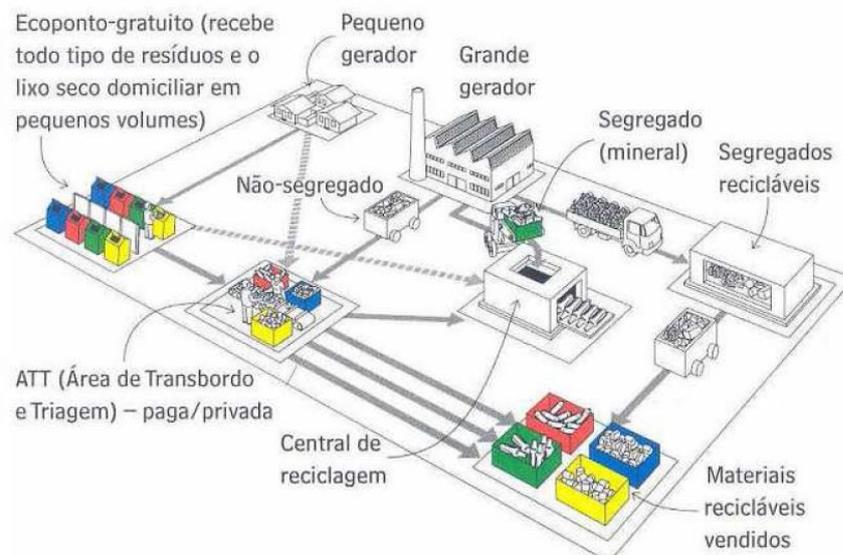
seu transporte pode ser realizado por um grupo de transportadores autônomos, que utilizam veículos destinados à frete, carroças e até mesmo carrinhos de mão.

Para Beiriz (2010), o serviço de retirada de pequenos volumes de entulhos poderá ser oferecido pela prefeitura. Neste caso, a prefeitura pode descartá-los em um ecoponto próximo, ou transportar até uma ATT. O transporte do entulho, a partir do ecoponto, deve ser feito pela prefeitura, ou por uma empresa terceirizada.

Para obras de médio a grande porte, que gerem volumes significativos de entulho, o transporte deverá ser contratado, pelo gerador, de empresas credenciadas pelo órgão municipal, que trabalham com o transporte de entulho utilizando caminhões poliguindastes e caçambas. Neste caso, o entulho deverá ser descartado diretamente em uma ATT ou usina, com um custo de descarte baseado no volume, pago à destinação final pelo transportador (BEIRIZ, 2010).

A seguir são apresentadas as alternativas de segregação, tratamento e disposição final dos RCD a nível municipal, para resíduos advindos de pequenos e grandes geradores, como as URPV, ATT e aterros de inertes, conforme a Figura 8. As usinas de reciclagem serão discutidas no capítulo referente à reciclagem de RCD.

Figura 8 - Modelo de fluxos de RCD estabelecido pela Resolução CONAMA nº 307/2002



Fonte: Sinduscon-SP

2.4.2 Alternativas de destinação de RCD nos municípios

Para a triagem e destinação adequada dos RCD, existem basicamente três estruturas que são detalhadas a seguir: Aterros de resíduos Classe A, Área de Transbordo e Triagem de

RCD e Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes. As usinas de beneficiamento serão abordados no item 2.7, referente à reciclagem de RCD.

2.4.2.1 Aterros de Resíduos Classe A

A resolução CONAMA nº 448/2012 apresenta, em seu Art.2ª a seguinte definição para Aterro de Resíduos Classe A:

“[...] é a área tecnicamente adequada onde serão empregadas técnicas de destinação de resíduos da construção civil classe A no solo, visando a reservação de materiais segregado de forma a possibilitar seu uso futuro ou futura utilização da área, utilizando princípios de engenharia para confina-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente e devidamente licenciado pelo órgão ambiental competente” (CONAMA, 2012).

Aliada à implantação de aterros de inertes, está a formulação de políticas públicas que buscam a reutilização e reciclagem dos RCD, introduzindo-os no ciclo produtivo novamente, de modo a reduzir o consumo de recursos naturais (LIMA, 2012).

A NBR 15.113/2004 apresenta as diretrizes para projeto, implantação e operação de aterros de inertes. Os seguintes aspectos operacionais deverão ser observados nos aterros de inertes (ABNT, 2004f):

- Somente devem ser recebidos no aterro os resíduos da construção civil e os resíduos inertes;
- Os resíduos aceitos devem ser previamente triados, na fonte geradora, em áreas de transbordo e triagem ou em área de triagem estabelecida no próprio aterro, de modo que nele sejam dispostos apenas os resíduos de construção civil classe A ou resíduos inertes (Figura 9);
- Os resíduos devem ser dispostos em camadas sobrepostas e não será permitido o despejo pela linha de topo. Em áreas de reservação a disposição de resíduos deve ser feita de forma segregada, de modo a viabilizar a reutilização ou reciclagem futura; devem ser segregados os solos, os resíduos de concreto e alvenaria, os resíduos de pavimentos viários asfálticos e os resíduos inertes;
- Deve ser mantido na instalação, até o fim da vida útil e no período de pós-fechamento, um registro da descrição e quantidade de cada resíduo recebido e a data de disposição, incluídos os CTR; no caso de reservação de resíduos, indicação do setor onde o resíduo

foi disposto; descrição, quantidade e destinação dos resíduos rejeitados; descrição, quantidade e destinação dos resíduos reaproveitados; registro das análises efetuadas nos resíduos; registro das análises efetuadas nos resíduos; registro das inspeções realizadas e dos incidentes ocorridos e respectivas datas; dados referentes ao monitoramento das águas superficiais e subterrâneas. O registro deve ser mantido em caso de alteração da titularidade da área ou empreendimento e para eventual apresentação do relatório.

Figura 9 - Modelo de aterro de inertes



Fonte: ABRECON (2015)

2.4.2.2 Área de Transbordo e Triagem de RCD

De acordo com Lúcio e Simões (2014), quando há a necessidade de percorrer grandes distâncias para a destinação final dos RCD, torna-se necessário o transporte dos resíduos para estações de transferência ou áreas de transbordo de resíduos, de modo a solucionar os problemas que surgem com os locais mais distantes, principalmente para minimização dos custos com o transporte. Alguns municípios (São Paulo/SP, Votuporanga/SP, Belo Horizonte/MG, Rio de Janeiro/RJ) já vêm optando pela implantação de estações de transbordo de resíduos, onde a escolha do local mais adequado para instalação é essencial para o cumprimento de sua função e aumento de sua eficiência.

As ATT são áreas destinadas ao recebimento de resíduos da construção civil e resíduos volumosos, para triagem, armazenamento temporário dos materiais, possível transformação e posterior remoção para destinação adequada, observando normas operacionais específicas de modo a não causar prejuízos à saúde pública e a segurança e reduzir os impactos ambientais adversos. Essas áreas não são estruturadas com equipamentos para reciclagem de agregados,

sendo somente realizada a triagem dos resíduos em função da natureza (CARELLI e MIRANDA, 2013).

A Resolução CONAMA nº 307/2002 estabelece que os PIGRS contemplem em suas diretrizes o cadastramento de áreas públicas e privadas que possuam capacidade de receber, triar e armazenar de forma temporária os RCD, devendo ser planejada conforme a situação de cada município (CÓRDOBA, 2010).

As áreas destinadas ao processamento de grandes volumes de RCD podem ser públicas ou privadas. A estimativa de que, em média, 15% dos resíduos de construção gerados acabam por se transformar em resíduo público, pela sua má disposição em locais que deverão ser corrigidos, indica a conveniência de que seja dada prioridade à iniciativa privada na implantação e operação dessas instalações, devidamente regulamentadas pelo poder público. Em todo caso, essas áreas devem ser submetidas às diretrizes do novo sistema e à ação gestora e fiscalizadora do poder público municipal, sendo que a “gestão compartilhada das operações” é sempre uma solução interessante (PINTO e GONZÁLEZ, 2005).

A localização das ATT deve ser planejada levando em consideração os seguintes fatores básicos (PINTO e GONZÁLEZ, 2005):

- Uso e ocupação do solo, baseadas no Plano Diretor do município;
- Localização em áreas com maior concentração de geradores de grandes volumes de RCD;
- Fácil acessibilidade ao local, para favorecer o deslocamento de veículos de carga de maior porte.

De modo a padronizar a instalação das ATT, a ABNT elaborou a *NBR 15.112/2004: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de Transbordo e Triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação* (ABNT, 2004e).

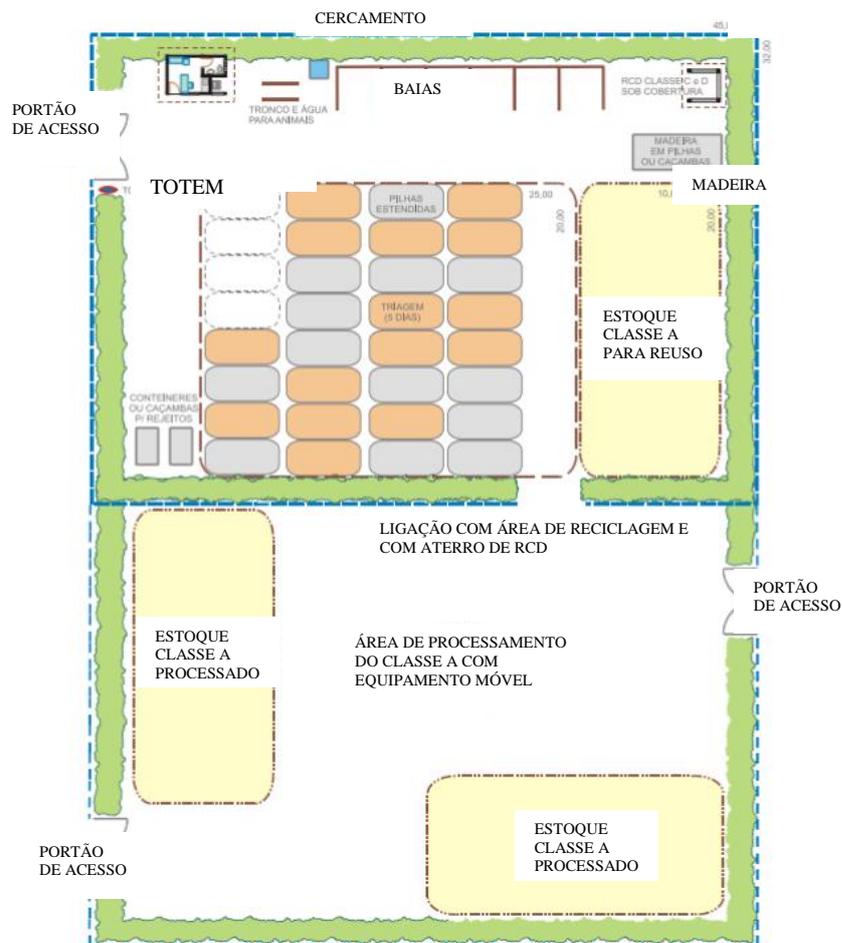
Os seguintes aspectos operacionais deverão ser observados nas ATT (MMA, 2006):

- controle qualitativo e quantitativo de resíduos recebidos e transferidos por meio de CTR;
- recepção apenas de resíduos da construção civil e resíduos volumosos;
- triagem integral dos resíduos aceitos;
- evitar o acúmulo de material não triado;
- destinação adequada dos resíduos e rejeitos resultantes da triagem;

- sistema de controle de poeiras e ruídos.

As ATT deverão ser preparadas com a definição de um pátio de trabalho (Figura 10), que permita a operação do equipamento e a transformação de pilhas de resíduo Classe A triado em pilhas de produtos (resíduo Classe A processado, por peneiramento ou trituração, mas com granulometria uniforme) (MMA, 2010).

Figura 10 - Modelo de Área de Transbordo e Triagem de Resíduos (ATT)



Fonte: MMA (2010)

2.4.2.3 Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes

Na tentativa de minimizar as deposições irregulares e reestruturar os pontos de recepção desses resíduos, é necessária a existência de áreas destinadas à recepção do RCD e de volumosos do pequeno gerador, também chamadas de Pontos de Entrega Voluntária (PEV) (FERNANDES, 2013).

As Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes (URPV) tem como objetivo captar os resíduos da construção e demais resíduos volumosos, oriundos dos pequenos geradores e coletores que normalmente os depositam em áreas impróprias (SCREMIN, 2007).

A NBR 15.112/2004 (ABNT, 2004e).definem essas áreas como:

“áreas de transbordo e triagem de pequeno porte, destinada à entrega voluntária de pequenas quantidades de resíduos de construção e resíduos volumosos, integrante do sistema público de limpeza urbana, e tem como objetivo facilitar o descarte dos RCD oriundo da construção informal, constituída predominantemente por reformas e ampliações”.

As áreas de recebimento de pequenos volumes, assim como as ATT, estão previstas no Art.6 da Resolução nº 307/2002 do CONAMA:

“II – o cadastramento de áreas, públicas ou privadas, aptas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes, em conformidade com o porte da área urbana municipal, possibilitando a destinação posterior dos resíduos oriundos de pequenos geradores às áreas de beneficiamento. (CONAMA, 2002)”.

Na visão de Silva (2012), a utilização das URPV vem sendo realizada para atender à população de uma determinada área, de modo que os pequenos geradores passem a participar ativamente do processo de gestão de resíduos, deixando de ter um papel passivo na cadeia, que só terá êxito com programas e ações de mudança cultural e educacional.

Conforme estabelece a NBR 15.112/2004, um ponto de recepção de pequeno volume é formado basicamente pelos seguintes elementos (ABNT, 2004b) (Figura 11):

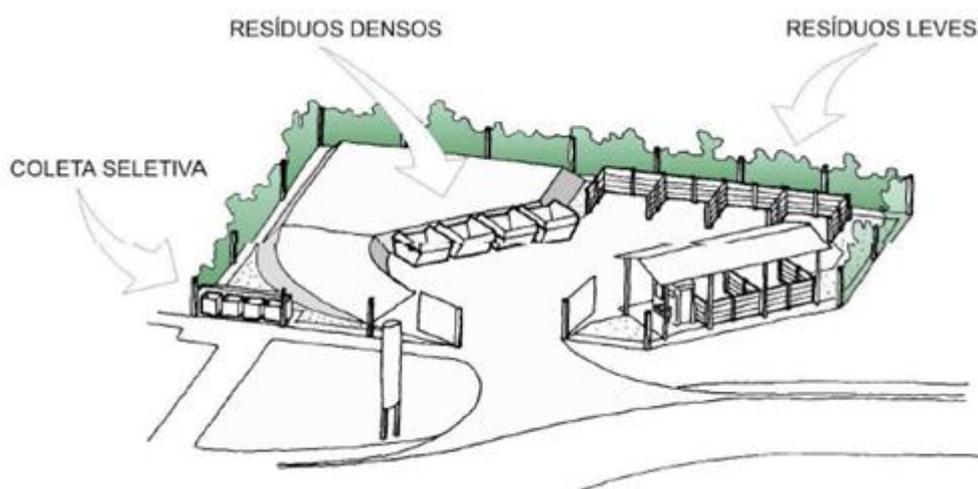
- Terreno com dimensões variáveis, dependendo da capacidade de recepção. Um ponto de recepção padrão ocupa área aproximada de 600 m², mas pode-se viabilizar instalações com terrenos de até 100 m²;
- Cercamento com portão e cerca viva (desejável);
- Sinalização com placa;
- Guarita de alvenaria, madeira ou fibra e sanitário pequeno;
- Rampa e local para estacionamento de caçambas estacionárias;
- Baias descobertas e cobertas para estoque provisório de resíduos triados;
- Iluminação externa, energia elétrica, água, esgoto;
- Cobertura do piso com pedra convencional ou reciclada.

A implementação e operacionalização dos PEV é de responsabilidade do poder público municipal, sendo o núcleo do PMGRCC. Essas áreas devem servir como apoio a programas de coleta seletiva de resíduos domiciliares (LIMA e LIMA, 2009).

Para Klein e Gonçalves-Dias (2017), o uso das URPV é um importante avanço como ferramenta integrante da gestão dos RSU, ao permitir que qualquer indivíduo possa descartar os resíduos de forma ambientalmente correta. Porém, é preciso que haja um planejamento adequado dos locais onde serão instalados, pois questões como distância, topografia, localização e formas de transporte poderão limitar o uso desses equipamentos.

A escolha das áreas propícias para implementação de PEVs é feita mediante diagnóstico inicial do volume e localização dos pontos de deposição clandestina dos RCD e volumosos. Essas deposições representam fluxos de resíduos estabelecidos, o que facilita sua oficialização (FERNANDES, 2013).

Figura 11 - Modelo de layout para posto de recebimento de pequenos volumes



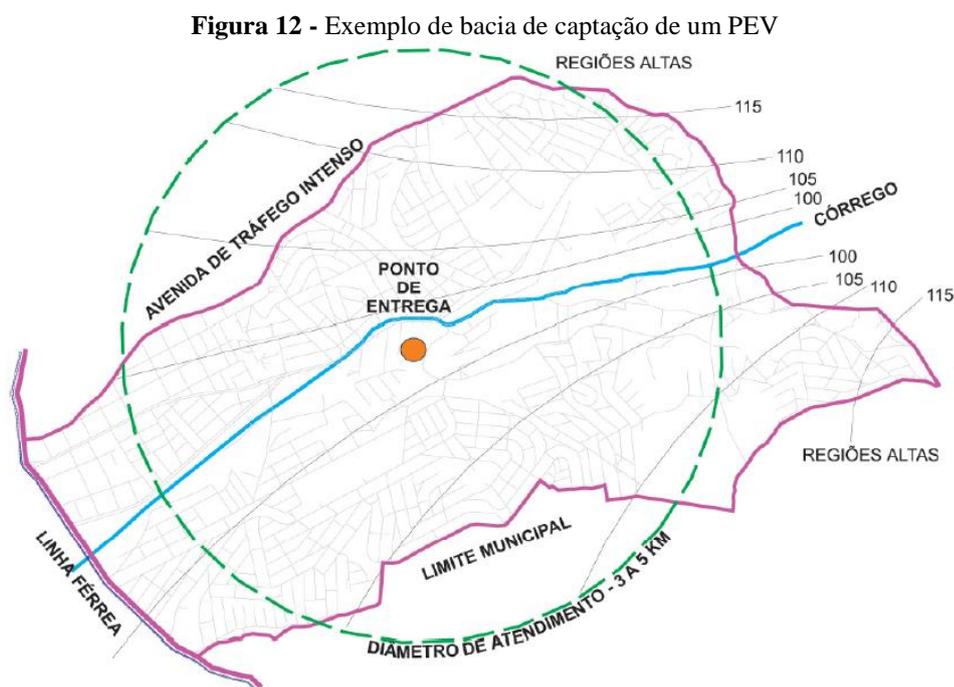
Fonte: Pinto e González (2005)

Conhecendo-se a localização das deposições irregulares e o perfil dos agentes geradores e coletores dos pequenos volumes, é possível definir os limites das bacias de captação e a localização dos pontos de entrega voluntária, respeitando-se os atuais fluxos de coleta e lançamento desses resíduos (PINTO e GONZÁLEZ, 2005).

Conforme aponta Pinto e González (2005), as “bacias de captação de resíduos” são áreas de características relativamente homogêneas, com dimensão tal que permita o deslocamento dos pequenos coletores de seu perímetro até o respectivo ponto de entrega voluntária, inibindo, assim, o despejo irregular dos resíduos, pela facilidade conferida à sua

entrega num local designado para esta atividade (Figura 12). Para definir os limites da bacia, devem ser levados em conta os seguintes fatores:

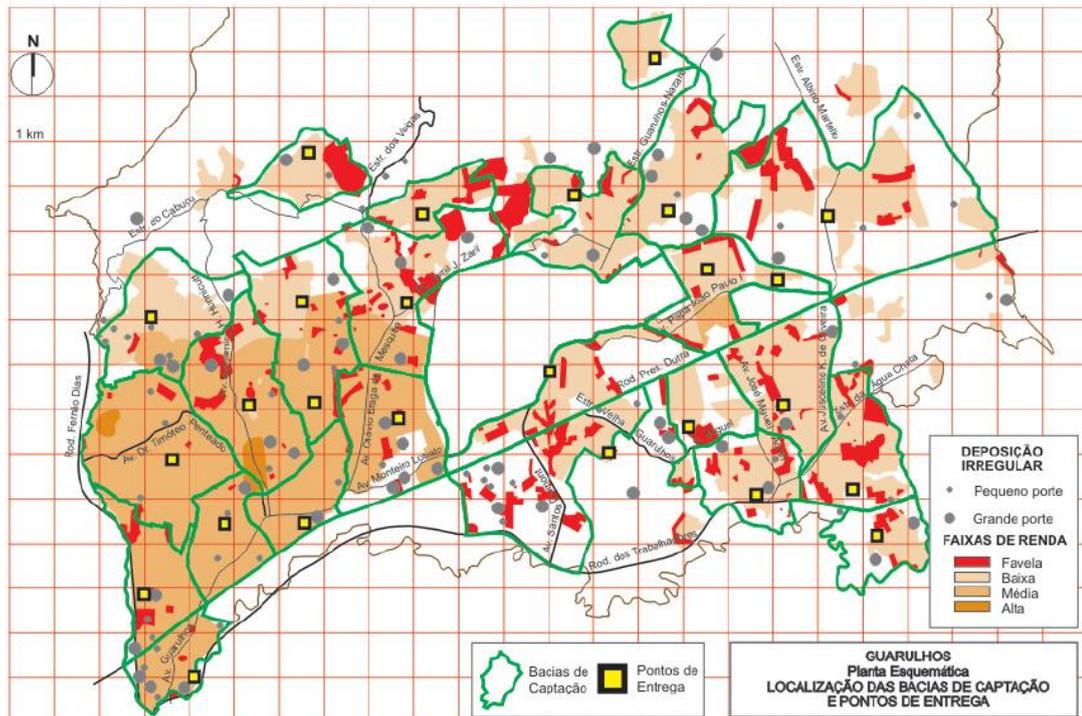
- A capacidade de deslocamento dos pequenos coletores (equipados com carrinhos, carroças e outros pequenos veículos) em cada viagem, ou seja, algo entre 1,5 km e 2,5 km;
- A altimetria da região, para que os coletores não sejam obrigados a subir ladeiras íngremes com os veículos carregados, para realizar o descarte dos resíduos;
- As barreiras naturais que impedem ou dificultam o acesso ao ponto de entrega.



Fonte: Pinto e González (2005)

Conforme apontam Silva (2012) e Fernandes (2013), essa experiência já vem sendo experimentada por alguns municípios brasileiros, como São Paulo (Ecopontos), Belo Horizonte (Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes – URPVs), São José do Rio Preto (Pontos de Apoio) e Guarulhos/SP (Pontos de Entrega) (Figura 13) há vários anos, com resultados positivos. Nesses pontos, são captados: RCD e volumosos (móveis, etc.) do pequeno gerador e recicláveis classe B da coleta seletiva, além de resíduos orgânicos em alguns casos.

A Tabela 7 apresenta a quantidade de ecopontos instalados em alguns municípios brasileiros.

Figura 13 - Mapa com a definição das “bacias de captação” de RCD em Guarulhos/SP

Fonte: Pinto e González (2005)

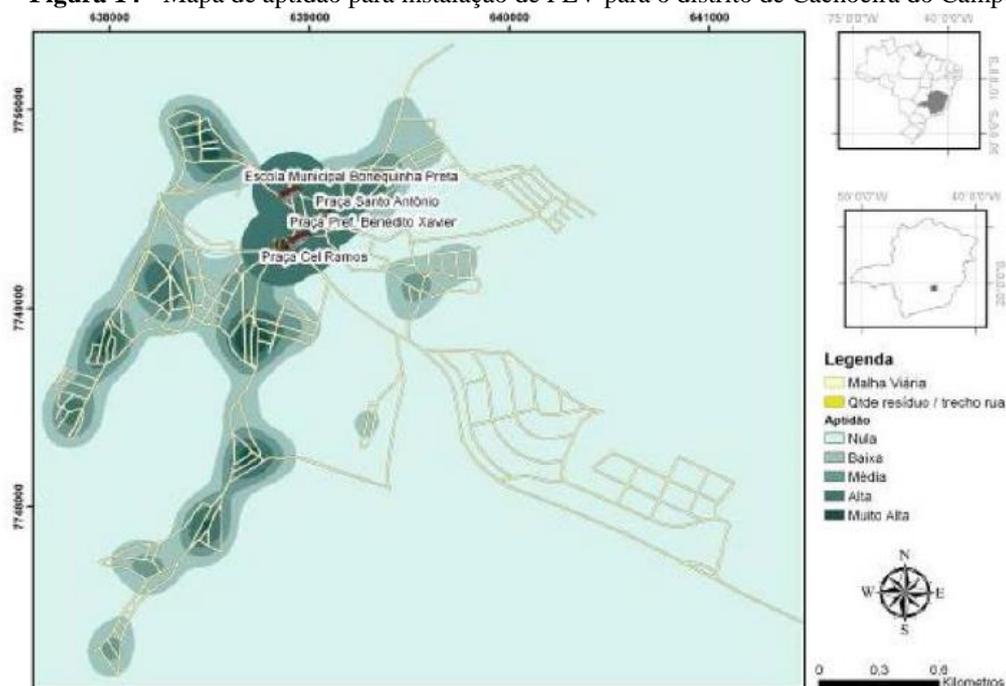
Tabela 7 - Quantidade de EcoPontos instalados em alguns municípios brasileiros

Município	Quantidade ¹	Área Urbana (km ²)	Ecoestações/km ²
São Paulo/SP	69	968,3	0,071
Campinas/SP	16	238,3	0,067
Guarulhos/SP	19	179,6	0,105
Belo Horizonte/MG	36	282,3	0,127
Uberlândia/MG	13	135,3	0,096
Porto Alegre/RS	9	160,7	0,056
Fortaleza/CE	24	193,4	0,124
Florianópolis/SC	4	31,9	0,125
São Luís/MA	5	157,5	0,031
Salvador/BA	1	159,3	0,006
Maceió/AL	1	87,9	0,011

Fonte: Sites das prefeituras municipais¹

Como forma de determinar as áreas mais aptas para instalação de URPVs, Ornelas (2011) desenvolveu uma metodologia para definição de locais para instalação de pontos de entrega voluntária de resíduos urbanos. Foram consideradas duas variáveis: as áreas de equipamentos públicos como praça, parques e escolas que, por serem áreas bastante frequentadas, mostram-se como locais naturalmente aptos para implantação das URPV; e a densidade de domicílios, pois onde há maior concentração de domicílios, há uma tendência a gerar mais RCD. O resultado das áreas mais aptas pode ser visto na Figura 14, obtido com a utilização de ferramentas do *software* ArcGIS.

Figura 14 - Mapa de aptidão para instalação de PEV para o distrito de Cachoeira do Campo



Fonte: Ornelas (2011)

O Quadro 7 apresenta a recomendação do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2010) acerca da quantidade de instalações para manejo de RCD e volumosos em relação à população do município.

As principais ações a serem desenvolvidas no novo sistema de gestão e manejo sustentável de RCD, para a promoção da viabilidade dessa rede de áreas de triagem, reciclagem e aterro, são as seguintes (MMA, 2010):

- Simplificar o processo de licenciamento dessas instalações e incentivar a sua perenização;
- Revisar a regulamentação de cadastro para a atuação dos agentes coletores de entulhos, com impedimento à atuação de coletores não regulares;
- Tornar obrigatório o descarte dos resíduos em grandes volumes exclusivamente nas instalações da rede, impedindo a operação de bota-foras;
- Tornar obrigatória a destinação adequada da totalidade dos resíduos resultantes das operações nas áreas de triagem;
- Fornecer orientação técnica para facilitar o acesso dos agentes privados, devidamente regulamentados, às fontes de financiamento, para aquisição de equipamentos e outros investimentos afins;

- Incentivar a reciclagem de RCD, usando o poder de compra da administração pública para estabelecer o consumo preferencial de agregados reciclados, comprovadamente de boa qualidade, principalmente em obras de infraestrutura.

Quadro 7 - Definição das instalações para manejo de RCD e volumosos, da responsabilidade pública, em município com dimensões típicas

População aproximada (hab)	Resíduos com entrega voluntária em pequenas quantidades	Resíduos oriundos da limpeza corretiva	Resíduos oriundos das obras públicas	Destinação final dos RCD classe A	Nº de instalações	Norma Técnica Brasileira
200 mil	PEVs	ATTs	Aterro RCD	PEVs – 8	NBR 15.112	
				ATTs – 2	NBR 15.112	
				Aterros – 2	NBR 15.113	
100 mil	PEVs	ATT	Aterro RCD	PEVs – 4	NBR 15.112	
				ATT – 1	NBR 15.112	
				Aterro – 1	NBR 15.113	
75 mil	PEVs	ATT	Aterro RCD	PEVs – 3	NBR 15.112	
				ATT – 1	NBR 15.112	
				Aterro – 1	NBR 15.113	
50 mil a 25 mil	PEV Central PEV Central Simplificado	Aterro RCD	PEV Cent. – 1	NBR 15.112		
			PEV Sim. – 1	NBR 15.112		
			Aterro – 1	NBR 15.113		
Abaixo de 25 mil	PEV Central	Aterro RCD	PEV Cent.-1	NBR 15.112		
			Aterro – 1	NBR 15.113		

Fonte: MMA (2010)

O Quadro 8 apresenta a estrutura de gestão de RCD em alguns municípios brasileiros.

Quadro 8 - Estrutura da gestão de RCD em alguns municípios brasileiros

Município	Plano de Gestão Desenvolvido	Legislação Específica Aprovada	Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes (URPV)	Áreas de Transbordo e Triagem de (ATT)	Usinas de beneficiamento
João Pessoa/PB ¹	Sim	Sim	-	-	Sim
Rio de Janeiro/RJ ²	Sim	Sim	Sim	Sim	-
Recife/PE ³	Sim	Sim	Sim	-	-
Jaboatão dos Guararapes/PE ⁴	-	-	-	-	-
Londrina/PR ⁵	Sim	Sim	Sim	-	-
Olinda/PE ⁶	-	-	Sim	Sim	Sim
Belo Horizonte/MG ⁷	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
São Paulo/SP ⁸	Sim	Sim	Sim	Sim	-
Cabo de Santo Agostinho/PE ⁹	Não	Não	Não	Não	Não
Camaragibe/PE	Não	Não	Não	Não	Sim

Fonte: ¹Guedes (2014); ²Rio de Janeiro (2015); ³Albuquerque (2015); ⁴Santos (2015); ⁵Filho (2015); ⁶Farias et al. (2016); ⁷Resende (2016); ⁸Klein e Gonçalves-Dias (2017); ⁹Silva (2017); ¹⁰Holanda (2018)

2.4.3 Experiências de gestão municipal de RCD

São abordadas a seguir algumas experiências de gestão municipal relatadas por pesquisadores brasileiros e relatados nos planos municipais de resíduos sólidos. São apresentados os municípios de Belo Horizonte/MG, considerado um destaque em termos de reciclagem de RCD no Brasil, com utilização de usinas públicas, ATT e aterro de inertes; São Paulo/SP, que possui uma rede abrangente de URPV; Rio de Janeiro/RJ, destaque no reaproveitamento de RCD em vias; com uma boa experiência de implementação do Plano de Gerenciamento Integrado de RCD, e João Pessoa/PB, o qual implantou a primeira usina pública do Nordeste, ainda em operação.

2.4.3.1 Belo Horizonte/MG

Belo Horizonte é considerado por alguns autores como o município com a melhor experiência na gestão dos RCD (RESENDE, 2016), regulamentada pela Lei Municipal nº 10.522/2012, que institui o Sistema de Gestão Sustentável de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos – SGRCC – e o Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos – PMRCC.

De acordo com dados da prefeitura (BELO HORIZONTE, 2014), em 2014 o município coletou 354.909,07 toneladas de RCD provenientes das URPV e das deposições irregulares, que correspondem a 87% dos resíduos coletados no município, sendo destinados para a CTR Maquiné (Unidade mista – ATT e aterro de inertes). Os demais são coletados por empresas e destinados à Estação de Reciclagem de Entulho (ERE) da Pampulha (capacidade para 30 t/hora) e da CTRS BR-040 (Capacidade para 80 t/hora). A média de RCD coletado diariamente é de 1.108 t/dia. Os resíduos britados são utilizados como base para pavimentação (LEITE *et al.*, 2018).

Belo Horizonte conta hoje com 36 URPV, porém a expectativa do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos era um aumento para 40 URPV até o final de 2016. Porém, mesmo com uma grande percentagem de RCD sendo entregue nas URPV, a deposição irregular ainda é um problema recorrente em Belo Horizonte, pois apesar do município já contar com uma rede física de ERE e URPV abrangente (RESENDE, 2016), em conjunto com as ações que integram o Programa de Correção Ambiental e Reciclagem de Entulho de Belo Horizonte, a prefeitura reconhece que as deposições irregulares têm aumentado em alguns locais, o que exige maiores esforços do serviço de Limpeza Urbana (BELO HORIZONTE, 2014).

2.4.3.2 São Paulo/SP

De acordo com Resch *et al.* (2012), a Prefeitura de São Paulo, por meio da Secretaria Municipal de Serviços (SES), lançou em 2009 o Projeto Ecoponto, que tem disponibilizado áreas para descarte dos RCD proveniente de pequenos geradores, facilitando a reciclagem desses materiais, sendo a gestão dos Ecopontos compartilhada entre o Departamento de Limpeza Urbana (LIMPURB) e as subprefeituras.

Apesar dos esforços na instalação dos Ecopontos, no ano de 2013, segundo dados da prefeitura, foram contabilizados cerca de 4.500 locais com deposição irregular de RCD e volumosos, de forma que os gastos públicos para recuperação dessas áreas são expressivos (SÃO PAULO, 2014). A previsão da prefeitura era a instalação de 140 Ecopontos até o final de 2016 e de 300 até 2020 (KLEIN e GONÇALVES-DIAS, 2017). Até recentemente, São Paulo possuía 69 Ecopontos instalados em diversos pontos da cidade.

Os RCD, após coletados nos ecopontos ou nas deposições irregulares, são destinados a 3 aterros privados: Riúma (Distrito de Pirituba), CTR Lumina (Distrito do Grajaú) e Itaquareia (Itaquaquecetuba/SP)⁶. O município conta ainda com 5 ATT privadas para utilização por parte dos transportadores (SÃO PAULO, 2014). A Tabela 8 apresenta os custos da Prefeitura de São Paulo para coleta, remoção, transporte e disposição final dos RCD.

Tabela 8 - Valor gasto em 2012 pela prefeitura de São Paulo para a limpeza urbana dos RCD

Serviço prestado	Valor gasto (em R\$ milhões/ano)	Valores/unidades
Limpeza dos pontos de deposição irregular	R\$ 21,50 milhões	4.500 pontos de deposição irregular
Limpeza e manutenção dos ecopontos	R\$ 9,80 milhões	54 ecopontos
Aterros privados para resíduos Classe A	R\$ 19,55 milhões	3 aterros
Total	R\$ 50,80 milhões	532 mil toneladas

Fonte: São Paulo (2014); adaptado de Klein e Gonçalves-Dias (2017)

2.4.3.3 Rio de Janeiro/RJ

De acordo com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PMGIRS da Cidade do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2015), até o encerramento do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho, os RCD vinham sendo depositados na Área de

⁶ Em 2012, de acordo com o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de São Paulo/SP, o aterro Riúma recebeu 434 mil toneladas de RCD (28% do total), o CTR Grajaú (Lumina) recebeu 586 mil toneladas (37% do total), e Itaquareia recebeu 302 mil toneladas (19% do total) (SÃO PAULO, 2014).

Transbordo e Triagem - ATT das Missões, no bairro de Cordovil, e reaproveitados na pavimentação das pistas e praças de operação do aterro. Porém, em 2011, foi inaugurado o Centro de Tratamento de Resíduos CTR-Rio, em Seropédica, passando a receber gradativamente os resíduos gerados na cidade do Rio de Janeiro e, com isto, viabilizando o processo de desativação do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho-AMJG, em Duque de Caxias, encerrado em junho de 2012.

De acordo com dados da prefeitura, 93,2% do fluxo de RSU gerados na Cidade é destinado ao CTR-Rio, em Seropédica, após passar pelas Estações de Transferência de Resíduos - ETRs. Em 2014, o CTR-Rio recebeu um total de 857 t/dia de RCD. Hoje, os RCD gerados na cidade do Rio de Janeiro são encaminhados para o CTR-Gericinó para reservação e serviços de conservação da unidade, que foi desativada para recebimento de RSU.

2.4.3.4 Londrina/PR

De acordo com Filho (2015), até 2008 não existia em Londrina/PR um programa para coleta de resíduos da construção proveniente dos pequenos geradores, tendo como consequência a existência de uma grande quantidade de pontos de deposição irregular.

Foi estabelecido, então, o Decreto nº 768/2009, que institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, disciplinando todas as atividades de gestão de RCD. Os RCD do município até 2008 eram destinados a um bota-fora, que foi desativado, de modo que os resíduos passaram a ser descartados na Central de Tratamento de Resíduos da Construção Civil e Demolição (CTR CCD), pertencente a uma empresa privada, que realiza a reciclagem dos materiais (FILHO, 2015).

Até 2010, o município de Londrina possuía 5 ecopontos para recebimento de RCD de pequenos geradores. Porém, a meta da prefeitura era instalar 15 ecopontos em diversos bairros do município. Filho (2015) aponta que o ecoponto do bairro de Jardim Nova Conquista recebe um descarte a cada seis minutos, totalizando 72 m³ por dia durante a semana e 32 m³ aos sábados.

2.4.3.5 João Pessoa/PB

No município de João Pessoa/PB, de acordo com Guedes (2014), foi aprovada a Lei nº 11.176/2007, que estabelece o sistema de resíduos da construção civil e demolição, e o plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição.

A destinação final ambientalmente adequada dos grandes geradores em João Pessoa/PB é a Usina de Triagem e Beneficiamento - USIBEN (Inaugurado em 2007) e o Aterro Sanitário

Metropolitano de João Pessoa, distante 20 km do centro urbano. A USIBEN recebe em média 3.600 t/mês de RCD, sendo 90% classe A⁷ (CALDAS, 2016).

Para os pequenos geradores, a prefeitura havia previsto no Plano Municipal a instalação de 8 ecopontos, que seriam locais destinados ao armazenamento temporário de resíduos oriundo de pequenos geradores. Porém, até recentemente, nenhum ecoponto foi implantado, dificultando a correta destinação dos resíduos (GUEDES, 2014).

Em 2012, conforme aponta Guedes (2014), iniciou a operar no município de João Pessoa uma empresa privada especializada em reciclagem de RCD, com capacidade de processar cerca de 2.000 t/dia, atendendo empreendimentos dos municípios de João Pessoa, Bayeux, Cabedelo e Santa Rita.

2.4.4 Modelos de estruturação da gestão integrada de RCD

Fernandes (2013) propôs um Modelo Orientativo para Gestão Municipal de RCD, que atendesse à Resolução CONAMA nº 307/2002 e a PNRS (Lei nº 12.305/2010), o qual se norteou em três diretrizes principais:

- Deposição de RCD em locais licenciados;
- Reciclagem de RCD Classe A;
- Criação, manutenção e ampliação de um mercado de recicláveis.

Inicialmente, as três diretrizes foram detalhadas na forma de estratégias (atividades), depois foram elaboradas metas (ou indicadores), utilizadas para avaliar se as estratégias estão sendo cumpridas (sistema de controle e avaliação do modelo conceitual). Os Quadros 9, 10 e 11 apresentam as estratégias e metas apresentadas pelo modelo orientativo (FERNANDES, 2013).

⁷ De acordo com Caldas (2016), “o equipamento instalado na USIBEN para execução da reciclagem de RCD classe A possui uma capacidade máxima de reciclar 170 t/dia, transformando-os em brita, cascalhinho, pó de brita, marcadame e bica corrida, que são utilizados nas obras de pavimentação da prefeitura de João Pessoa”.

Quadro 9 - Estratégias propostas para a diretriz 1 – Depositar o RCD em locais licenciados

Diretriz	Estratégias	Metas
Depositar o RCD em locais licenciados	Identificar e mapear os locais utilizados para deposição clandestina de RCD e volumosos	Meta 1A – Quantidade de RCD recolhido em deposições clandestinas
	Quantificar e tipificar os RCD gerados	
	Identificar, licenciar e ofertar áreas para: transbordo e triagem temporária de RCD; aterro de inertes e, se possível beneficiamento de RCD classe A.	Meta 1B – Número de pontos de deposição clandestina de RCD e volumosos no município
	Fomentar a não geração e a redução da formação de RCD	Meta 1C – Salubridade das áreas e equipamentos de manejo dos RCD
	Disciplinar e favorecer a destinação adequada para os resíduos de gesso e RCD classes C e D e a disposição final de seus rejeitos	
	Disciplinar, cadastrar e/ou recadastrar os transportadores dos grandes geradores de RCD	
	Monitorar e disciplinar o transporte de resíduos do pequeno gerador	Meta 1D - Percentual de apoio e engajamento da população (sociedade civil organizada, etc.) em relação aos benefícios da gestão dos RCD e no enfrentamento aos desafios
	Incentivar a reciclagem de RCD classe B por cooperativas e/ou associações de pessoas de baixa renda	
	Educar e conscientizar os atores envolvidos no ciclo da construção civil	
	Estabelecer, fiscalizar e aplicar multas e penalidades	

Fonte: Adaptado de Fernandes (2013)

Quadro 10 - Estratégias propostas para a diretriz 2 – beneficiar o RCD classe A

Diretriz	Estratégias	Metas
Beneficiar o RCD classe A	Determinar a segregação do RCD na fonte geradora	Meta 2A – Percentual de rejeito nos PEVs, ATTs e ATTRs.
	Incentivar a reutilização e reciclagem do RCD no próprio canteiro de obras	Meta 2B – Aferição da qualidade dos agregados reciclados.
	Buscar soluções consorciadas ou compartilhadas com outros municípios, com empresas privadas e com cooperativas e/ou associações de baixa renda	Meta 2C – Taxa de investimento privado na produção, comercialização e uso dos agregados reciclados.
	Incentivar a promoção da Saúde e Segurança do Trabalho – SST nas áreas de manejo e recuperação de RCD	Meta 2D - Salubridade das áreas de beneficiamento de RCD.
	Incentivar que o setor privado implemente e operacionalize ATTs, Áreas de Transbordo, Triagem e Reciclagem – ATTRs e Áreas de Reciclagem – ARs	

Fonte: Adaptado de Fernandes (2013)

Quadro 11 - Estratégias propostas para a diretriz 3 – Depositar o RCD em locais licenciados

Diretriz	Estratégias	Metas
Fomentar a Criação, crescimento e manutenção de mercado para agregados reciclados	Aprovar legislação que incentive o uso adequado de agregados reciclados nas obras públicas e privadas da municipalidade	Meta 3A – Percentual de agregado reciclado usado corretamente nas obras públicas e privadas. Meta 3B – Percentual de capacitações no uso do agregado reciclado; pesquisas aplicáveis e certificações. Meta 3C – Taxas e disponibilidade e de demanda do agregado reciclado e/ou de produtos em cuja composição tenha agregados reciclados no mercado local. Meta 3D – Percentual de compra de edificações com uso de agregado reciclado.
	Impulsionar o uso de agregados reciclados pela iniciativa privada	
	Fomentar capacitações sobre o uso adequado dos agregados reciclados; pesquisas sobre RCD e de certificação dos agregados reciclados	
	Conscientizar a população em geral sobre a segurança e importância do uso de agregados reciclados	

Fonte: Adaptado de Fernandes (2013)

É importante levar em consideração que a diferença entre o sucesso e o fracasso na implantação de um modelo de gestão e reciclagem de entulho da indústria da construção está no planejamento e na gestão integrada do sistema de uma forma global, envolvendo todos os atores, estabelecendo-se responsabilidades e benefícios de forma transparente para cada parte envolvida, sendo que o estado exerce importante papel na implantação e continuidade do processo. Nesse sentido, faz-se necessária a implantação de políticas públicas de incentivo nas três esferas de governo, onde destacam-se as seguintes ações (BEIRIZ, 2010):

- adoção de políticas públicas de gestão integrada dos resíduos (Política Nacional dos Resíduos Sólidos), Resolução nº 307/2002, fiscalização destas políticas e da correta disposição dos resíduos por parte dos geradores;
- incentivos fiscais com redução ou isenção de impostos, tais como PIS/COFINS (esfera federal) e ICMS (esfera estadual), aumentando desta forma a viabilidade de implantação de usinas privadas;
- incentivos políticos, tais como, aumento de taxas de disposição de resíduos em aterros de forma a priorizar a reciclagem, responsabilização do gerador e aumento de taxas de extração de recursos naturais;
- articulação dos diferentes agentes envolvidos (pequenos geradores, grandes geradores, transportadores de entulhos, entes públicos) nas atividades vinculadas com a indústria da construção civil para redução do seu impacto ambiental;

- ação indutora do setor público para utilização de materiais reciclados, exercendo o seu poder de compra e estabelecendo a obrigatoriedade de utilização de agregados reciclados em obras públicas, construindo parcerias com a iniciativa privada, com as associações de catadores e entre municípios adjacentes, bem como o aproveitamento de antigas instalações de mineração desativadas.

Neste sentido, Lima (2012) propôs um instrumento de avaliação da gestão integrada de RCD, visando a orientar o planejamento, implantação e gestão desses resíduos, com a finalidade de apoiar a elaboração dos Planos Municipais de Gerenciamento de RCD. Para aplicação do sistema proposto, sentiu-se a necessidade de adotar critérios para mensuração da gestão de RCD. Na adoção desses critérios, foram consideradas três gradações em ordem decrescente para a valoração dos indicadores, correspondendo às categorias: *Favorável*, *Desfavorável* e *Crítico*. O Sistema de Avaliação da Gestão Integrada dos RCC (SAGI-RCC) proposto foi testado em um município brasileiro.

O sistema de avaliação proposto para a gestão integrada de RCD apoiou-se em três eixos estruturantes: universalidade dos serviços da gestão integrada de RCD, proteção à saúde ambiental e preservação dos recursos naturais. O Quadro 12 apresenta as ações relacionadas ao eixo de universalidade dos serviços da gestão integrada de RCD (LIMA, 2012).

Quadro 12 - Ações propostas para o eixo universalidade dos serviços da gestão integrada de RCD

Dimensão	Ação
Ambiental	Prover unidades do gerenciamento de RCD devidamente licenciadas e em atendimento às normas técnicas
Econômica	Implantar sistema de cobrança pela prestação dos serviços de RCD
Tecnológica	Implantar equipamentos urbanos para recebimento de pequenos volumes de RCD com capacidade compatível com a demanda gerada e com equitativa distribuição espacial.
	Implantar serviços de coleta e transporte de RCD com quantidade de veículos e equipamentos compatíveis com a demanda gerada.
	Implantar central de reciclagem com capacidade compatível com a demanda gerada
	Implantar aterro de RCD com capacidade compatível com a necessidade de reserva desses resíduos para reutilização ou reciclagem futura
Social	Subsidiar serviços de RCD para famílias de baixa renda.
Cultural	Implementar programa de educação ambiental para a população com finalidade de promover orientação quanto á necessidade de redução da geração e o gerenciamento adequado com foco na segregação na origem.
Saúde	Prover condições sanitárias adequadas nas unidades do gerenciamento de RCD (ATT, áreas de reciclagem e de aterro)
Político-administrativa	Implementar articulação entre os setores público, privado e sociedade civil objetivando aumentar a reciclagem
	Exigir a capacitação dos gerenciadores e funcionários da indústria da construção civil
	Estabelecer meta de redução da geração de RCD
	Estabelecer meta de destinação adequada de RCD
	Estabelecer políticas públicas de incentivo à redução da geração e à destinação adequada dos RCD.

Fonte: Adaptado de Lima (2012)

2.4.5 Indicadores de sustentabilidade para avaliação da gestão de RCD

Como forma de avaliar o desempenho de cada município em relação à gestão de resíduos sólidos, é comum o uso de indicadores e/ou índices de sustentabilidade, de modo a qualificar as ações realizadas e permitir um melhor planejamento ambiental.

De acordo com Montibeller (2010), os indicadores e índices são instrumentos que dão suporte à tomada de decisão, sendo utilizados para superação ou mitigação de problemas identificados por estas ferramentas. Dessa forma, possui um papel essencial na construção e direcionamento das políticas públicas e privadas e das ações realizadas. Enquanto instrumentos efetivos de gestão ou de monitoramento, são úteis para definir metas e promover melhorias contínuas, tendo em vista objetivos estabelecidos, bem como para acompanhar, monitorar e avaliar resultados de ações e programas.

Além disso, os indicadores são ferramentas essenciais para a formulação e comunicação de informações estatísticas, científicas e técnicas produzidas por diferentes organizações públicas e privadas, e relevantes para toda a população (SANTIAGO e DIAS, 2012). Para Costa (2013), os indicadores podem cumprir inúmeras funções, dentre elas a analisar fenômenos das mais diversas dimensões, viabilizando o acesso à informação sobre aplicações que auxiliem no desenvolvimento sustentável, assim como também podem apontar a necessidade de geração de novas informações, identificando possíveis variações e comportamentos das variáveis avaliadas.

Nesse sentido, a Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA-SP) desenvolveu o Índice de Gestão de Resíduos (IGR) para aplicação nos municípios paulistas com a proposta de avaliar a gestão dos resíduos sólidos. Este índice abrange outros indicadores já desenvolvidos pela SMA-SP e pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), em especial o Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR), que avalia e classifica a disposição de resíduos sólidos (SCHIAVI, 2013). O IGR é calculado por meio da Equação (2.1).

$$\text{IGR} = 0,6 * \text{IQG} + 0,35 * \text{IQR} + 0,05 * \text{IQC} \quad (2.1)$$

Onde:

IQG = Índice de Qualidade de Gestão;

IQR = Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos, divulgado anualmente no Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares pela CETESB;

IQC = Índice de Qualidade de Usinas de Compostagem, divulgado anualmente no Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares pela CETESB.

Conforme aponta Schiavi (2013), o IQG agrega importantes fatores da gestão municipal de resíduos sólidos, incluindo as iniciativas de gestão de RCD, através da aplicação de um questionário. O Quadro 13 apresenta os itens e subitens do cálculo do IQG, apresentada por Capelini *et al.* (2009).

Quadro 13 - Planilha de cálculo do IQG

Item	Subitem	Avaliação/Pontuação		Pontuação máxima
Instrumentos para a Política de Resíduos Sólidos	Lei específica para gestão de resíduos	Sim	2	2
		Não	0	
	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos	Sim	5	5
		Não	0	
	Taxas/tarifas de lixo própria ou embutida em outra taxa/imposto/tarifa	Sim	3	3
		Não	0	
Subtotal Instrumentos			10	
Programas	Ações educativas	Sim	2	2
		Não	0	
	Formação e capacitação de agentes ou catadores	Sim	1	1
		Não	0	
	Iniciativas para obtenção de créditos para financiamento de projetos de reciclagem	Sim	1	1
		Não	0	
	Existência de incentivos para o mercado de reciclados	Sim	1	1
		Não	0	
	Programa ou ações em coleta seletiva e reciclagem por iniciativa municipal	Sim	2	2
		Não	0	
	Cadastro de grandes geradores	Sim	1	1
		Não	0	
	Cadastro de catadores	Sim	1	1
		Não	0	
	Programas e ações em parceria com outros atores (órgãos públicos estaduais, federais, iniciativa privada, associações e outros)	Sim	1	1
		Não	0	
Subtotal programas			10	
Coleta e triagem	% da área urbana ocupada atendida pela coleta regular de RSU	80 a 100%	10	10
		60 a 80%	5	
		Menos de 60%	2	
		0	0	
	% de domicílios atendidos pela coleta seletiva	Mais de 60%	5	5
		30 a 60%	4	
		Menos de 30%	5	
		0	0	
	Coleta e triagem de materiais recicláveis (papel/papelão, alumínio, vidro, outros metais ferrosos ou não ferrosos, plásticos)	Sim	5	5
		Não	0	
	Coleta e triagem de resíduos especiais (pilhas e baterias, equipamentos eletrônicos)	Sim	2	2
		Não	0	
	Coleta de óleo de fritura	Sim	2	2
		Não	0	
	Coleta de outros resíduos orgânicos (poda e capina)	Sim	2	2
		Não	0	

Quadro 13 - Planilha de cálculo do IQG (Continuação)

	Sistema de coleta de RCD implantado (prefeitura ou terceiros)	Sim	3	3
		Não	0	
	Coleta de RSS diferenciada	Sim	3	3
		Não	0	
Subtotal coleta triagem			32	
Tratamento e disposição	Usina de reciclagem	Sim	3	3
		Não	0	
	Usina de compostagem (nota IQC)	Sim	IQC*0,3	3
		Não	0	
	Tratamento de RSS (incineração)	Sim	4	4
		Não	0	
	Disposição adequada de RSS (aterro sanitário após tratamento)	Sim	2	2
		Não	0	
	Controle sobre o destino de pneus	Sim	4	4
		Não	0	
	Disposição de entulho em aterro de RCD	Sim	1	1
		Não	0	
Subtotal tratamento disposição			17	
TOTAL				69

Fonte: Capelini *et al.* (2009)

O IGR é classificado, de acordo com as notas obtidas, de 0 a 10, dentro de intervalos já adotados pelo IQR, como mostrado no Quadro 14.

Quadro 14 - Classificação das notas do IGR

Intervalos	Classificação
Municípios com $IGR \leq 6,0$	Gestão Ineficiente
Municípios com $6,1 \leq IGR \leq 8,0$	Gestão Mediana
Municípios com $IGR \geq 8,1$	Gestão eficiente

Fonte: Capelini *et al.* 2009

Gehrke (2012) desenvolveu indicadores de sustentabilidade para avaliação da gestão de RCD em municípios de pequeno porte, a fim de se analisar a situação destes e auxiliá-los no processo de decisão, frente a alternativas mais sustentáveis. A coleta de dados para o desenvolvimento da ferramenta de apoio à decisão foi realizada em três municípios da Região do Vale do Caí, no Rio Grande do Sul, sendo posteriormente testada no município de Feliz/RS. Foram desenvolvidos 4 indicadores pertencentes à dimensão técnica/operacional; 3 à ambiental; 3 à socioeconômica; 2 à institucional e 3 à política/legal, conforme o Quadro 15.

Quadro 15 - Indicadores de avaliação de gestão de RCD para municípios de pequeno porte

Dimensão	Indicador
Técnica/Operacional	População atendida pelos serviços de disposição de RCD
	Segregação dos resíduos de construção civil na coleta
	Quantidade de material reciclado, por material recolhido
	RCD de classe A não reciclado, destinado a aterros específicos apropriados
Ambiental	Obrigatoriedade de projeto de gestão de RCD em novas obras de construção civil
	Aterros para inertes e instalações de tratamento de RCD, com licença ambiental e de operação.
	Áreas de deposições irregulares de RCD sujeitas á recuperação
Socioeconômica	Programas de orientação técnica e educação ambiental específica para RCD, pela prefeitura
	Participação da comunidade no processo de decisões e fiscalização
	Controle dos trabalhadores informais no manejo de RCD
Institucional	Grau de institucionalidade da gestão de RCD
	Contratações de serviços de manejo de RCD realizadas através de licitações
Política/legal	Legislação referente à gestão de RCD, orientada para longo prazo
	Programa de monitoramento e avaliação do desempenho da gestão de RCD
	Ações fiscalizatórias, relacionadas à gestão de RCD, promovidas pelo poder público municipal

Fonte: Adaptado de Gehrke (2012)

2.5 CARACTERIZAÇÃO DOS RCD GERADOS NOS CANTEIROS DE OBRA

A seguir, é apresentada a revisão bibliográfica de pesquisas relacionadas à gestão de RCD em canteiros de obras, abordando aspectos quantitativos e qualitativos.

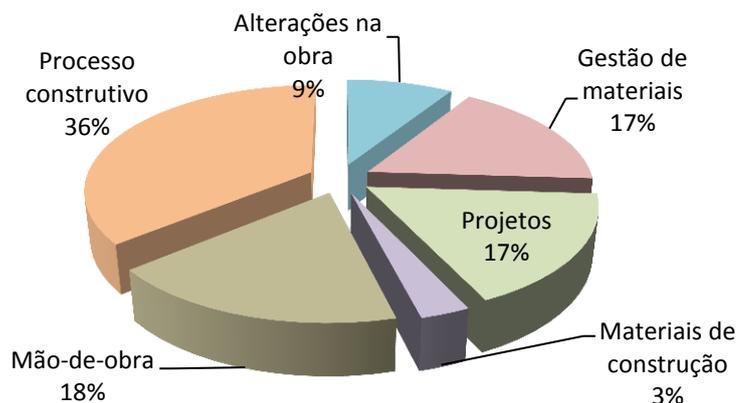
2.5.1 Caracterização quantitativa dos RCD em canteiros de obra

Dentre os fatores que colaboram com a geração de RCD em canteiro de obras, tem-se a elaboração de projetos sem detalhamentos e especificações, aquisição de materiais de construção com baixa qualidade, utilizados pelo custo de aquisição reduzido, armazenamento e transporte de materiais de forma inadequada dentro e fora do canteiro, escassez de mão de obra qualificada, falta de fiscalização e monitoramento da execução da obra, dentre outros (DE CASTRO *et al.*, 2012).

Ikau *et al.* (2016) também concluíram, a partir de um estudo de caso, que a falta de conhecimento ou experiência em resíduos da construção, aquisição de materiais fora das especificações, e seu armazenamento inadequado (que leva a danos e retrabalho), estão entre os principais fatores identificados que contribuem para a geração de resíduos em obras.

A Figura15 apresenta as principais causas de geração de RCD em obras, em estudo realizado por Lima *et al.* (2007).

Figura 15 - Principais causas da geração de resíduos na visão dos construtores



Fonte: Adaptado de Lima *et al.* (2007)

O canteiro de obras é caracterizado por ser um ambiente dinâmico, sujeito a constantes modificações devido ao cronograma de execução dos serviços e pelas diversas tecnologias utilizadas. Estes fatores contribuem para que os RCD apresentem uma composição marcada pela alta heterogeneidade (BRANDÃO, 2011).

Aspectos como o nível de desenvolvimento técnico da indústria da construção local; qualidade e treinamento da mão de obra disponível; técnicas de construção e demolição empregadas; programas de qualidade e redução de perdas utilizadas; processos de reciclagem e reutilização adotados no canteiro de obras; disponibilidade e predominância de materiais na região; desenvolvimento econômico do local e demanda de novas construções podem, também, interferir na quantidade, composição e características dos RCD (OLIVEIRA *et al.*, 2004; NAGALLI, 2014).

De acordo com Kern *et al.* (2015), para entender as causas da geração dos resíduos de construção, é preciso entender as particularidades características do setor que as diferenciam das demais indústrias da cadeia produtiva. Uma das principais diferenças que podem ser citadas é em relação ao local da produção: o processo de produção na indústria em geral ocorre em um local fixo, onde os diversos fluxos são estudados de maneira a aperfeiçoar os processos continuamente. Diferentemente dos demais setores, o processo de produção na construção civil ocorre em instalações temporárias executadas com o fim de viabilizar a execução do edifício em questão, o canteiro de obras.

A quantificação da geração de resíduos em canteiros de obra refere-se à previsão da produção de resíduos realizada ainda na etapa de projeto. Esta quantificação, primeira etapa para um planejamento adequado da gestão de resíduos de uma obra (BAKCHAN e FAUST, 2019), pode ajudar os gestores da obra no controle da programação de compra dos materiais,

na organização do armazenamento no canteiro e determinar o potencial custo-benefício da reciclagem e destinação final dos resíduos (WU *et al.*, 2014).

A necessidade de uma estimativa confiável da geração de RCD para o desenvolvimento de um sistema de gestão eficiente de resíduos é evidenciada em diversos países (LLATAS, 2011; MAH *et al.*, 2016; LU *et al.*, 2017; RAM e KALIDINDI, 2017).

Os métodos adotados para estimar a geração de RCD na literatura variam de acordo com o objetivo, seja a nível de projeto (canteiros de obras) ou a nível regional (municípios). Wu *et al.* (2014) classificaram os métodos de quantificação da geração de resíduos em cinco categorias principais:

- *Método de Visita ao Canteiro (MVC)*: Nesta metodologia são necessários pesquisadores para realizarem visitas aos canteiros de obras de modo a coletar dados reais da geração de resíduos. Podem ser utilizadas abordagens diretas e indiretas para coletar os dados de geração de RCD. A medição direta exige a pesagem dos resíduos ou medição do seu volume no local. Porém, desta forma é necessária uma quantidade substancial de tempo e trabalho, sendo mais comum a utilização de medições indiretas. Poon *et al.* (2004) registraram a quantidade de caminhões utilizados na coleta de resíduos e sua capacidade de carga para estimar a geração de resíduos no canteiro. Com base nessa informação, foi obtido o volume total de resíduos ao fim da obra.
- *Método do Cálculo da Taxa de Geração (CTG)*: é o método mais utilizado para estimar a geração de RCD. Pode ser utilizado para obras de construção, demolição e reforma. O princípio deste método é obter uma taxa de geração para uma unidade em particular (kg/m^2 ou m^3/m^2). Podem ser utilizados parâmetros como o cálculo baseado na área de construção e na extrapolação do custo total da obra ($\text{kg}/\text{R\$}$).
- *Método da Análise do Tempo de Vida (ATV)*: O princípio envolvido neste método é o de balanço de massa do material. Supõe-se que os edifícios construídos serão eventualmente demolidos e se tornarão resíduos de demolição. Consequentemente, a quantidade de resíduos deve ser igual à massa da estrutura construída, e pode ser calculada pela estimativa do tempo de vida útil da construção ou dos materiais.
- *Método da Acumulação do Sistema de Classificação (ASC)*: é um método bastante utilizado nos últimos anos (SOLIS-GUZMAN *et al.*, 2009; COELHO e BRITO, 2011b;

LLATAS, 2011), baseado no método CTG, porém envolve um sistema de classificação, que fornece uma plataforma para quantificar um material específico. Um sistema de classificação pode ser estabelecido de acordo com os sistemas já existentes, como um sistema de orçamento de projeto ou a Lista Europeia de Resíduos (LER). Os resultados derivados desta metodologia podem oferecer informações mais eficazes para a determinação de estratégias de gestão de resíduos, porque cada tipo de material tem propriedades distintas e requer um manuseio diferente.

- *Método da Modelagem de Variáveis (MMV)*: a geração de RCD depende de inúmeras variáveis, tais como indicadores econômicos, áreas de construção, condições de trabalho dentro do canteiro, etc. Dessa forma, existe uma possibilidade de simular a geração de resíduos utilizando uma modelagem de variáveis. Estimar a geração de RCD pela modelagem ajuda na compreensão da inter-relação entre as variáveis e fornece informações mais sistemáticas para a tomada de decisão. O uso deste método pode ser observado nas pesquisas realizadas por Kern *et al.* (2015) e Sáez *et al.* (2015).

Conforme aponta Wu *et al.* (2014), não se pode afirmar qual método de quantificação é o mais eficaz. A escolha do método a ser utilizado deve ser baseada nos objetivos da quantificação e das condições práticas. Angulo *et al.* (2011) afirmam que a utilização de índices de geração de RCD por área construída tem sido a metodologia mais adotada, variando-se de acordo com o tipo de obra (construção, reforma e demolição).

Pesquisadores de diversos países têm se empenhado em desenvolver modelos matemáticos confiáveis para a estimativa da geração de RCD em obras. Um modelo só é confiável quando suas suposições, dados de entrada e parâmetros (coeficientes), estimam os melhores resultados. Para isso, existe um caminho a ser seguido que se constitui pela escolha do melhor modelo a ser utilizado, seleção e análise dos dados, calibração dos parâmetros do modelo e validação. Após a validação, o modelo está apto a ser aplicado com maior confiabilidade (ALBUQUERQUE, 2008).

A escolha do modelo, segundo Souza (2000), depende de vários fatores, como os objetivos das análises e a disponibilidade de tempo e dados. O nível de detalhamento do modelo é o primeiro critério a ser considerado, pois este varia consideravelmente, de acordo com os objetivos que se pretende alcançar. Além disso, a disponibilidade de dados também é um critério importante na definição do modelo, pois dependendo da base de dados e das variáveis, é possível utilizar modelos mais complexos ou mais simples.

Katz e Baum (2011) desenvolveram uma metodologia a fim de proporcionar um modelo que prevê o fluxo de RCD para novos edifícios residenciais. Foi realizado um monitoramento periódico da quantidade de resíduos gerados e seus componentes em 10 obras (7.000 – 32.000 m² de área construída) por tempo limitado. O modelo desenvolvido prevê que os resíduos são gerados de forma exponencial, ou seja, quantidades menores são geradas durante as fases iniciais da construção e quantidades maiores são geradas ao fim da obra. A quantidade total de resíduos foi estimada em 0,2 m³/m² de área útil.

Sáez *et al.* (2012) desenvolveram um modelo empírico para prever a geração de resíduos no canteiro de obras através da criação de vários indicadores relativos ao volume de resíduos gerados (m³) e a área total construída do edifício (m²). Os indicadores avaliados foram o total de RCD gerado na obra, os tipos de resíduos gerados em toda a obra, e a quantidade total de RCD gerados em diferentes fases da obra. A inclusão de dois indicadores mais precisos, além de um global, bastante utilizado, proporciona uma melhoria significativa nas ferramentas de planejamento, quantificação e gestão de resíduos.

Mais recentemente, Mália *et al.* (2013) determinaram indicadores que possibilitaram estimar a geração de RCD a nível de obra, tanto globalmente como por fluxo de resíduos. A geração de RCD é estimada para seis setores específicos: nova construção residencial; nova construção não residencial; demolição residencial; demolição não residencial; reforma residencial e reforma não residencial. Os dados necessários ao desenvolvimento dos indicadores foram retirados de estudos anteriores existentes na literatura.

O Quadro 16 apresenta um resumo das pesquisas mais recentes relacionadas à estimativa da geração de RCD, considerando a atividade de construção, como: novas edificações e/ou demolição de antigas construções; e o nível de estimativa, seja a nível de obra ou a nível regional (WU *et al.*, 2014).

Observa-se uma predominância de pesquisas voltadas para construção de novas edificações, e estimativas a nível de projeto. Não foram registradas pesquisas que buscassem estimar a geração de RCD tanto a nível de projeto como a nível regional.

Quadro 16 - Categorização das pesquisas relacionadas à quantificação de RCD

N	Fonte	Região	Atividade de geração de RCD		Nível da estimativa		Metodologia
			CNE	DAE	NP	NR	
1	Zhao <i>et al.</i> (2010)	China	X	X		X	MVC+CTG
2	Banias <i>et al.</i> (2011)	Grécia	X	X	X		CTG
3	Coelho e Brito (2011b)	Portugal	X	X		X	MVC+CTG+ASC
4	De Melo <i>et al.</i> (2011)	Portugal	X	X		X	CTG
5	Katz e Baum (2011)	Israel	X		X		MVC+MV
6	Llatas (2011)	Espanha	X		X		MVC+CTG+ASC
7	Lu <i>et al.</i> (2011)	China	X		X		MVC
8	Masudi <i>et al.</i> (2011)	Malásia	X		X		MVC+CTG+ASC
9	Zhao <i>et al.</i> (2011)	China	X	X		X	MVC+CTG
10	Al-Sari <i>et al.</i> (2012)	Palestina	X		X		MMV
11	Sáez <i>et al.</i> (2012)	Espanha	X		X		CTG+ASC
12	Tamraz <i>et al.</i> (2012)	Líbano		X		X	MVC+CTG
13	Che Hasan <i>et al.</i> (2013)	Malásia	X		X		MMV
14	Cheng e Ma (2013)	Hong Kong		X	X		CTG+ASC
15	Hoglmeier <i>et al.</i> (2013)	Alemanha		X		X	CTG
16	Li <i>et al.</i> (2013)	China	X		X		MVC+CTG
17	Li e Zhang (2013)	Hong Kong	X		X		CTG+ASC
18	Mália <i>et al.</i> (2013)	Portugal	X	X	X		MVC+CTG
19	Mercader-Moyano e Ramírez-de-Arellano-Agudo <i>et al.</i> (2013)	Espanha	X		X		CTG+ASC
20	Nagapan <i>et al.</i> (2013)	Malásia	X		X		MVC
21	Sáez <i>et al.</i> (2015)	Espanha	X		X		CTG + MMV

CNE – Construção de Novas Edificações; DAE – Demolição de Antigas Edificações; NP – Nível de Projeto; NR – Nível Regional; MVC – Método da Visita ao Canteiro; CTG – Cálculo da Taxa de Geração; ASC – Acumulação do Sistema de Classificação; MMV – Método da Modelagem de Variáveis.

Fonte: Adaptado de Wu *et al.* (2014)

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos pelo uso do método CTG em pesquisas internacionais, onde é calculada a taxa de geração de RCD por m².

Tabela 9 - Taxas de geração de RCD obtidas em pesquisas internacionais

Autor	Local	Taxa de geração de RCD (kg/m ²)
Kartam <i>et al.</i> (2004)	Kuwait	45
Fatta <i>et al.</i> (2004)	Grécia	80
Cochran <i>et al.</i> (2007)	Estados Unidos	44-47
Bergsdal <i>et al.</i> (2007)	Noruega	29-32
Koforowola e Gheewala (2009)	Tailândia	19-21
Martinez-lage <i>et al.</i> (2010)	Espanha	80
Ortiz <i>et al.</i> (2010)	Espanha	46
Llatas (2011)	Espanha	120
Al-Sari <i>et al.</i> (2012)	Palestina	17 – 81
Li <i>et al.</i> (2013)	China	41
Malia <i>et al.</i> (2013)	Vários países	44-135
Bakshan <i>et al.</i> (2015)	Líbano	38-42

Fonte: Compilação do autor

Observa-se que a taxa de geração variou de 17 kg/m² a 135 kg/m² nas pesquisas realizadas. Já a Tabela 10 apresenta o cálculo da geração de RCD em pesquisas nacionais, onde foi verificado que a taxa variou de 60,40 kg/m² a 174,86 kg/m², demonstrando uma grande variação da taxa de geração em obras.

Tabela 10 - Taxas de geração de RCD obtidas em pesquisas nacionais

Autor	Município	Taxa de geração de RCD (kg/m²)
Gonçalves (2010)	Orlândia/SP	131,12
Falcão (2011)	Olinda/PE	141,93
Pimentel (2013)	João Pessoa/PB	60,40
Bertol <i>et al.</i> (2013)	Curitiba/PR	79,95
Oliveira (2014)	Ilha Solteira/SP	96,00
Costa <i>et al.</i> (2014)	João Pessoa/PB	106,63
Paz (2014)	Recife/PE	125,00
Kern <i>et al.</i> (2015)	Porto Alegre/RS	174,86

Fonte: Compilação do autor

Outras pesquisas utilizaram o método ASC para estimar a geração de resíduos de acordo com cada tipo de material, conforme a Tabela 11. As maiores taxas de geração obtidas foram referentes ao concreto e a alvenaria.

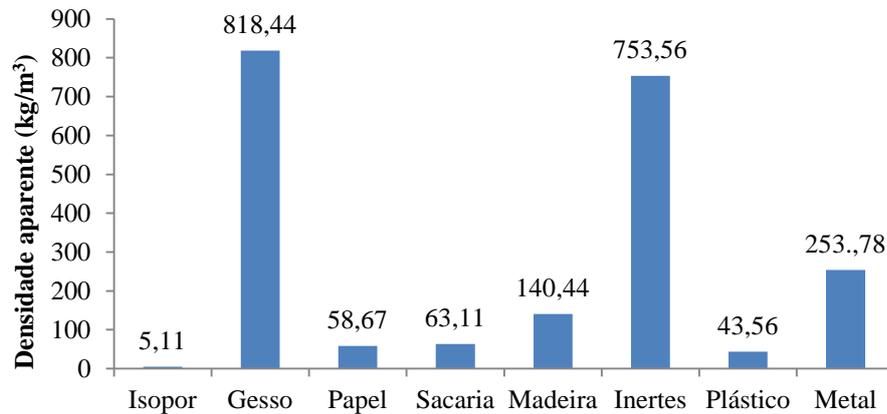
Tabela 11 - Taxa de geração de resíduos de acordo com o tipo de material

Fonte	Taxa de geração de resíduos (kg/m²)					
	Concreto	Alvenaria	Metal	Madeira	Gesso	Cerâmico
Bergsdal <i>et al.</i> (2007)	6,5 – 19,1	-	0,11 – 0,79	2,75 – 5,68	-	-
Cochran <i>et al.</i> (2007)	22,9 – 33,0	-	0,90 – 1,40	3,30 – 6,40	-	-
Alencar <i>et al.</i> (2011)	-	-	-	-	1,5– 6,0	-
Li <i>et al.</i> (2013)	17,70	3,40	4,00	7,60	3,40	0,50
Mália <i>et al.</i> (2013)	17,8 – 40,1	15,6 – 58,6	0,90 – 7,20	1,70 – 6,40	-	0,4 – 3,2
Bakshan <i>et al.</i> (2015)	8,70	17,44	1,25	4,35	0,31	2,00
Lu <i>et al.</i> (2011)	1,37	-	0,04	1,79	-	-

Fonte: Compilação do autor

Uma outra informação importante na caracterização dos RCD é a densidade aparente, que é uma relação entre a massa do resíduo e o volume, dado em kg/m³. Pimentel (2013) obteve a densidade aparente (Massa Unitária) de 1,077 t/m³ proveniente de obras em João Pessoa. Já Falcão (2011), avaliando 13 caçambas de uma obra, obteve o valor de 1,34 t/m³, enquanto que Prata (2013) obteve 1,43 t/m³, em pontos de deposição irregular no município de Lagarto/SE.

Vasconcelos e Lemos (2015) realizaram uma avaliação da densidade aparente dos resíduos da construção civil em caçambas coletadas em Belo Horizonte. Para este estudo, foram coletadas 24 amostras dos resíduos *in situ*, com 150 L (0,15 m³) cada, sendo 3 amostras por tipo de resíduo. Para determinar a densidade aparente, encheu-se as 3 bombonas com um determinado resíduo e procedeu-se em seguida a pesagem (Figura 16).

Figura 16 - Densidade aparente média dos resíduos da construção civil analisados em Belo Horizonte/MG

Fonte: Adaptado de Vasconcelos e Lemos (2015)

Bakshan *et al.* (2015) utilizaram no estudo realizado os seguintes valores: 2.400 kg/m^3 para o concreto, 520 kg/m^3 para a madeira, 1.850 kg/m^3 para a argamassa e 2.600 kg/m^3 para cerâmicos.

2.5.2 Caracterização qualitativa dos RCD em canteiros de obra

Os RCD gerados em canteiros de obras constituem-se principalmente de materiais inertes, sendo sua composição afetada por diversos fatores, incluindo as matérias-primas e materiais de construção utilizados, os processos construtivos, as práticas de construção e demolição, dentre outros (NAGALLI, 2014).

A composição dos RCD varia de acordo com o tipo de edifício, seja de habitação, de serviços ou estruturas públicas, e por fase de obra. No Quadro 17 indicam-se os tipos de resíduos gerados e os materiais normalmente reaproveitados por tipo de obra (COELHO e BRITO, 2010).

Quadro 17 - Principais origens e tipos de resíduos por fase da obra

Etapa da obra	Tipos de resíduos	Principais origens	Materiais normalmente reaproveitados
Demolição	Alvenaria, concreto armado e concreto protendido, metais ferrosos e não ferrosos, madeira, cerâmicos, plásticos, vidro, produtos de gesso e estuque, ferragens e guarnições e materiais de isolamento	Edifícios residenciais e não residenciais, estruturas de engenharia civil (pontes, viadutos, chaminés, entre outros).	Metais para reciclagem, entulho para enchimentos, algumas ferragens e guarnições para revenda, madeira para reutilização e pequenas quantidades de tijolos
Construção	Na maioria, solos e rocha, desperdícios de tijolos e outros cerâmicos, restos de concreto, aço, madeira, tintas e embalagens.	Trabalhos de movimentação de terras, desperdícios e restos de materiais de trabalhos de construção	Solos e rochas para enchimentos.
Reparação e manutenção	Semelhantes aos resíduos de demolição: concreto, alvenaria, solos e produtos betuminosos	Reabilitação e transformação de edifícios. Manutenção de sistemas de transporte	Semelhantes aos resíduos de demolição. Entulho para enchimentos.

Fonte: Adaptado de Coelho e Brito (2010)

Conforme aponta Teixeira (2013), os RCD compreendem, geralmente, solos de escavação e movimentos de terra, desperdícios, excessos e materiais partidos ou danificados gerados em obras de construção e ainda materiais gerados pela reforma e manutenção de edifícios, estradas e infraestruturas. O Quadro 18 apresenta a origem da geração de cada tipo de material.

Quadro 18 - Principais origens e tipos de resíduos por tipo de obra

Tipo de resíduo	Origem do resíduo
Concreto	Os engenheiros geralmente encomendam mais do que a quantidade necessária; A quantidade perdida em baldes, carrinhos de mão e outros equipamentos de transporte; A quantidade de material utilizada em testes; O excesso de material deixado no caminhão betoneira.
Metal	Os resíduos são gerados nos cortes e dobras de barras de reforço; Geralmente é separado no canteiro e revendido para compradores de segunda mão ou empresas de reciclagem; Dado seu valor econômico, as quantidades de resíduos de aço são tipicamente documentadas nos registros de dados da obra.
Madeira	Gerados em sua maior parte na produção de fôrmas; A condição das fôrmas de madeira geralmente se deteriora com o tempo e o uso, e muitas vezes são descartadas.
Blocos de alvenaria	Serragem no local de blocos de tamanho padronizados para dimensões adequadas; Ruptura dos blocos de alvenaria durante o manuseio
Gesso	O gesso é aplicado em camadas nas paredes e tetos; O desperdício de argamassa de cimento é gerado durante o processo de reboco
Cerâmicos	Corte de azulejos padronizados para dimensões adequadas; Quebras de azulejos durante o manuseio

Fonte: Bakshan *et al.* (2017)

Já os resíduos de demolição compreendem todos aqueles que resultam da demolição de edifícios e outras estruturas, porém são gerados em volumes substancialmente maiores e possuem maior variabilidade quanto à sua composição. Esses resíduos tem a tendência de estarem contaminados por substâncias perigosas, como o chumbo, tintas, vernizes e tendem também a haver mistura de materiais de modo a tornar mais difícil sua separação e reciclagem (TEIXEIRA, 2013).

A composição destes resíduos é resultado do tipo de estrutura a ser demolida, da época em que foi construída e do método que se utiliza para a sua demolição. A composição dos RCD gerados em uma mesma demolição pode ainda variar significativamente de acordo com a construtora que a realiza, devido principalmente à qualidade da mão de obra.

Bernardes *et al.* (2006) realizou uma análise de composição gravimétrica de resíduos de reformas/demolições, obras residenciais e edifícios multifamiliares, conforme a Tabela 12, proveniente das cargas transportadas pelas empresas de coleta e destinação de RCD em Passo Fundo/RS. Observou-se a predominância de resíduos de argamassa e tijolos, materiais muito comuns na etapa de estrutura e alvenaria.

Tabela 12 - Percentagem dos tipos de materiais em relação ao tipo de obra

Tipo de resíduo	Reformas/demolições	Obras residenciais	Edifícios multifamiliares
Argamassa	25,4	21,3	56,7
Cerâmica	0,4	9,5	1,9
Concreto	20,4	6,7	0,9
Finos argamassa	3,9	17,1	7,6
Finos de tijolos	3,2		
Gesso	-	1,3	12,6
Madeira	2,0	3,4	0,4
Outros	19,7	4,2	-
Metal	0,2	0,3	0,7
Papel/Plástico/Tecido/Isopor	0,2	1,1	1,3
Pedras	-	4,4	-
Terra bruta	-	3,1	-
Tijolo	24,5	27,8	17,7
Orgânico	0,1	-	0,1

Fonte: Bernardes *et al.* (2006)

A Tabela 13 apresenta os resultados de alguns estudos internacionais voltados para o levantamento da percentagem de cada tipo de material na composição dos RCD em obras.

Tabela 13 - Percentagem dos tipos de materiais em relação ao total de RCD gerado nas obras (%)

Tipo de resíduo (%)	Fonte					
	Mañà i Reixach <i>et al</i> (2000)	Pereira (2002)	Costa e Ursella (2003)	Bergsdal <i>et al.</i> (2007)	Coelho e Brito (2011a)	Mercader-Moyano e Ramirez-de-Arellano-Agudo (2013)
	Espanha	Portugal	Itália	Noruega	Portugal	Espanha
Solo, pedra e rocha	-	-	-	-	-	0,2
Concreto misto e material cerâmico	85,0	58,3	84,3	67,2	82,9	95,6
Concreto	-	-	-	-	-	85,1
Telhas e materiais cerâmicos	-	-	-	-	-	10,5
Resíduo Misto	-	-	-	-	-	0,1
Madeira	11,2	8,3	-	14,6	-	0,6
Papel/papelão	-	-	-	-	1,2	0,9
Plástico	0,2	0,8	-	-	0,2	0,7
Gesso	-	-	-	-	6,4	0,8
Vidro	-	-	-	-	-	-
Metal	1,8	8,4	0,1	3,6	4,5	0,7
Asfalto	-	10,0	6,8	-	4,2	-
Outros	1,8	14,2	8,8	14,6	-	0,4

Fonte: Compilado pelo autor

A Tabela 14 apresenta a composição gravimétrica dos RCD por fase de obra a partir de estudos realizados no município de Recife/PE (CARNEIRO, 2005; MACEDO, 2013) e João Pessoa/PB (VIANA, 2009; GUEDES, 2014).

Tabela 14 - Composição gravimétrica dos RCD gerados em municípios brasileiros (%)

Material	Fundação				Estrutura				Acabamento			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Argamassa	8	6	8	13	22	24	26	58	52	44	28	19
Concreto	-	-	-	-	29	-	24	-	-	16	2	-
Tijolo	-	5	-	6	26	38	25	11	12	25	9	18
Cerâmica	1	-	-	-	-	-	-	-	8	2	-	15
Brita	18	16	-	12	2	2	-	-	-	-	-	-
Solo	72	70	73	69	10	31	-	17	6	4	-	-
Gesso	-	-	-	-	-	-	-	-	21	-	-	23
Pedra	-	3	-	-	5	-	-	-	-	-	-	15
Madeira	-	-	1	-	3	4	6	3	-	5	2	10
Metal	-	-	-	-	1	-	1	1	-	-	-	-
Material miúdo	-	-	17	-	-	-	17	-	-	-	54	-
Outros	1	-	1	-	1	1	1	10	1	4	5	-

* Estrutura + Alvenaria

Fonte: ¹ Carneiro (2005); ² Viana (2009); ³ Macedo (2013); ⁴ Guedes (2014)

A partir destes estudos, observa-se que na etapa de fundação predomina a geração de areia de escavação, enquanto que na estrutura e acabamento predomina a argamassa, além do gesso.

2.6 GESTÃO DE RCD EM CANTEIROS DE OBRAS

O sistema de gerenciamento de resíduos em obras tem como objetivo a redução, reutilização e reciclagem dos resíduos, o que inclui o planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos, programando as atividades necessárias para cumprir as etapas previstas no Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) (NAGALLI *et al.*, 2013).

De acordo com Lima (2012), as empresas de construção civil executam obras em locais distintos da cidade ao mesmo tempo, envolvem diversos fornecedores de materiais, e utilizam mão de obra em grande quantidade, sendo geralmente de baixa qualificação. Além disso, as obras de reformas e demolição na maioria das vezes são realizadas por profissionais autônomos, tendo curta duração e realizadas em espaço reduzido para segregação e acondicionamento dos resíduos. Estas questões dificultam bastante a gestão adequada dos RCD.

Neste sentido, é necessário aperfeiçoar o modelo atual de gerenciamento de resíduos, buscando soluções que minimizem essas dificuldades. Lima e Lima (2009) apresentam as seguintes vantagens para a gestão adequada de RCD nos canteiros de obras:

- redução do volume de resíduos a descartar;
- redução do consumo de matérias primas extraídas diretamente da natureza;
- redução dos acidentes de trabalho;
- redução do número de caçambas retiradas da obra;
- melhoria na produtividade;
- atendimento aos requisitos ambientais em programas como o PBQP-H, Quali-HAB e ISO 14.001; e
- diferencial positivo na imagem da empresa junto ao público.

De acordo com Ajayi *et al.* (2017), uma série de fatores críticos devem ser considerados durante a execução de uma obra que poderá favorecer a redução da geração de RCD. Os autores apresentam que a redução da geração de resíduos começa a partir da etapa de projeto do edifício e do canteiro de obras, onde se deve realizar as atividades seguindo estritamente o projeto, evitando ao máximo realizar mudanças no *design*.

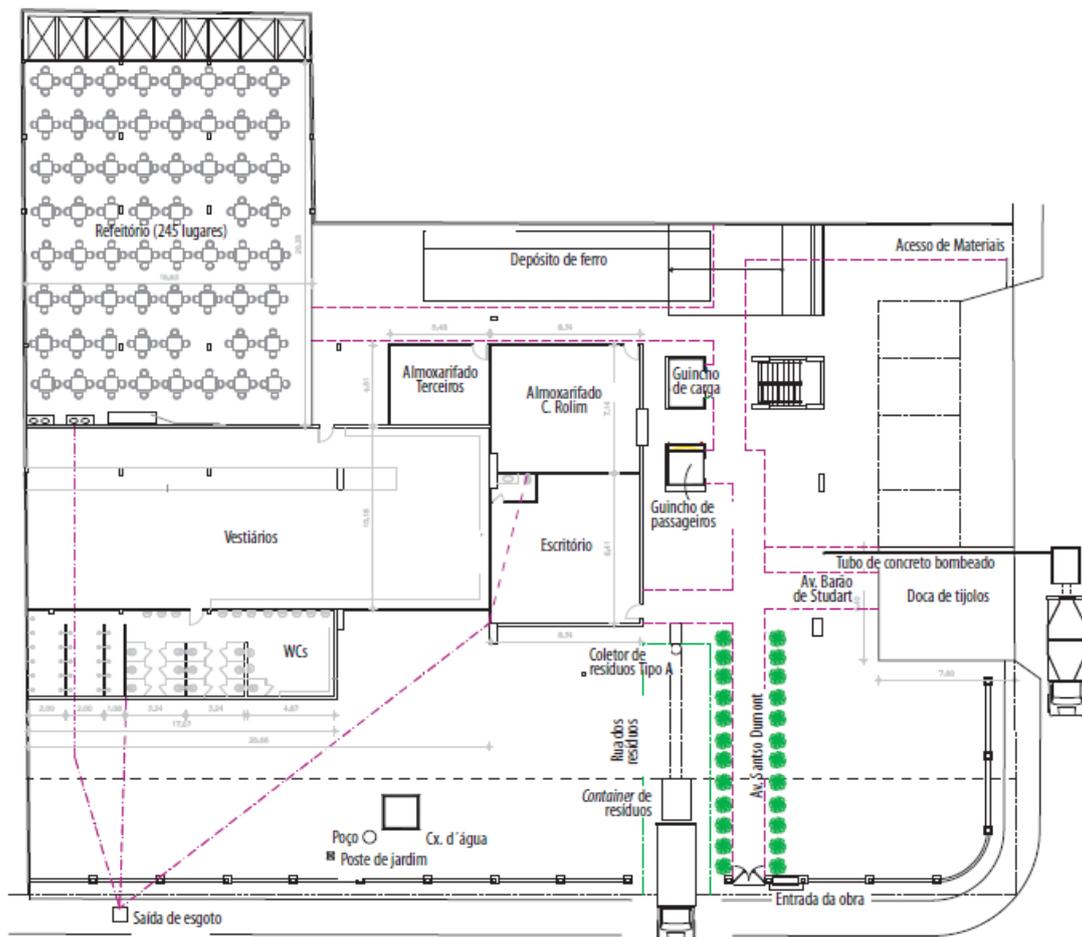
Além disso, deve ser dada máxima atenção à logística do canteiro de obras, que engloba o pedido, a compra e o movimento de materiais da entrada ao local de armazenamento, de modo a prevenir o excesso de pedidos e o armazenamento de materiais. A gestão logística

eficaz também implica medidas para evitar o duplo manuseio, o que pode ser alcançado através da localização central das instalações de armazenamento de materiais e pela entrega apenas quando necessário (AJAYI *et al.*, 2017).

O projeto de layout do canteiro de obras é uma grande ferramenta da logística da construção, uma vez que o mesmo define os fluxos físicos e de informações durante todo o empreendimento (Figura 17). Este tem que sofrer algumas modificações, contemplando o transporte interno e a implantação do projeto de gerenciamento de resíduos sólidos. Para racionalizar a adoção dos procedimentos pelos operários, é fundamental (NOVAES e MOURÃO, 2008):

- a definição dos sistemas de transporte horizontal e vertical dos resíduos por classes;
- a definição dos locais adequados para os tambores e *containers*; e
- os resíduos segregados devem ser acondicionados até que possam ser transportados pela coleta seletiva.

Figura 17 - Projeto de canteiro de obras contemplando a segregação de resíduos



Fonte: Novaes e Mourão (2008)

Seguindo o princípio dos 5R, uma série de estratégias têm sido desenvolvidas, como a separação dos resíduos dentro do canteiro de obras (WANG *et al.*, 2010), pré-fabricação (JAILLON *et al.*, 2009; LU e YUAN, 2013; TAM e HAO, 2014), e demolição seletiva (KOURMPANIS *et al.*, 2008).

2.6.1 Demolição Seletiva

A demolição seletiva é o processo de desmonte de uma construção visando à máxima reutilização dos seus materiais e componentes construtivos evitando, assim, a geração de resíduos, característica do processo usual de demolição. Os produtos da demolição seletiva são materiais que podem ser usados ou reconicionados como bens de valor (SINDUSCON-MG, 2008).

A separação dos materiais é realizada de acordo com as suas características, de maneira segura e eficiente, reduzindo impurezas, ruídos e vibrações. A demolição seletiva prevê, ainda, a implementação *in loco* de sistemas de coleta seletiva de resíduos com o propósito de valorizar ao máximo os materiais (COELHO e BRITO, 2011a).

Segundo o Sindicato das Indústrias da Construção Civil do Estado de Minas Gerais (SINDUSCON/MG, 2008), as receitas geradas na comercialização dos materiais oriundos da demolição seletiva podem diminuir os custos do processo de demolição, devido a:

- redução dos custos de disposição dos materiais através da possibilidade de maior reutilização dos mesmos e dos componentes construtivos;
- geração de receitas diretas com a venda desses materiais ou indireta por meio de doações;
- redução das emissões de poeira pelo não uso de equipamentos pesados de demolição e pela diminuição dos volumes de resíduos a serem transportados para sua destinação final;
- redução da extração de matérias-primas;
- redução do consumo de energia da extração de recursos naturais.

Todas as obras, no geral, possuem capacidade de serem objeto de demolição seletiva ou desconstrução, principalmente aquelas que possuem estruturas de madeira, metal, pré-moldados, vidros temperados, etc. (SINDUSCON, 2008). O Quadro 19 apresenta um resumo

das vantagens e desvantagens de se adotar o processo de demolição seletiva em substituição à demolição comum.

Quadro 19 - Oportunidades e dificuldades para a demolição seletiva

Oportunidades	Dificuldades
Redução de gestão de materiais perigosos	Aumento dos riscos de segurança do trabalhador
Redução de disposição final de RCD	Maior tempo na fase de desmonte
Ganhos econômicos com a reutilização do material	Necessidade de área de triagem e recuperação
Preservação de recursos naturais	Falta de normas para reutilização de materiais
Remoção de estruturas obsoletas	Falta de canais de distribuição do material recuperado.

Fonte: Adaptado de Sinduscon-MG (2008)

2.6.2 Triagem dos resíduos

Dentre as várias medidas de minimização dos RCD, a triagem dos materiais de acordo com sua classe, antes de ser depositado em aterros sanitários é muitas vezes apresentada como uma etapa imprescindível (SANTOS e MARCHESINI, 2018), pois em muitos casos os RCD são gerenciados como uma mistura de materiais de construção inertes e não inertes (LU e YUAN, 2012).

Para Ajayi *et al.* (2017), a segregação efetiva dos resíduos, através da provisão de coletores de resíduos para materiais específicos, é essencial para mitigar o total de resíduos descartados de um local de construção. Além de ser um dos principais fatores de sucesso para um projeto eficiente de gestão de resíduos, a segregação de resíduos é uma medida subjacente para alcançar outras práticas de minimização de resíduos, pois a reutilização dos materiais no próprio canteiro de obras pode ser amplamente influenciada pela segregação adequada das diferentes categorias de resíduos.

Conforme aponta Guerra (2009), é exatamente a gestão na fonte geradora que irá favorecer a correta segregação, ou seja, separação dos diversos tipos de resíduos gerados nas várias etapas de uma construção para posterior tratamento, uma vez que os resíduos contaminados, ou seja, classes misturadas, dificultam ou até inviabilizam o seu reaproveitamento.

Para que os resíduos sejam reciclados e reaproveitados como matéria-prima, as características do produto reciclado devem ser compatíveis ao uso a que ele se propõe. A reciclagem dos RCD contaminados com materiais não inertes produz reciclados de pouca qualidade. Então, é fundamental a separação dos diversos tipos de resíduos produzidos, onde

a fase inerte é a que possui maior potencial de reciclagem para produção de reciclados de boa qualidade a serem reaproveitados na própria construção civil (CABRAL e MOREIRA, 2011).

Para garantir o potencial de reciclagem dos RCD, o gestor da obra deve evitar que a contaminação se instale e garantir que cada tipo de resíduo tenha a destinação em conformidade com a legislação (AYRES, 2014).

A triagem dos resíduos pode ser realizada dentro e fora dos canteiros de obra. Poon *et al.* (2001) analisaram a viabilidade de realizar a triagem dos RCD dentro do canteiro de obras, levando em consideração as características dos RCD gerados em Hong Kong. A pesquisa verificou que as construtoras no geral são relutantes em realizar a triagem no local, embora haja várias vantagens em comparação com a realização da triagem em uma área específica no município, fora do canteiro. Dessa forma, a triagem não tem sido realizada de forma adequada em Hong Kong, pois os resíduos acabam tendo com destinação final os aterros sanitários, ou instalações públicas para recebimento desse tipo de resíduo.

Uma vez segregados, os resíduos deverão ser adequadamente acondicionados, em depósitos distintos, para que possam ser aproveitados numa futura utilização no canteiro de obras ou fora dele, evitando assim qualquer contaminação do resíduo por qualquer tipo de impureza que inviabilize sua reutilização. A contaminação do resíduo durante o acondicionamento também compromete a sua reutilização e, em certos casos, até inviabiliza o posterior aproveitamento, dificultando a gestão, ao mesmo tempo em que o acondicionamento bem realizado assegura a qualidade dos resíduos (LIMA e LIMA, 2009).

De acordo com Novaes e Mourão (2008), os resíduos orgânicos, como restos de comida produzidos durante as refeições dos operários, bem como aqueles não recicláveis, devem ser agrupados em lixeiras com sacos plásticos adequados. Os sacos devem ser alocados em locais e dias previstos, para serem coletados pela limpeza pública. Esse procedimento tem como objetivo evitar o acúmulo de resíduos na obra, além de acabar com uma possível contaminação dos resíduos classe A ou recicláveis existentes no canteiro.

2.6.3 Transporte dos resíduos coletados

Quando o reaproveitamento dos RCD nas obras não é suficiente, os resíduos precisam ser retirados do canteiro (BORGES *et al.*, 2015) e transportados para uma destinação adequada. Para isso, os centros urbanos precisam dispor de uma estrutura que permita o gerenciamento adequado destes materiais.

Os RCD advindos dos grandes geradores deverão ser coletados por transportadoras privadas, até o destino final. De acordo com o art. 2º, Inciso III, da Resolução nº 307/2002 do CONAMA, os transportadores “são pessoas físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, encarregadas da coleta e transporte dos resíduos entre as fontes geradoras e as áreas de destinação”.

Conforme descreve Ayres (2014), o transporte dos RCD deve atender aos requisitos legais quanto ao acondicionamento e ao destino, obedecendo aos princípios ambientais. Dentre os parâmetros está a rastreabilidade, que permite ao gerador do resíduo controlar todo o trajeto percorrido pelo transportador até o destino correto para cada tipo de resíduo, em usinas de reciclagem ou em aterros autorizados, conforme a legislação.

Para o transporte externo, o construtor deverá contratar uma empresa particular de coleta, credenciada pelo órgão competente, para a prestação de serviços de transporte de RCD, do canteiro de obras para uma disposição adequada. Os *contêineres*, fornecidos pela empresa de transporte, devem ser retirados da obra preferencialmente quando atingirem sua capacidade máxima (NOVAES e MOURÃO, 2008).

Deve-se ter um controle efetivo sobre as atividades realizadas pelos transportadores privados, pois de acordo com Schneider e Philippi Jr. (2004), estes são provavelmente os principais agentes causadores da deposição irregular de RCD nos centros urbanos.

2.6.4 Destinação final dos resíduos

Existem várias razões para a destinação final inadequada dos resíduos, que incluem a quantidade reduzida de aterros sanitários disponíveis, longa distância de transporte, e o alto custo para a disposição final, bem como a falta de incentivos e opções de reciclagem (KATZ e BAUM, 2011). O Quadro 20 apresenta a destinação adequada dos resíduos de acordo com as classes, estabelecida no Art. 10 da Resolução CONAMA nº 307/2002.

Brum e Hippert (2012) realizou um levantamento dos guias e manuais existentes para auxiliar as empresas no desenvolvimento do seu sistema de gestão de RCD nos canteiros de obras. O Quadro 21 apresenta as informações atualizadas referentes a alguns dos manuais analisados.

Quadro 20 - Destinação final adequada dos resíduos de acordo com a classe

Classe	Destinação final
A	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados; ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, onde deverão ser dispostos de modo a permitir sua posterior reciclagem, ou a futura utilização, para outros fins, da área aterrada.
B	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
C	Deverão ser armazenados, transportados e receber destinação adequada, em conformidade com as normas técnicas específicas.
D	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e receber destinação adequada, em conformidade com a legislação e as normas técnicas específicas.

Fonte: CONAMA (2002)

Quadro 21 - Publicações sobre gestão de resíduos em canteiros de obras

Título	Instituições envolvidas	Região	Autor
Cartilha de gerenciamento de resíduos para a construção civil	SINDUSCON-MG, Prefeitura de Belo Horizonte, SENAI-MG, Empresas privadas e profissionais autônomos	Minas Gerais	Júnior (2005)
Gestão Ambiental dos resíduos da construção civil – A experiência do SINDUSCON-SP	SINDUSCON-SP, Obra Limpa e Informações Técnicas em Construção Civil	São Paulo	Pinto <i>et al.</i> (2005)
Gestão de resíduos na construção civil	SENAI-SE, SENAI-DN, SEBRAE-SE, COMPETIR e SINDUSCON-CE	Sergipe	Barreto (2005)
Manual de gestão ambiental de resíduos sólidos na construção civil	COOPERCON-CE, SENAI-CE e FIEC-CE	Ceará	Novaes e Mourão (2008)
Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil	SINDUSCON/CE	Ceará	Cabral e Moreira (2011)
Gestão ambiental de resíduos da construção civil – avanços institucionais e melhorias técnicas	SINDUSCON/SP	São Paulo	SINDUSCON/SP (2015)
Manual de gerenciamento de resíduos da construção civil	Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Curitiba/PR	Curitiba	SMMA (2015)

Fonte: Adaptado de Brum e Hippert (2012)

Como forma de monitorar a gestão dos resíduos em obras, Zanna (2014) desenvolveu o *software* WM, que permite, dentre outras finalidades, avaliar de forma qualitativa a segregação dos resíduos para cada caçamba que sai da obra. As avaliações das caçambas são organizadas em um conjunto de dados, que geram um Indicador da Qualidade da Segregação (IQS).

Lima (2016) utilizou o mesmo *software* para avaliar a segregação dos resíduos em uma obra em Londrina/PR, onde foram realizadas ao total 50 avaliações de caçamba, onde a maioria foi avaliada como “boa” segregação. Porém, a autora destaca a existência de subjetividade no método de avaliação, e sugere alterações no IQS, de modo a reduzir os erros humanos.

2.7 RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O Art 4. da Resolução CONAMA nº 307/2002 estabelece que os geradores devem ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final dos RCD.

Uma das maneiras de minimizar o impacto provocado pelos resíduos é a reciclagem de materiais que, *a priori*, são descartados pelo homem no meio ambiente. Quando utilizados de forma correta, é considerado um fator positivo na economia, visto que o seu retorno ao processo produtivo poderá favorecer a redução no consumo de determinados materiais (MACEDO, 2013).

De acordo com Yehesis *et al.* (2013), o momento atual é de olhar para os RCD em uma perspectiva diferente. Ao invés de considerar os resíduos como um problema, devem ser considerados como solução, ao desenvolver e utilizar materiais sustentáveis na construção.

Neste contexto, conforme apontam Morales *et al.* (2011) e Brasileiro e Matos (2015), a reciclagem de RCD, além de trazer o benefício da redução em larga escala do acúmulo de resíduos urbanos, possibilita a diminuição do uso de materiais não renováveis, garantindo-lhes um valor agregado, e contribui com a geração de emprego e novas fontes de renda. Um resíduo reciclável, o qual teria tido um descarte inadequado, comprometendo a qualidade socioambiental, é comercializado na forma de agregado para concretos e argamassas, a um preço médio entre R\$ 30,00/m³ e R\$ 35,00/m³ (CHAVES, 2015; PASCHOALIN FILHO *et al.*, 2016; FONSECA e JUNIOR, 2018).

A reciclagem de RCD é um mercado promissor em vários países da Europa, favorecido em grande parte pela escassez de recursos naturais e o alto potencial de reuso e reciclagem destes resíduos (DOSAL *et al.*, 2013). A taxa de recuperação e reciclagem de RCD varia de forma de forma significativa ao redor do mundo, de 10% na China e Índia a 90% no Japão (DUAN *et al.*, 2019).

De acordo com Jain *et al.* (2015), a produção e utilização de agregados reciclados são práticas comuns nas indústrias da construção de vários países como os Estados Unidos,

Austrália e Japão. De acordo com o relatório de 2010 da Associação Europeia de Agregados (UEPG), a Alemanha é o maior produtor de agregados reciclados, com uma produção de 60 milhões de toneladas, seguida pelo Reino Unido (49 milhões), Holanda (20 milhões) e França (17 milhões). No Brasil, a produção anual de agregados é cerca de 18,6 milhões, de acordo com o último relatório da ABRECON (2015).

Apesar disso, segundo a ABRECON (2015), anualmente são coletadas cerca de 33 milhões de toneladas de RCD no Brasil, quantidade suficiente para construir quase 500 mil casas populares de 50 metros quadrados cada. Levando em consideração o preço do Custo Unitário Básico (CUB) médio brasileiro da construção em Outubro de 2012 (R\$ 1.001,47), o custo aproxima-se de R\$ 26 bilhões de reais, podendo ser mais alto, se for considerada a quantidade de resíduos descartados de forma inadequada, que não é contabilizado (GUEDES, 2014).

As alternativas de utilização do RCD após a reciclagem são diversas, tendo como principal aplicação o uso em pavimentação ou aplicações geotécnicas, que requerem propriedades mecânicas menos exigentes (ULSEN, 2011). Consideram-se ainda como aplicações dos subprodutos da reciclagem de RCD a utilização em blocos de concreto para vedação, cascalho para pavimentação de ruas, contrapiso e material para drenagens, contenção de encostas, tubo para esgotamento, e artefatos de concreto e cerâmica. Os produtos reciclados possuem um preço final mais barato, se tornando mais acessível (GUEDES, 2014).

De acordo com Nagalli (2014), a viabilidade técnica do reaproveitamento do RCD depende das condições de preservação ou das características do material. Nesse sentido, deve haver uma identificação, classificação e segregação adequada dos resíduos, e redução do seu volume.

Com o avanço tecnológico e das pesquisas acadêmicas, as possibilidades de reciclagem desses resíduos tendem a aumentar. Geralmente se verifica uma variação da eficiência do processo de reciclagem, em termos de quantidade de sobras decorrentes do próprio processo, ou na geração de subprodutos cujas características podem inviabilizar a reciclagem nos aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

Algumas normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) foram criadas para regulamentar os processos de reaproveitamento de resíduos, como é o caso das normas NBR 15.114/2004⁸ (ABNT, 2004g), NBR 15.115/2004⁹ (ABNT, 2004h) e NBR

⁸ NBR 15.114/04: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.

15.116/2004¹⁰ (ABNT, 2004i), abordando o tratamento dos RCD de acordo com a Resolução CONAMA n° 307/2002, estabelecendo mecanismos de triagem de resíduos, armazenamento, controle de registro de operações, controle de transporte, localização dos aterros e a própria classificação dos resíduos (SOBRAL, 2012).

Desse modo, a alternativa considerada como mais adequada é o reaproveitamento dos RCD através das usinas de beneficiamento, que pode transformar os resíduos em agregados reciclados, sendo reutilizados na própria construção civil. As usinas de beneficiamento são definidas como a área industrial onde se processa a transformação do RCD (Classe A) em dois produtos finais distintos e conceituados pela NBR 15.112 (ABNT, 2004e) na forma de Agregado de Resíduo de Concreto (ARC), e de Agregado de Resíduo Misto (ARM) (MELO *et al.*, 2013).

Para Leite *et al.* (2010), a implantação de usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição segue o que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010b), que tem como objetivos a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; a reciclagem dos resíduos sólidos; o estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção de bens e o incentivo à reciclagem.

2.7.1 Experiências nacionais de utilização de usinas de beneficiamento de RCD

Conforme aponta Dosal *et al.* (2013), para que haja uma gestão diferenciada dos RCD, é necessária a existência de uma rede de usinas de beneficiamento localizadas em áreas adequadas.

Uma série de usinas de beneficiamento de RCD tem sido implantada no Brasil nos últimos anos, com a proposta de aumentar a eficiência do processo de reutilização dos resíduos, reduzir a necessidade de criação de novos aterros sanitários e, como consequência, reduzir também o impacto ambiental (MIRANDA *et al.*, 2009).

A NBR 15.114/2004 (ABNT, 2004g) foi pioneira em todo o hemisfério sul, pois foi a primeira norma técnica a tratar das diretrizes, implantação e operacionalização de usinas de reciclagem de RCD (SOBRAL, 2012). Anteriormente a esta norma, a quantidade de usinas no Brasil era bastante incipiente. A primeira usina brasileira foi instalada no município de São

⁹ NBR 15.115/04: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.

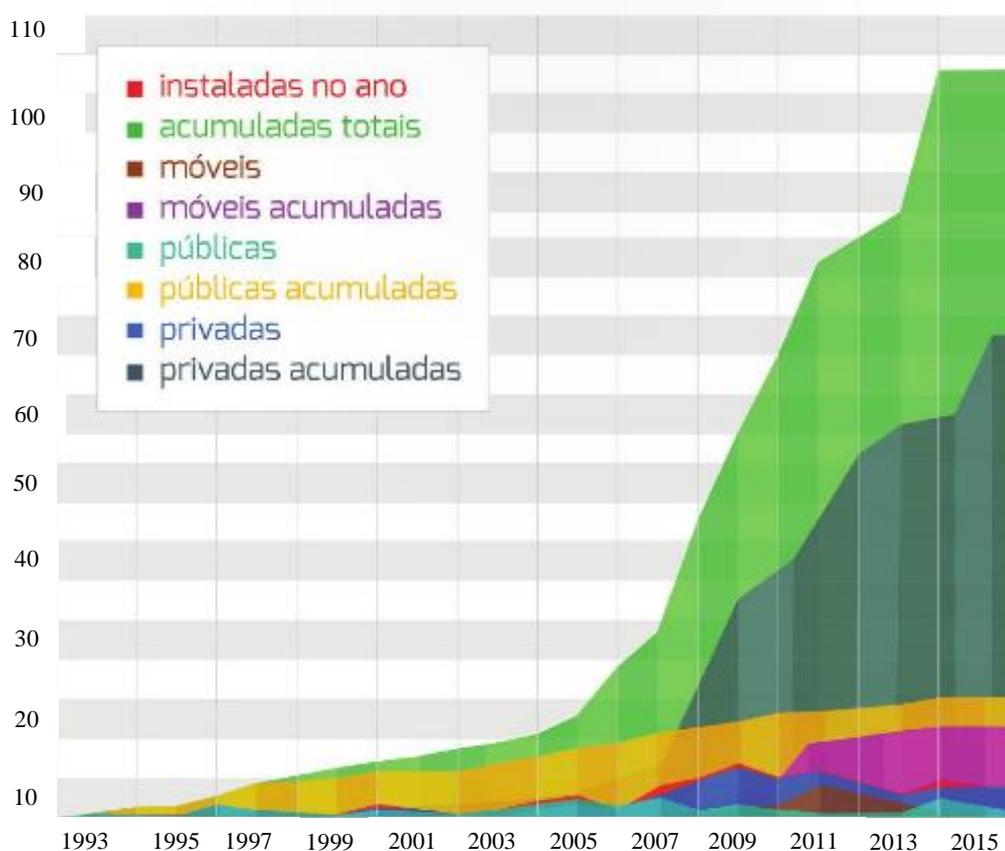
¹⁰ NBR 15.116/04: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos

Paulo, construída no ano de 1991, denominada de Usina de Reciclagem de Itatinga, situada no Bairro de Santo Amaro na zona sul de São Paulo.

Posteriormente, outras duas usinas foram implantadas, sendo uma em Londrina/PR, no ano de 1993 e em Belo Horizonte/MG, em 1994. A partir do ano 2000, já existiam pelo menos três usinas de reciclagem privadas de pequeno porte instaladas, localizadas em São Paulo/SP (área de transbordo e triagem ATT Base), Socorro/SP (Irmãos Preto Ltda.), e Fortaleza/CE (USIFORT) (MIRANDA *et al.*, 2009).

Antes do estabelecimento da Resolução CONAMA nº 307/2002, a taxa de instalação era de 3 usinas ao ano. Porém, após a resolução, a taxa subiu para 9 usinas por ano, e o Brasil possui atualmente uma taxa de instalação de 10,6 usinas por ano (Figura 18). Porém, no último levantamento da ABRECON (2015), houve uma estabilidade na taxa de instalação de novas usinas. Pode-se observar na Tabela 15 a capacidade de usinas instaladas no Brasil, onde algumas já foram desativadas.

Figura 18 - Usinas de reciclagem de RCD classe A inauguradas de 1991 a 2016



Fonte: ABRECON (2015)

Tabela 15 - Usinas de reciclagem de RCD instaladas em alguns municípios do Brasil

Municípios ¹	Propriedade	Início da Atividade	Capacidade (t/h)
São Paulo – SP	Prefeitura	1991	100
Londrina – PR	Prefeitura	1993	20
Belo Horizonte – MG (Estoril)	Prefeitura	1994	30
Belo Horizonte – MG (Pampulha)	Prefeitura	1996	20
Ribeirão Preto – SP	Prefeitura	1996	30
Piracicaba-SP	Autarquia/Emdhap	1996	15
São José dos Campos – SP	Prefeitura	1997	30
São Paulo – SP	ATT base	1998	15
Macaé – RJ	Prefeitura	1998	8
São Sebastião – DF	Adm. Regional	1999	5
Socorro – SP	Irmãos Preto	2000	3
Guarulhos – SP	Prefeitura/Proguaru	2000	15
Vinhedo – SP	Prefeitura	2000	15
Brasília – DF	Caenge	2001	30
Fortaleza – CE	Usifort	2002	60
Ribeirão Pires – SP	Prefeitura	2003	15
Ciríaco – SP	Prefeitura	2003	15
São Gonçalo – RJ	Prefeitura	2004	35
Jundiá – SP	SMR	2004	20
Campinas – SP	Prefeitura	2004	70
São Bernardo do Campo – SP	Urbem	2005	50
São Bernardo do Campo – SP	Ecoforte	2005	70
São José do Rio Preto – SP	Prefeitura	2005	30
São Carlos – SP	Autarquia/PROHAB	2005	20
Belo Horizonte – MG (BR-040)	Prefeitura	2006	40
Ponta Grossa – PR	P. Grossa Amb.	2006	20
Taboão da Serra – SP	Estação Ecologia	2006	20
João Pessoa – PB	Prefeitura/Emlur	2007	25
Caraguatuba – SP	JC	2007	15
Colombo – PR	Soliforte	2007	40
Limeira – SP	RL Reciclagem	2007	35
Americana – SP	Cemara	2007	25
Piracicaba – SP	Autarquia/Semae	2007	20
Santa Maria – RS	GR2	2007	15
Osasco – SP	Inst. Nova Angra	2007	25
Rio das ostras – RJ	Prefeitura	2007	20
Brasília – DF	CAENGE	2008	30
Londrina – PR	Kurica Ambiental	2008	40
São Luís – MA	Limpel	2008	40
São José dos Campos – SP	RCC Ambiental	2008	70
Paulínia – SP	Estre Ambiental	2008	100
Guarulhos – SP	Henfer	2008	30
Barretos – SP	Prefeitura	2008	25
São José dos Campos – SP	Julix – Enterpa	2008	25
Petrolina – PE	Prefeitura	2008	25
Itaquaquecetuba – SP	Entrec Ambiental	2008	40
Praia Grande – SP	Foccus	2010	70
Camaragibe – PE	Ciclo Ambiental	2010	40
Curitiba – PR	Usipar	2011	50
Pindamonhangaba – SP	AB Areias	2011	150
Bragança Paulista – SP	RRCC Reciclagem	2011	80
Rio de Janeiro – RJ	Global RCD	2012	150
Natal – RN	Ecobrit	2012	80
Goiânia – GO	Renove	2012	70
Olinda – PE	AGR Ambiental	2016	40

Fonte: Miranda *et al.* (2009); Córdoba (2010); Carelli e Miranda (2013)

Cunha e Miceli (2013) apresentam dados acerca da quantidade de usinas de reciclagem de RCD existentes no Brasil (Tabela 16). Considerando a geração média de 80 milhões de toneladas de resíduos por ano e a capacidade média de uma usina reciclar 60.000 toneladas por ano, estima-se que um número mínimo de usinas no país deveria ser na ordem de 1.300. O levantamento mais recente da ABRECON aponta que já foram cadastradas mais de 310 usinas no Brasil (ABRECON, 2015).

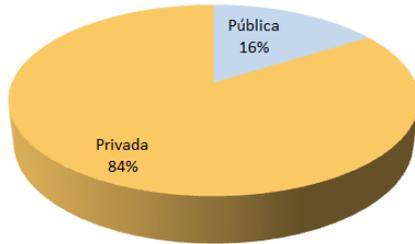
Tabela 16 - Dados históricos da oferta de agregados reciclados no Brasil de 2002 a 2015

Ano	Número aproximado de Usinas de reciclagem	Capacidade (10 ⁵ t/ano)
2002	11	6,6
2003	15	9,0
2004	25	15,0
2005	30	18,0
2006	35	21,0
2007	40	24,0
2008	45	27,0
2009	50	30,0
2010	80	48,0
2011	130	78,0
2012	180	108,0
2015	310	186,0

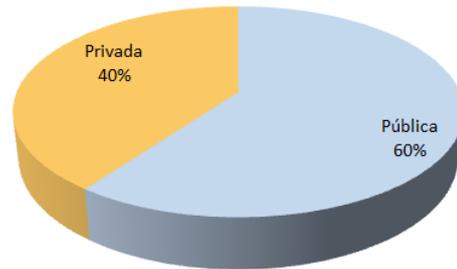
Fonte: Cunha e Miceli (2013); ABRECON (2015)

Considerando-se que as usinas vêm trabalhando, em média, na faixa de 45% da sua capacidade máxima, devido a fatores como paradas de produção (chuva, quebra de máquinas, pneu furado, etc.), falta de matéria prima ou baixa saída de agregado reciclado, observou-se que o percentual de reciclagem de RCD no país é de 21% (ABRECON, 2015). Esse percentual pouco significativo de reciclagem de RCD demonstra claramente a necessidade de implantação de novas usinas para que a reciclagem no Brasil se torne expressiva (MIRANDA *et al.*, 2009), além de investimentos e incentivo de uso de agregados reciclados.

Observa-se pela Figura 19 que a grande maioria das usinas ativas no país pertencem à iniciativa privada. Pode-se afirmar que tal fato foi motivado pela Resolução CONAMA nº 307 e pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. Antes a maioria das usinas em funcionamento no país era pública. A Figura 20 indica que, das usinas inativas, a maior parte é do poder público, por dificuldades na gestão (CARELLI e MIRANDA, 2013). Os percentuais de usinas ativas e inativas no país se mantiveram no último relatório da ABRECON (2015).

Figura 19 - Percentual de usinas ativas no país

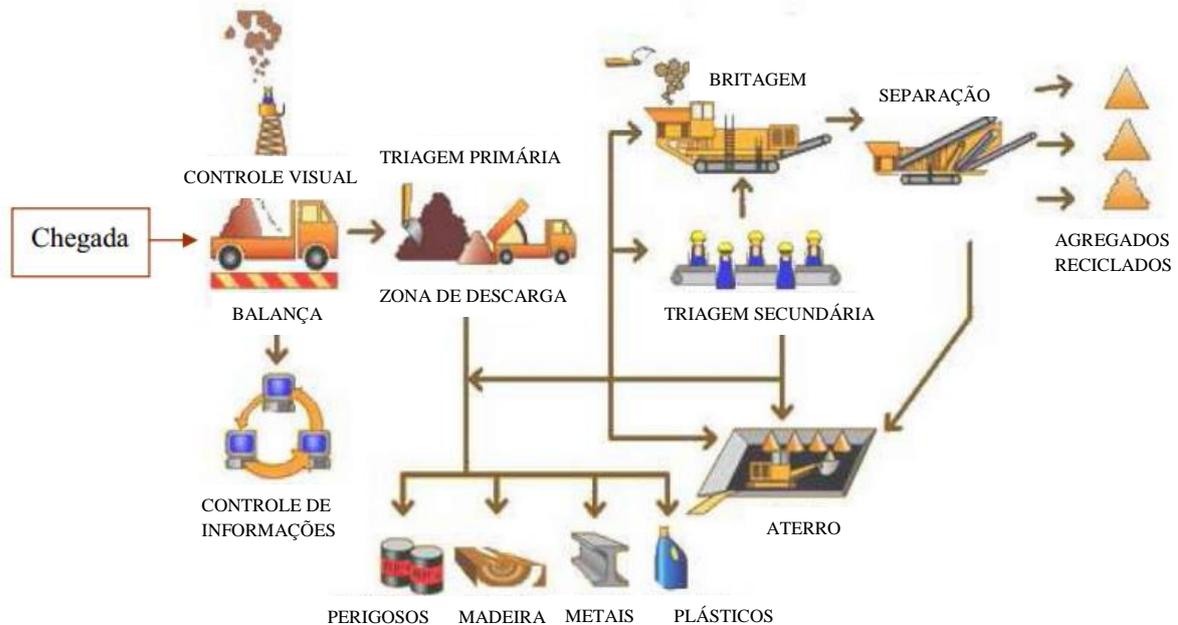
Fonte: Carelli e Miranda (2013)

Figura 20 - Percentual de usinas inativas no país

Fonte: Carelli e Miranda (2013)

Em relação à distribuição percentual dos valores cobrados pelas usinas e aterros para receberem RCD, dados do Relatório ABRECON (2015) mostram que cerca de 48% das usinas cobram valores inferiores a R\$ 15,00/m³, sendo que o valor mais praticado está entre R\$ 5,00 e R\$ 10,00 por m³ (CRISTO *et al.*, 2014; SACHO *et al.*, 2016).

De acordo com Nascimento e Selmo (2007), o projeto de instalação de uma usina de reciclagem de RCD deve ser definido a partir de um fluxograma que descreva as sucessivas operações unitárias. Na Figura 21, apresenta-se um esquema possível de tratamento de resíduos em central fixa de reciclagem.

Figura 21 - Esquema de funcionamento de uma usina de reciclagem de RCD

Fonte: Melo *et al.* (2013)

Os equipamentos necessários à operação de uma recicladora são semelhantes aos de atividades de mineração, com as devidas adaptações. Dentre eles, têm-se o alimentador do britador, o britador, os transportadores de correias, os separadores magnéticos e as peneiras.

2.7.2 Critérios de localização de usinas de beneficiamento

A instalação de uma usina de reciclagem começa pela escolha do local mais adequado para esta atividade, que deve ser realizada de forma cuidadosa, pois influencia na viabilidade econômica e ambiental do empreendimento (DOSAL *et al.*, 2013), devendo-se considerar vários critérios ambientais, sociais e econômicos. A NBR 15.114 (ABNT, 2004g) apresenta as diretrizes de projeto, implantação e operação das áreas de reciclagem. O local utilizado para a implantação de área de reciclagem de resíduos da construção civil classe A deve ser tal que:

- o impacto ambiental a ser causado pela instalação da área de reciclagem seja minimizado;
- a aceitação da instalação pela população seja maximizada;
- esteja de acordo com a legislação de uso do solo e legislação ambiental.

Ainda segundo a norma, para a avaliação da adequabilidade de um local aos critérios descritos, devem ser observados os aspectos relacionados a hidrologia, vegetação e vias de acesso.

O Quadro 22 apresenta outros critérios de implantação das áreas de reciclagem (SILVA *et al.*, 2013).

Quadro 22 - Critérios de implantação de áreas de reciclagem de RCD

Condições de implantação	Critérios
Isolamento e sinalização	- Sinalização do perímetro da área em operação, construído com o objetivo de impedir o acesso de pessoas não cadastradas e animais; - Estabelecimento de uma forma de controle de acesso ao local; - Sinalizações que identifiquem o empreendimento; - Preocupação com aspectos relativos à vizinhança, ventos e estética.
Acessos	- Devem ser protegidos e mantidos em condições de utilização para diferentes variações climáticas.
Iluminação e energia	- A área deve dispor de iluminação que permita ações de emergência a qualquer tempo.
Proteção das águas superficiais	- Respeitar as faixas de proteção dos corpos d'água superficiais; - Previsão de um sistema de drenagem das águas de escoamento superficial na área de reciclagem.
Preparo da área de operação	- Área de operação deve ter sua superfície regularizada; - Determinar local específico para armazenamento temporário de resíduos não recicláveis. - Área coberta para armazenamento temporário de resíduos Classe D.

Fonte: NBR 15.114/2004 (ABNT, 2004g)

Dessa forma, as usinas de beneficiamento devem ser instaladas o mais próximo possível das fontes geradoras e dos locais de uso, e o mais distante de áreas residenciais e centrais, para não sobrecarregar o tráfego circunvizinho, além de que os custos de transporte entre o local de geração e a usina devem incentivar a remoção do entulho à usina, em detrimento da deposição irregular dos resíduos (SOBRAL, 2012).

De modo a auxiliar na localização do empreendimento, diversas ferramentas de tomada de decisão têm sido desenvolvidas, considerando-se critérios ambientais, sociais e econômicos (DOSAL *et al.*, 2013). A utilização de métodos multicritérios, de acordo com Bohnenberger *et al.* (2018), muitas vezes em conjunto com Sistemas de Informações Geográficas (SIG), ganham cada vez mais espaço, por conseguir inserir na análise diversas variáveis, quantitativas ou qualitativas, sendo possível avaliar vários cenários distintos.

Silva *et al.* (2013) desenvolveram uma metodologia para apoiar o processo de tomada de decisão na escolha das melhores alternativas de terrenos para a instalação de uma usina de reciclagem de RCD no município de Ponta Grossa/PR. Foi utilizado o método AHP (Análise Hierárquica de Processo) para avaliação dos impactos ambientais, sociais e econômicos da instalação de uma usina. A partir da utilização do *software Expert Choice 11.5*, realizou-se a combinação das respostas dos decisores, de modo a apresentar as melhores alternativas entre critérios e subcritérios.

Já Dosal *et al.* (2012) desenvolveu uma metodologia baseada em SIG para localizar áreas aptas à instalação de usinas, realizando um estudo de caso em Cantabria, região norte da Espanha. Foram utilizados critérios como distância de monumentos naturais, reservas naturais, e parques nacionais, áreas protegidas, águas superficiais, e áreas urbanas.

2.7.3 Viabilidade econômica de implantação de usinas de RCD

Antes da instalação de uma usina de beneficiamento, é preciso realizar um estudo de viabilidade econômica do empreendimento, que consiste inicialmente em uma estimativa da geração de RCD, análise de mercado dos materiais reciclados, e estimativa dos custos de implantação e operação (DOSAL *et al.*, 2013).

De acordo com Jadowski (2005), os investimentos necessários para a implantação de usinas de reciclagem de RCD abrangem a aquisição de equipamentos (britador, esteiras, peneiras, calhas, entre outros); aquisição de veículos; aquisição do terreno; obras civis (terraplenagem, administração, guarita, barreira vegetal e obras de contenção); e capital de giro próprio. Além destes, podem ser inseridos na implantação os custos de abertura da empresa e licenciamento ambiental.

Filho *et al.* (2015), ao realizarem uma estimativa dos custos de implantação de uma usina de reciclagem com capacidade para 70 toneladas/hora, considerou os itens descritos no Quadro 23.

Quadro 23 - Características dos itens considerados na estimativa dos custos de implantação da usina.

Item	Descrição
Projeto e layout	Dimensionamento e especificações técnicas de acordo com a NBR 15.113/2004
Obras civis	Necessárias para a construção de escritórios, galpões e demais obras de infraestrutura
Unidade recicladora	Conjunto de equipamentos que integrarão a operação, tais como: alimentador vibratório, grelha vibratória, equipamentos de transporte (transportadores de correia, transportadores inclinados de rosca ou de canecas), separadores magnéticos, britador de mandíbula
Peneiras	Deck de 4 peneiras vibratórias para 5 produtos tipo Classe A
Pá carregadeira	Equipamento automotriz dotado de concha e rodado de pneus que alimentará a unidade recicladora
Balança	Balança de piso para a pesagem dos caminhões com capacidade de 5 a 12 m ³ de caçamba, a ser pesada com o resíduo na entrada e na saída com o material reciclado
Acabamento e instalações físicas	Instalação, implantação, montagem e acabamento da cancela a guarita para o controle de entrada e saída de caminhões, escritórios, refeitório, vestiário
Arruamento e iluminação	Instalação de postes de iluminação e do acesso viário até a entrada da usina, considerando uma via de acesso de 1 km com colocação de 10 postes metálicos ao longo desta.

Fonte: Adaptado de Filho *et al.* (2015)

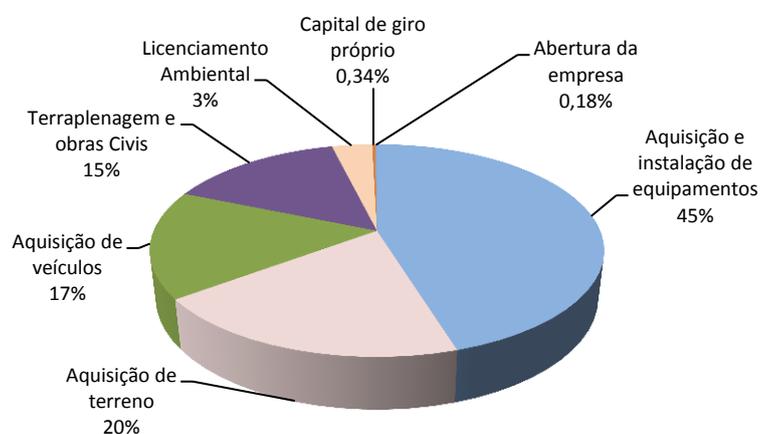
Em relação aos custos de operação, são calculados os gastos com consumo de água, energia, insumo, mão de obra, combustível, despesas administrativas e manutenção. A Tabela 17 apresenta o resumo da estimativa dos custos de implantação e operação de usinas de beneficiamento de RCD em estudos realizados no Brasil.

A Figura 22 apresenta a percentagem de custos das atividades de implantação da usina de beneficiamento de RCD, onde se observa que os maiores custos são referentes à aquisição e instalação de equipamentos e aquisição do terreno. Já a Figura 23 apresenta a composição de custos referente às atividades de operação das usinas. Verificou-se que para usinas que optaram por alugar máquinas e veículos, este representa metade dos gastos. Para as usinas que optaram por adquirir as máquinas e equipamentos, os maiores custos são com mão de obra e insumos.

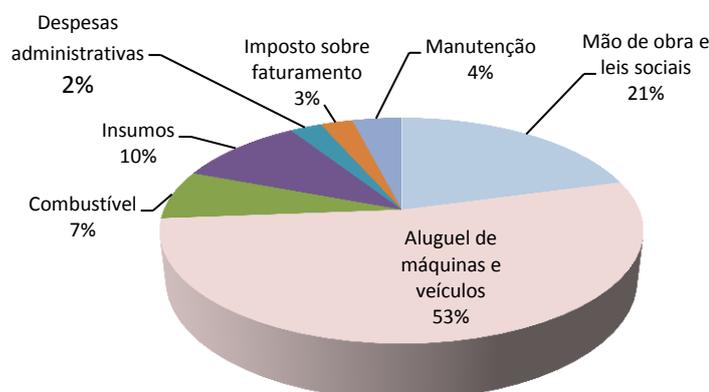
Tabela 17 - Estimativa dos custos de instalação de usinas de beneficiamento de RCD no Brasil

Fase	Item	Campos dos Goytacazes RJ ¹	Criciúma SC ²	Catalão GO ³	Santa Maria RS ⁴	Araçatuba SP ⁵	Passo Fundo RS ⁶	Itajubá MG ⁷
		40 t/h	25 t/h	-	80 t/h	40 t/h	-	-
R\$ 1.000,00								
Implantação	Aquisição e instalação de equipamentos	881	558	821	498	1089	348	753
	Aquisição de terreno	165	-	-	203,6	357,5	-	2000
	Aquisição de veículos	-	-	-	422	646	400	-
	Terraplenagem e obras Cíveis	450	82	100	-	157,7	680	78
	Licenciamento Ambiental	-	66	-	2,7	-	50	-
	Capital de giro próprio	-	-	-	-	16,66	50	-
	Abertura da empresa	2	-	-	2,7	-	-	-
	Sub-total	1498	707	921	1129	2267	1528	2831
Operação	Mão de obra e leis sociais	20	133	197	79,2	318,8	404	169
	Aluguel de máquinas e veículos	-	309	-	-	444	-	-
	Combustível	32	-	38	5,7	-	-	52
	Insumos	66	43	-	-	1254	32,9	83
	Despesas administrativas	-	3,6	-	40,8	-	120	-
	Imposto sobre faturamento	-	-	-	-	503,5	65	-
	Manutenção	8,4	14	-	-	76,8	54	72
Sub-total	128	506	236	120	2597	675,9	376	
TOTAL	1626	1213	1157	1249	4864	2203,9	3207	

Fonte: ¹Porto (2011); ²Cardoso (2011); ³Paiva *et al.* (2012); ⁴Cristo *et al.* (2014); ⁵Chaves (2015); ⁶Brum (2017); ⁷Fonseca e Junior (2018)

Figura 22 - Percentagem de custos referente à implantação de usinas públicas de RCD

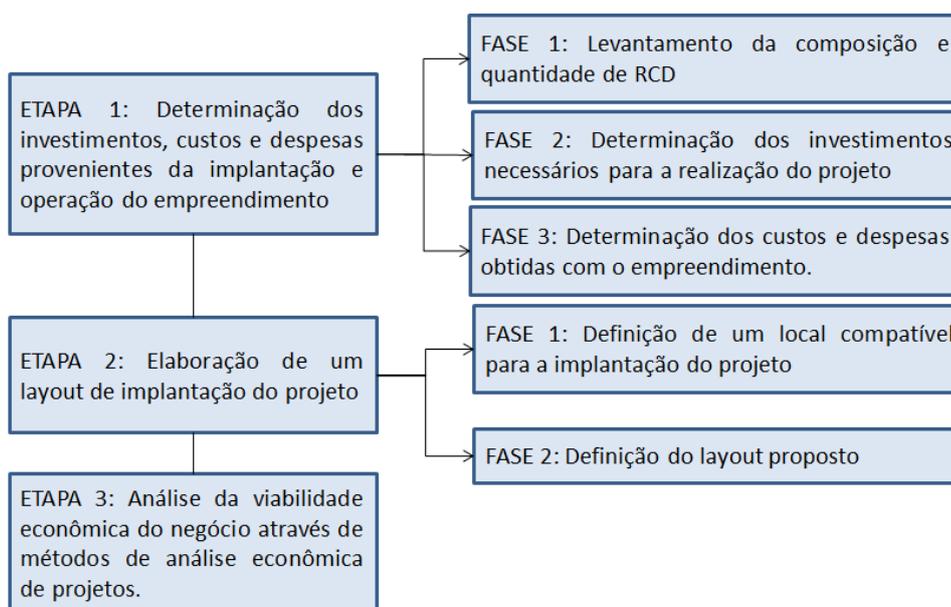
Fonte: Compilado pelo autor

Figura 23 - Percentagem de custos referente à operação de usinas públicas de RCD

Fonte: Compilado pelo autor

É possível verificar que as usinas de beneficiamento dimensionadas no Brasil são, em geral, de pequeno porte, sendo capazes de beneficiar entre 20.000 e 75.000 toneladas de resíduos por ano. Também pode-se constatar que o custo total da usina na instalação e primeiro ano de operação variou de R\$ 1,6 milhões a R\$ 3,2 milhões.

Para elaboração de projetos de usinas de beneficiamento, Leite *et al.* (2010) propuseram a seguinte metodologia, apresentada na Figura 24.

Figura 24 - Fluxograma de elaboração de projetos para usinas de beneficiamento

Fonte: Leite *et al.* (2010)

Sobral (2012) verificou a viabilidade econômica da Usina de Beneficiamento de RCD da cidade de João Pessoa/PB – USIBEN. O custo de produção do agregado reciclado ficou, no

ano de 2008, em R\$ 17,39 por m³, sendo este também denominado de ponto de lucro. O Valor Presente Líquido – VPL encontrado, considerando um horizonte de planejamento de 20 anos, foi de R\$ 1.292.424,77, o que comprova a viabilidade econômica do empreendimento, com um Tempo de Retorno do Capital empregado de 3,24 anos.

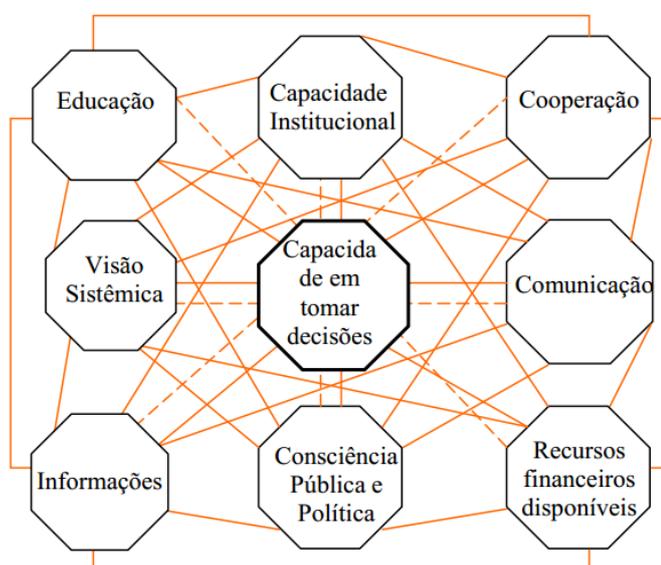
Quanto ao preço de venda do agregado reciclado, Fonseca e Junior (2018) identificaram que em média o agregado reciclado custa 25% do valor do agregado natural, para os municípios próximos a Itajubá/MG, enquanto que foi obtido 38% do agregado natural, na zona leste de São Paulo (PASCHOALIN FILHO *et al.*, 2016).

2.8 SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO PARA GESTÃO DE RCD

O processo decisório, apesar de não ser uma tarefa simples, constitui-se em uma tarefa corriqueira do indivíduo, que a realiza consciente ou inconscientemente (KAHNEMAN e TVERSKY, 2000). Para Massukado (2004), a tomada de decisão está envolta de incertezas e imprevistos advindos tanto da impossibilidade de conhecer o futuro e trabalhar com o inesperado quanto da complexidade existente nos mais diversos fenômenos estudados.

A capacidade de um gestor em tomar decisões, e a incerteza relacionada a estas decisões, dependem de vários fatores, entre eles: a disponibilidade de conhecimentos e habilidades, o entendimento e comunicação entre os tomadores de decisão, o desejo de cooperação entre os decisores, os recursos financeiros disponíveis, dentre outros (KROETZ, 2003). A Figura 25 ilustra a rede de alguns elementos que formam o ambiente de decisão.

Figura 25 - Representação esquemática do ambiente de decisão



Fonte: Massukado (2004)

Massukado (2004) afirma que pouco adianta uma organização possuir um banco de dados com várias informações se não dispõe de profissionais capacitados para analisar estas informações. Portanto, a existência de informações por si só não desempenha função nenhuma na organização, já que não é possível utilizá-la de maneira eficaz.

Scremin *et al.* (2014) cita que, devido ao fato de não haver disponibilidade de profissionais especialistas em diversas áreas do conhecimento, várias disciplinas vêm trabalhando na formalização de procedimentos especialistas em modelos de representação que substituam em parte a presença desses especialistas, como forma de facilitar o acesso às informações e contribuir na tomada de decisão propostas a usuários não especialistas.

Conforme aponta Heinzle *et al.* (2010), a intenção de desenvolver sistemas capazes de oferecer suporte computacional ao gestor no processo de tomada de decisão tem sido um desafio para os pesquisadores e desenvolvedores há muito tempo. Dentre estes, encontram-se os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD), uma classe de sistemas de informação que objetiva fornecer instrumentos ou subsídios úteis aos gestores de empresas públicas ou privadas, com recursos que permitem comparar, analisar, simular e apoiar a seleção de alternativas com base na geração de cenários que envolvem um significativo número de variáveis relacionadas ao domínio de um processo decisório.

Portanto, os SAD são uma categoria de sistemas de informação ou sistemas baseados em conhecimento que se refere a um modelo genérico de tomada de decisão em que é analisada uma série de variáveis. A decisão é uma escolha entre as alternativas existentes através de estimativas dos pesos das mesmas (MOTA *et al.*, 2011). Segundo O'Brien (2001), o SAD “é uma das principais categorias de sistemas de apoio gerencial. São sistemas de informação computadorizados que fornecem aos gerentes de apoio interativo de informações durante o processo de tomada de decisão”.

Os SAD chegam aos dias atuais como uma importante área de pesquisa em tecnologia da informação. No âmbito acadêmico, são desenvolvidos trabalhos de investigação dos mais diversos, desde aqueles que objetivam, principalmente, explorar as evoluções tecnológicas, passando pelos de caráter multidisciplinar, que buscam agregar avanços e resultados registrados em pesquisas de outras 75 áreas, entre as quais se destacam: gestão empresarial e tomada de decisão, gestão do conhecimento, teoria comportamental, comportamento organizacional, banco de dados, inteligência artificial, etc., e chegando àqueles sistemas que são aplicações de SAD na solução de problemas em áreas diversas (HEINZLE, 2011), entre elas, a engenharia civil e ambiental.

Para Castro (2000), além dos objetivos de pesquisa científica, o desenvolvimento de modelos de simulação e de otimização só se justifica se tiverem aplicabilidade na prática, devendo contribuir para apoiar os utilizadores na análise e na resolução de problemas reais. Contudo, este pressuposto nem sempre é uma realidade, devido às dificuldades que podem surgir na utilização dos modelos. Muitos modelos necessitam de usuários capacitados, um conjunto de informações numerosas e diversificadas para sua utilização em um problema específico.

Todas essas questões acabam por dificultar a aceitação dos SAD por parte dos usuários, que são os maiores beneficiados pelo sistema, pois estes geralmente não são especialistas no uso destas ferramentas. Dessa forma, a aceitação dos modelos de simulação e otimização pelos agentes decisores é, em geral, reduzida, apesar destes instrumentos quase sempre desenvolvidos com o propósito de melhorar o processo de tomada de decisão.

Os SAD podem ser divididos em três classes principais, conforme o Quadro 24.

Quadro 24 - Classificação dos SAD

Classe	Definição
Sistemas baseados em dados	São sistemas que utilizam técnicas de “mineração de dados” e “processamento analítico online” para encontrar regularidades em grandes bancos de dados e construir modelos a partir destas.
Sistemas baseados em regras	São representados pelos sistemas especialistas e sistemas baseados em inteligência artificial. Nestes sistemas a experiência e os conhecimentos existentes são expressos através de regras lógicas
Sistemas baseados em modelo analíticos	Sistemas que utilizam o conhecimento de uma determinada disciplina descrita através de modelos analíticos ao contrário de modelos lógicos

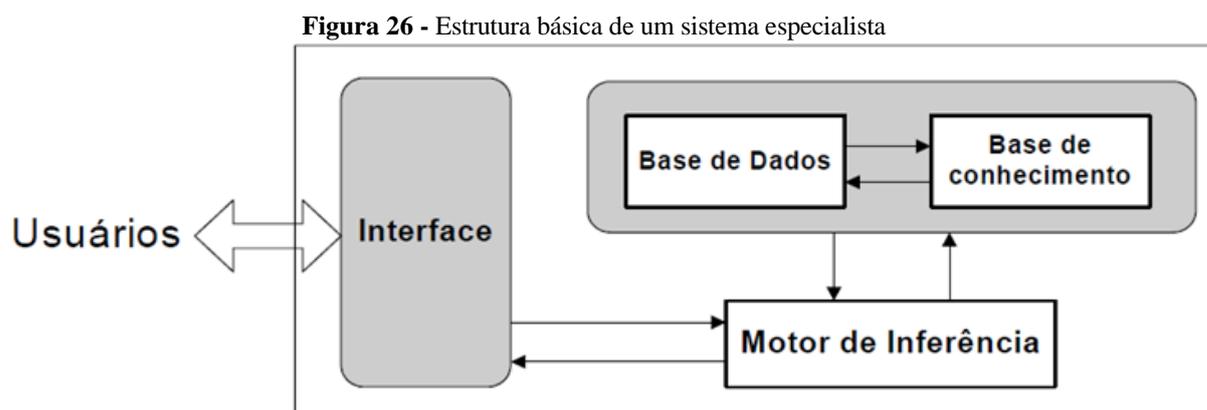
Fonte: Wierzbicki (2000)

Dentre os sistemas mais utilizados atualmente, os sistemas especialistas emergiram como um dos resultados das pesquisas em inteligência artificial, conduzidas no início dos anos 70. Tais sistemas, de acordo com Liebowitz (1988), podem ser definidos como um programa de computador que simula o comportamento de um especialista humano com um domínio específico de conhecimento, tendo como principais características:

- habilidade de desempenho com o nível de um especialista;
- representação de domínio específico de conhecimento da maneira na qual o especialista pensa;

- incorporação de processos de explicação e modos de manipulação de incerteza;
- tipicamente pertinente para problemas que podem ser representados simbolicamente

Um sistema especialista é composto por um banco de conhecimento (ou base de conhecimentos) e um conjunto de mecanismos de inferência, como pode ser visto na Figura 26.



Fonte: Scremin (2007)

Os sistemas especialistas possuem:

- Interface com o usuário: é a parte do sistema de apoio à decisão com a qual o usuário irá ter contato, exercendo uma importante função na utilização do sistema (WESTMACOTT, 2001).
- Base de dados: é utilizada nas operações de gerenciamento de dados (armazenamento, atualização, recuperação e processamento). Nela estão contidos todos os dados e informações que irão alimentar o modelo (LUPATINI, 2002).
- Base de conhecimento: Armazena os conhecimentos específicos, formalizados através de um método de representação. Um dos métodos mais utilizados para representação de conhecimentos nos sistemas especialistas são as regras de produção do tipo *If-Then* (Sentão) (LUPATINI, 2002).
- Motor de inferência: Pode ser considerado o núcleo do sistema. É onde as conclusões são elaboradas a partir dos dados fornecidos pelo usuário e do conhecimento armazenado na base de conhecimento (SCREMIN, 2007).

De acordo com Carnasciali e Delazari (2011), a base de conhecimentos utilizada na tomada de decisão contém fatos e regras ou outra representação do conhecimento, de forma que a máquina de inferência decide como aplicar as regras e em que ordem, a fim de deduzir novos conhecimentos. Como a base de conhecimento é distinta da máquina de inferência, torna-se fácil realizar procedimentos para manipulá-la.

O conhecimento armazenado nesta base pode estar organizado e estruturado de diversas maneiras, pois são várias as estruturas de dados e procedimentos de interpretação que podem ser utilizados (PANTALEÃO e SLUTER, 2002).

2.8.1 Experiências internacionais e nacionais em desenvolvimento de SAD para a gestão de RCD

Com o aumento do nível de conhecimento acerca dos resíduos de construção, foram criadas ferramentas de auxílio à gestão de resíduos em obras e municípios de pequeno e grande porte. Neste sentido, Wang *et al.* (2004) desenvolveram uma planilha em Excel para controlar o fluxo de resíduos em várias fases de gestão de resíduos. É fornecida ainda uma análise econômica através da incorporação de dados de custo/receita para diferentes cenários de gestão de resíduos.

Posteriormente, Baniyas *et al.* (2010) desenvolveram um sistema baseado na *web* de Apoio à Decisão, o DeconRCM, a fim de auxiliar as construtoras, órgãos públicos, engenheiros e indivíduos na gestão adequada dos RCD. O sistema fornece uma estimativa precisa da quantidade de 21 diferentes fluxos de resíduos produzidos pelas atividades de reforma e demolição. Quatro tipos de construção são considerados: residencial, escritório, comercial e industrial. A estimativa da geração de RCD é baseada nas práticas de construção típicas da Grécia.

Li e Zhang (2013) desenvolveram um sistema de estimativa de resíduos da construção baseado em *web* (WCWES) para a elaboração de projetos de construção incorporando os conceitos de estrutura de divisão de trabalho, quantidade de material, classificação dos materiais, níveis de desperdício e princípios de balanço de massa. Os módulos de análise *online* permitem a análise de resíduos de construção a partir de três dimensões: origem do desperdício, fluxo de resíduos e armazenamento na obra. O WCWES é capaz de rastrear as origens de fluxos de resíduos de construção, identificar as categorias de resíduos e determinar os fluxos mais significativos.

Cheng e Ma (2013) apresentaram a tecnologia BIM (Building Information Modeling), que é capaz de simular o planejamento, concepção, construção e operação de um edifício, para

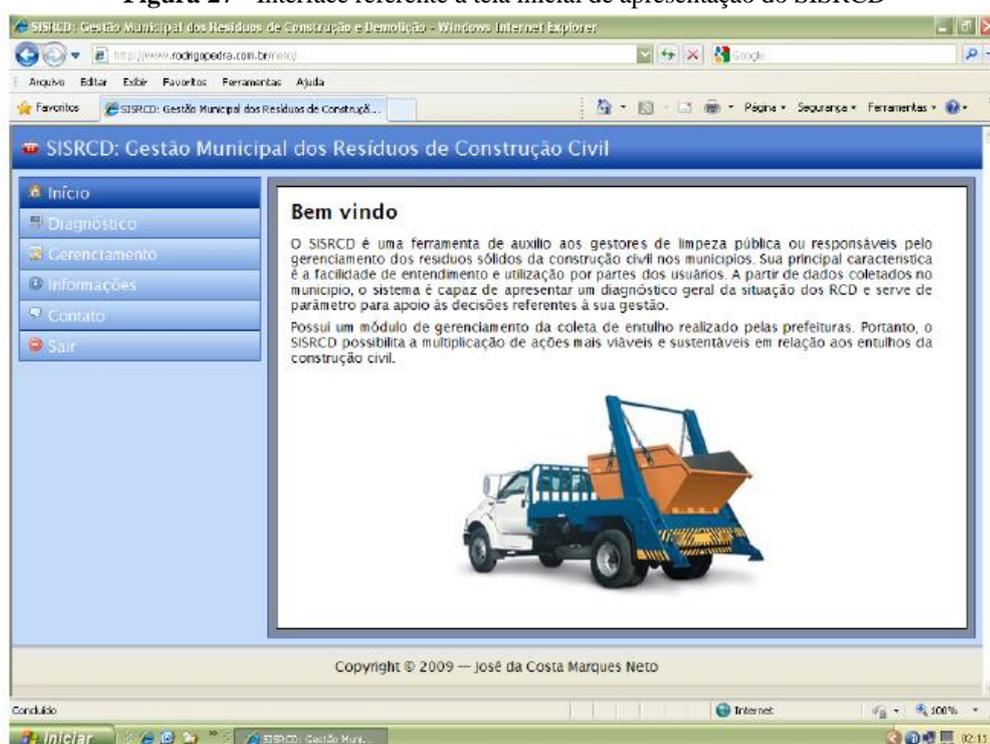
promover uma quantificação mais precisa, concisa e detalhada. Wu *et al.* (2014) entendem, portanto, que a estimativa da geração de resíduos e o seu gerenciamento auxiliado por computador tem boas perspectivas de crescimento no mercado da construção civil.

Já no Brasil, a utilização de *softwares* como auxílio ao gerenciamento de RCD tem crescido ao longo dos anos, desenvolvidos tanto no meio público como privado. Com o propósito de melhorar a qualidade da gestão de resíduos municipais, Scremin (2007) desenvolveu um SAD para municípios de pequeno porte, aplicando a metodologia para o município de Frederico Westphalen – RS.

O desenvolvimento do sistema se deu em quatro etapas. A primeira etapa compreendeu a aquisição de conhecimentos, referente aos RCD e aos sistemas de apoio a decisão. Na segunda etapa, em função dos conhecimentos adquiridos, estabeleceu-se um modelo conceitual expresso na forma de fluxogramas, que serviram de base para a verificação da lógica do processo. Estabelecido o modelo conceitual realizou-se, na terceira etapa, a codificação dos mesmos, com o auxílio de um técnico de informática. A quarta e última etapa, realizada durante e após a codificação do sistema, refere-se à avaliação prévia do sistema desenvolvido (SCREMIN, 2007).

Marques Neto (2009) desenvolveu o Sistema de Apoio à Gestão Municipal de RCD (SISRCD), conforme a Figura 27.

Figura 27 - Interface referente à tela inicial de apresentação do SISRCD



Fonte: Marques Neto (2009)

O sistema é de domínio público (Figura 28), e foi dividido em três módulos principais: *Início*, que é a apresentação do sistema aos usuários e suas utilidades; *Módulo de diagnóstico dos RCD nos municípios*, onde é possível obter diversas informações estratégicas referentes aos resíduos, antes desconhecidas pelos gestores tomadores de decisão e; *Módulo de gerenciamento dos RCD nos municípios*, utilizado para acompanhar a rotina de coleta municipal de entulhos, além da possibilidade de contabilizar seus custos ao final de cada período mensal. O SISRCD foi validado no município de Paulo de Faria/SP.

Oliveira *et al.* (2014) desenvolveram o SAD GIR@SSOL, construído com base em pesquisas bibliográficas e observações *in loco* do processo de coleta e distribuição dos RCD. O GIR@SSOL abrange as seguintes atividades: identificação dos pontos onde estão alocadas as caçambas de coleta; definição de em quais lotes existem obras em andamento; estimativa da capacidade de trabalho (produtividade) das empresas de transporte de caçambas e definição de quantas obras não possuem locação de caçambas. A ferramenta possui dois subsistemas, a saber: subsistema modelo decisório, responsável por dimensionar as demandas das unidades coletoras; e subsistema interface, que facilita a interação entre os usuários. O GIR@SSOL foi validado no município de Palmas/TO (Figura 28).

Figura 28 - Interface do SAD GIR@SSOL



Fonte: Oliveira *et al.* (2014)

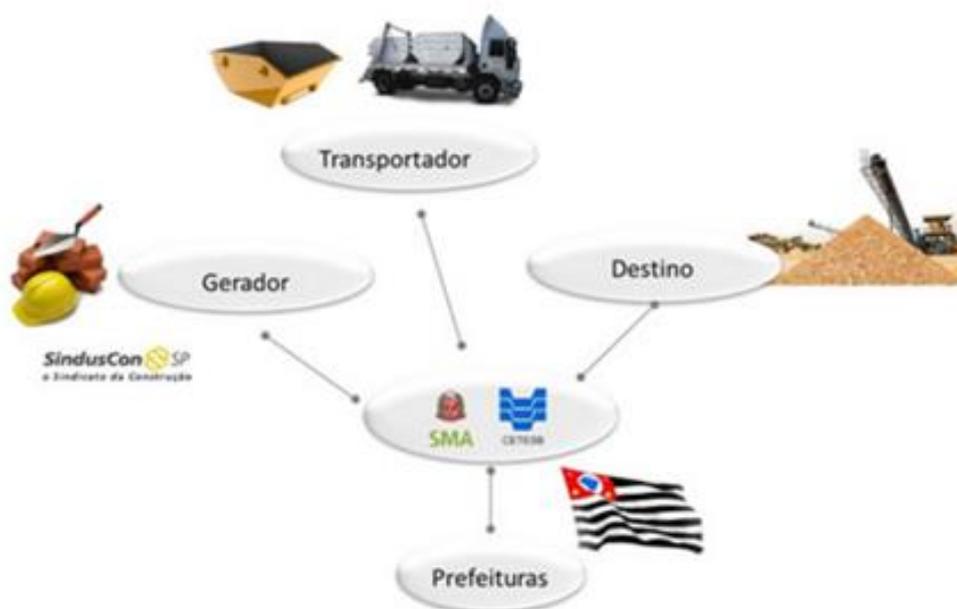
Em relação ao meio público, o Estado de São Paulo desenvolveu o Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos (SIGOR), a partir do Decreto Estadual nº 60.520, em 5 de junho de 2014 (CETESB, 2016). Apesar de não ser considerado um SAD, o SIGOR é uma ferramenta que auxilia no monitoramento da gestão de RCD desde sua geração até a sua

destinação final, incluindo o transporte e destinações intermediárias e permite o gerenciamento das informações referentes aos fluxos de resíduos no Estado (Figura 29).

De modo a garantir a destinação adequada dos resíduos, o SIGOR atua no seguinte fluxo (D'OLIVEIRA, 2015; CETESB, 2016):

- gerador: deverá preencher o Controle de Transporte de Resíduos – CTR, no SIGOR, indicando o tipo de resíduo, sua quantidade, o Transportador e o local de destinação final;
- transportador: ao receber o CTR, precisa dar o “aceite” do recebimento e, só então, poderão retirar o resíduo no Gerador e transportá-lo para o destino final indicado;
- local de destino final: ao receber o RCD, de acordo com o tipo e quantidade corretos, conforme apresentado no CTR, deverá dar o “aceite” final e, assim, o fluxo será considerado completo.

Figura 29 - Fluxograma de utilização do SIGOR – Módulo Construção Civil



Usuários do SIGOR

Fonte: Cetesb (2016)

O sistema é resultado do convênio firmado entre o Estado de São Paulo, por meio da Secretaria do Meio Ambiente e da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), e o Sindicato da Construção Civil do Estado de São Paulo (SINDUSCON-SP) para a soma de esforços visando à consolidação do desenvolvimento sustentável no setor da construção civil no Estado de São Paulo (CETESB, 2016). O SIGOR – Módulo Construção Civil está dividido de acordo com seus usuários, conforme o Quadro 25.

Quadro 25 - Responsabilidades e utilidades do SIGOR para cada usuário

Perfil	Responsabilidades	O que permite fazer
CETESB	Validação do cadastro de áreas de destinação (conforme competência); validação do Plano de Gerenciamento de Resíduos (PGR) (em casos de processo de licenciamento); e manutenção do sistema.	Monitorar o fluxo de resíduos
Prefeituras	Validação do cadastro dos Transportadores e Áreas de Destinação (conforme competência); validação do PGR.	Monitorar e fiscalizar o fluxo de resíduos
Gerador	Cadastro da obra; elaboração do PGR; e solicitação do CTR.	Consultar a relação dos transportadores habilitados e de Áreas de Destinação legalizadas; gerenciar o fluxo de resíduos por meio do CTR.
Transportador	Cadastro no Sistema; aceitar ou rejeitar o transporte de resíduo; emissão do CTR	Disponibilizar, para os geradores e Áreas de Destinação, o cadastro dos transportadores.
Áreas de destinação	Cadastro no sistema; aceitar ou rejeitar o recebimento do resíduo; dar baixa no CTR.	Disponibilizar para os geradores e transportadores, o cadastro das Áreas de Destinação.

Fonte: D'Oliveira (2015); CETESB (2016)

Para a gestão de RCD dentro dos canteiros de obras, Nagalli *et al.* (2013) desenvolveram um *software* que contém itens que auxiliam na gestão de resíduos durante o curso de uma obra, fornecendo ferramentas que permitem a visualização tanto do consumo desses resíduos, como seu manuseio e posterior encaminhamento para o destino final. O *software* foi desenvolvido em plataforma *Microsoft Access* porque é parte do pacote *Office*, encontrado na maioria dos computadores. A Figura 30 apresenta um fluxograma da estruturação do programa.

Figura 30 - Fluxograma do funcionamento do sistema de gerenciamento de RCD em canteiros de obras

Fonte: Nagalli *et al.* (2013)

O sistema concebido permite controlar informações da parte interessada, como licenças, por exemplo. O programa consiste em telas de interação do usuário através do qual este alimenta o sistema com dados, gera relatórios e avalia a eficiência da gestão.

Gonçalves (2013) criou uma ferramenta virtual, denominado RESPLAN, baseada em metodologias internacionais para auxiliar a criação dos PGRCC com o máximo de eficiência, buscando a redução de resíduos. O desenvolvimento do PGRCC abrange as etapas de definição de responsabilidades, gerenciamento e minimização dos resíduos. O sistema ainda permite a inclusão de novos tipos de resíduos, além dos já cadastrados, na etapa de previsão da geração, separados por classes de acordo com as resoluções do CONAMA, e ainda separa as obras por tipologia, sistema construtivo, uso e área de construção, facilitando a criação de futuros indicadores.

Ayres (2014) desenvolveu um novo *software* de gerenciamento de RCD em canteiros de obras. O sistema, chamado de Registro de Dados de Resíduos da Construção Civil (REDRECK), auxilia o gestor da obra no gerenciamento dos resíduos sólidos gerados. Permite um controle diário e sistemático do que é gerado, por quantidade, por transportador e local de destinação final dos RCD. Para o desenvolvimento do *software*, foram utilizados dados referentes aos resíduos da construção civil de uma obra (edifício residencial) já concluída na cidade de Curitiba/PR. O desenvolvimento do *software* proporcionou a gestão adequada dos RCD, possibilitando ao usuário o controle de todo o processo.

Zanna (2014) desenvolveu o *software* Sistema WM, com o objetivo de facilitar o controle e monitoramento de resíduos em empresas construtoras, a partir da experiência obtida na cidade de Londrina/PR.

Portanto, entende-se que as ferramentas computacionais são de fundamental importância para o gerenciamento de resíduos, pois propõem uma simplificação do processo de gerenciamento com um controle rigoroso de atividades como transporte e destinação final, e possibilita o desenvolvimento de programas de redução de resíduos e, conseqüentemente, a minimização da despesa no gerenciamento. A Tabela 18 apresenta as principais funcionalidades dos SAD de gestão de RCD desenvolvidos no Brasil, enquanto que o Quadro 26 descreve as vantagens e limitações de cada SAD.

Tabela 18 - Principais funcionalidades dos Sistemas de Apoio à decisão desenvolvidos no Brasil

	Autor	Validação	Plataforma	Gestão municipal de RCD			Gestão de RCD em canteiros		
				EGRM	MPDI	IEGR	EGRC	CTD	CTR
1	Scremin (2007)	Frederico Wesphalen/RS	Desktop	X		X			
2	Oliveira (2008)	Bauru/SP	Desktop		X				
3	Marques Neto (2009)	Paulo de Faria/SP	Web		X	X			
4	Karpinski <i>et al.</i> (2009)	Passo Fundo/RS	Web		X	X			
5	Nagalli <i>et al.</i> (2013)	-	Desktop					X	X
6	Gonçalves (2013)	-	Web				X	X	X
6	Oliveira <i>et al.</i> (2014)	Palmas/TO	Desktop		X				
7	Ayres (2014)	-	Web					X	X
8	Zanna (2014)	-	Web					X	X

EGRM – estimativa de geração de resíduos municipais; MPDI – Mapeamento dos pontos de deposição irregular; IEGR – instalação de equipamentos de gerenciamento de resíduos (ATT, URPV, Aterros de inertes); EGRC – estimativa da geração de resíduos em canteiros; CTD – cadastro de transporte e destinação; CTR – Controle de transporte de resíduos.

Fonte: Compilado pelo autor

Quadro 26 - Vantagens e limitações dos SAD desenvolvidos no Brasil

Autor	Sistema	Vantagens	Limitações
Scremin (2007)	Sistema de Apoio ao Gerenciamento de RCD	<ul style="list-style-type: none"> - Possui um banco de dados robusto acerca da geração de resíduos municipais - Permite o cadastramento de transportadores e destinação final, dimensionamento da gestão para pequenos volumes e definição de responsabilidades. - Permite escolher a melhor alternativa de gestão municipal, frente aos diferentes cenários 	<ul style="list-style-type: none"> - O <i>software</i> deve ser instalado em desktop, o que dificulta a sua utilização e a integração de dados com outros usuários. - Não considera a gestão de resíduos em canteiros de obras - Não permite análise dos PGRCC
Oliveira (2008)	prjRCC	<ul style="list-style-type: none"> - Permite o cadastro completo de pontos de deposição irregular de RCD em municípios - Facilita a busca e atualização constante dos dados de deposição, por meio de ferramentas de pesquisa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Não permite a análise e cadastramento de geradores - Não permite a análise e cadastramento de URPV e ATT
Marques Neto (2009)	SISRCD	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibiliza fichas de controle e cadastramento de áreas licenciadas, caracterização de resíduos e áreas de destinação final de RCD. - O sistema é online e permite o acesso de qualquer usuário 	<ul style="list-style-type: none"> - Não considera a gestão de resíduos em canteiros de obras, possui apenas o cadastro - Não permite análise dos PGRCC
Karpinski <i>et al.</i> (2009)	-	<ul style="list-style-type: none"> - O sistema é online e permite o acesso de qualquer usuário - Contém informações sobre os RCD, resolução do CONAMA, e alternativas de gerenciamento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Não possui ferramentas de estimativa de geração de RCD no município - Não apresenta alternativas de gerenciamento baseado em cenários

Quadro 26 - Vantagens e limitações dos SAD desenvolvidos no Brasil (continuação)

Nagalli et al. (2013)	Sistema de Gerenciamento de Resíduos	<ul style="list-style-type: none"> - Permite monitorar indicadores de desempenho da gestão de RCD em canteiros de obras - Emite relatórios de treinamento, controle de resíduos, etc. 	- Não possui ferramentas de estimativa de geração de RCD em canteiros de obras
Gonçalves (2013)	Resplan	<ul style="list-style-type: none"> - Possui um banco de dados abrangente acerca dos indicadores de geração de RCD - Permite uma elaboração adequada do PGRCC, ao incluir definição de responsabilidades e ações de minimização de resíduos. 	- Não permite a integração ou importação de dados em PDF ou planilha eletrônica, dificultando o controle de documentos.
Oliveira <i>et al.</i> (2014)	GIR@SSOL	<ul style="list-style-type: none"> - Permite um mapeamento e monitoramento das obras e caçambas estacionárias - Possui um Sistema de Informações Geográficas (SIG) robusto 	<ul style="list-style-type: none"> - Não possui ferramentas de estimativa da geração de RCD em obras - Não possui ferramentas de controle do transporte de resíduos
Ayres (2014)	Redreck	<ul style="list-style-type: none"> - Permite elaboração de relatórios e gráficos de controle da geração de resíduos em obras - Permite cadastrar e monitorar as empresas de transporte e destinação final 	- Não possui ferramentas de estimativa da geração de RCD em obras
CETESB (2016)	SIGOR	<ul style="list-style-type: none"> - Possui módulos de integração entre usuários - Permite realizar a rastreabilidade dos resíduos de forma efetiva. 	<ul style="list-style-type: none"> - Não possui ferramentas de estimativa da geração de RCD em obras - Não possibilita encontrar áreas adequadas para instalação de URPV, ATT e Aterro de inerte

Fonte: Compilado pelo autor

Neste sentido, as experiências de utilização de SADs no Brasil têm sido de grande proveito, pois facilitam a implementação de uma gestão integrada de RCD. Existe, porém, uma demanda em desenvolver uma ferramenta que integre os diversos atores na gestão de RCD, e que ofereça aos usuários diversas ferramentas que permitam estimar a geração de RCD, gerar relatórios mensais, exportar e importar dados de modo dinâmico.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta as etapas realizadas para o desenvolvimento da ferramenta de apoio à gestão integrada de RCD. O banco de dados, bem como as ferramentas de gestão, foram desenvolvidas de modo a permitir que o sistema possa ser adaptado à realidade de diversos municípios brasileiros. Porém, utilizou-se a cidade do Recife como de estudo de caso, e o município de Jaboatão dos Guararapes para validação do *software*.

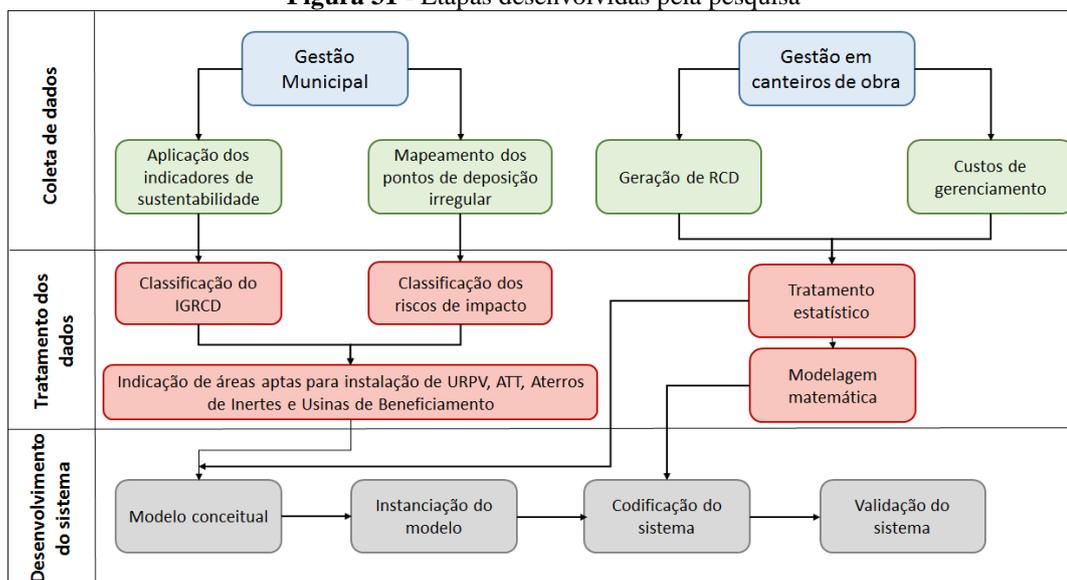
Inicialmente é apresentada a metodologia para realização do diagnóstico da gestão de RCD na cidade do Recife/PE, com o propósito de compreender os atuais desafios da gestão municipal no Brasil, abordando os pontos fortes e fracos de cada etapa de gerenciamento dos resíduos advindos de pequenos e grandes geradores.

Também é apresentado o desenvolvimento e utilização de indicadores de avaliação da sustentabilidade em municípios, com o apoio também da tecnologia de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para auxiliar no mapeamento dos pontos de deposição irregular de RCD, e localização de áreas aptas para instalação de URPV, ATT, Aterros de Inertes e Usinas de beneficiamento.

O capítulo aborda ainda os métodos utilizados para realização do diagnóstico da geração de resíduos provenientes dos grandes geradores, analisando de forma qualitativa e quantitativa os RCD gerados em canteiros de obras da cidade do Recife e, com os índices de geração de RCD, foi desenvolvido um modelo matemático através de tratamento estatístico para realizar a estimativa correta da geração de cada tipo de resíduo e em cada fase construtiva.

Após a realização do diagnóstico da gestão municipal e em canteiros de obras, apresenta-se o método de desenvolvimento do Sistema Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção (SIGERCON), nas etapas de estruturação, codificação e validação do sistema.

A Figura 31 apresenta as 3 etapas realizadas pela pesquisa: coleta de dados, tratamento dos dados, e desenvolvimento do sistema.

Figura 31 - Etapas desenvolvidas pela pesquisa

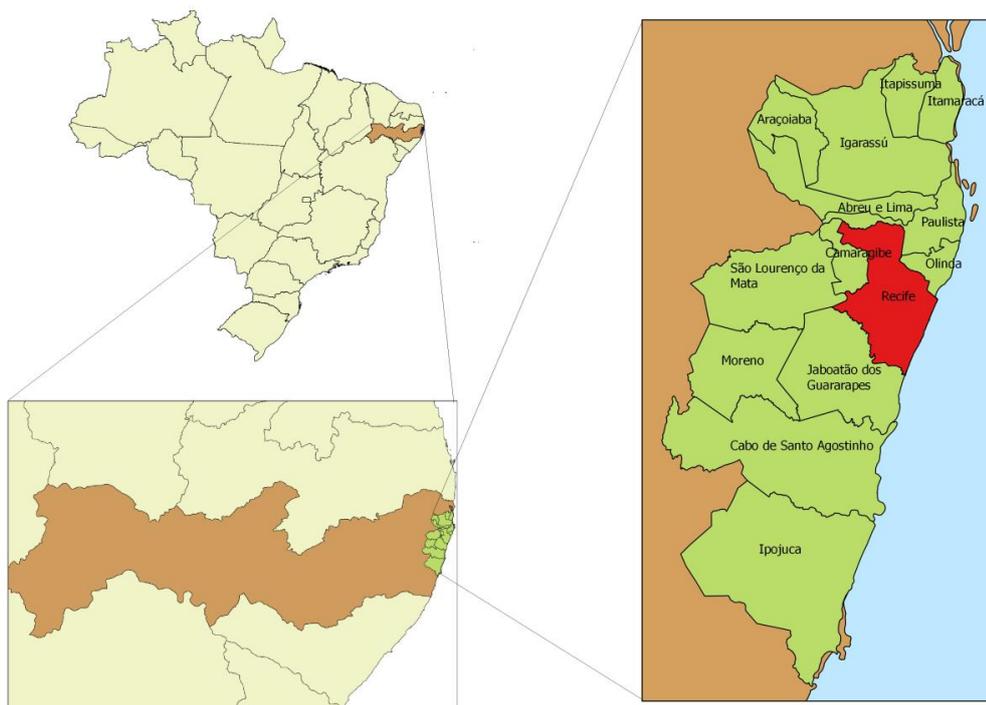
Fonte: Elaborado pelo autor

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, limita-se com os municípios de Camaragibe, Jaboatão dos Guararapes, Paulista, Olinda e São Lourenço da Mata. Possui uma população de 1.625.583 habitantes (IBGE, 2017), área de 217,49 km² e densidade demográfica de 7.051,17 hab./km².

De acordo com Albuquerque (2015), a cidade do Recife está dividida em seis Regiões Político-Administrativas¹¹: RPA 1 (Centro), RPA 2 (Norte), RPA 3 (Noroeste), RPA 4 (Oeste), RPA 5 (Sudoeste), e RPA 6 (Sul). Cada RPA é subdividida em três microrregiões que reúnem um ou mais dos seus 94 bairros. A Figura 32 apresenta a localização da cidade do Recife/PE.

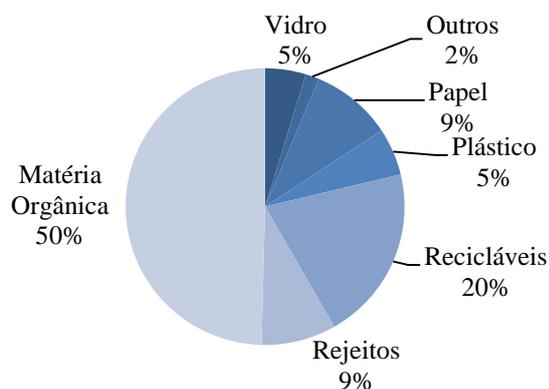
¹¹ As Regiões Político-Administrativas (RPA) da cidade do Recife foram estabelecidas pela Lei Municipal nº 16.293, de 22 de Janeiro de 1997, para efeito de formulação, execução e avaliação permanente das políticas e do planejamento governamentais.

Figura 32 - Localização da cidade do Recife

Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação à gestão municipal de resíduos, o Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos (PMRS, 2011) apresenta que uma parcela significativa dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados nos municípios é proveniente das atividades de construção civil, tendo na maioria das vezes sua disposição de forma irregular em terrenos baldios e áreas de erosões.

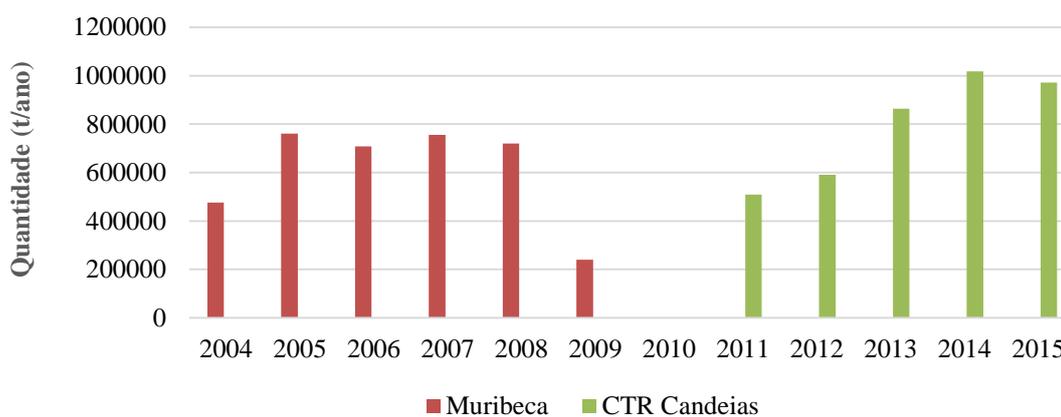
Segundo o Plano Estadual de Resíduos Sólidos de Pernambuco (PERNAMBUCO, 2012), a cidade do Recife possui uma taxa de geração de RSU de 1,58 kg/hab/dia, com uma estimativa de geração em 2016 de 919.610,50 toneladas. A composição gravimétrica dos RSU, desconsiderando-se os RCD, é apresentada na Figura 33.

Figura 33 - Composição gravimétrica dos RSU gerados na cidade do Recife

Fonte: Pernambuco (2012)

A partir de levantamento realizado no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), e Resíduos Sólidos (SNIR), observou-se quais as alternativas de destinação final de RSU em Recife. A Figura 34 apresenta a quantidade de RSU enviada para a destinação final. Observa-se que até 2009 os RSU eram enviados para o aterro controlado da Muribeca. Com o fechamento deste, os resíduos foram então enviados para a CTR Candeias, aterro sanitário privado construído ao lado do aterro da Muribeca.

Figura 34 - Quantidade de RSU da cidade do Recife enviados para a destinação final



Fonte: SNIS (2016)

Após o estabelecimento da Resolução CONAMA nº 307/2002, também começaram a ser elaboradas leis estaduais e/ou municipais que tratam exclusivamente dos RCD. Na cidade de Recife, foi elaborada a Lei nº 17.072 de 04 de janeiro de 2005, que “Estabelece as diretrizes e critérios para o Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil”, que define os seguintes critérios (CARNEIRO, 2005):

- a definição do grande gerador como aquele que gera um volume de RCD superior a $1,0 \text{ m}^3/\text{dia}^{12}$, ficando os demais enquadrados como pequenos geradores; a proibição da disposição de resíduos da construção civil, em qualquer volume, e resíduos provenientes de poda e jardinagem, em volume superior a 100 litros/dia, para a coleta domiciliar regular (tal artigo altera o volume estabelecido pela Lei nº 16.377/98, que era de 200 litros/dia);
- obrigatoriedade da classificação, separação e identificação dos resíduos gerados em atividades de construção no local de origem, em obediência ao que determina as Resoluções do CONAMA nº 307/2002, 348/2004, 431/2011 e 469/2015;

¹² $1 \text{ m}^3/\text{dia}$, de acordo com a Prefeitura de Guarulhos (2017), equivale a 12 carrinhos de mão.

- obrigatoriedade de obtenção da licença de operação (para início de suas atividades) e para tanto submeter à aprovação do órgão gestor da limpeza urbana deste Município o respectivo Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), para cada uma das unidades instaladas (canteiros de obras), tendo como objetivo estabelecer os procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos resíduos gerados na atividade;
- o PGRCC comporá o acervo de documentos apresentados na solicitação de Alvará junto a Secretaria de Planejamento;
- A criação de instalações para recebimento dos resíduos (PRR – Posto de Recebimento de Resíduo), para atender aos pequenos geradores, com facilidade de acesso e boas condições de tráfego, abarcando todas as RPA.

Porém, até o momento atual, não foi estabelecido um decreto de modo a regulamentar esta lei. Apenas mais recentemente, foi estabelecido o Decreto nº 27.399 de 28 de Setembro de 2013, que “Regulamenta as unidades de recebimento de resíduos sólidos oriundos de pequenos geradores, no âmbito do Município do Recife”.

Com este decreto, os PRR foram reestruturados, dando lugar às Ecoestações, que fazem parte do Projeto EcoRecife da prefeitura. O Art. 3º do decreto define que:

“As Ecoestações ocuparão áreas públicas ou viabilizadas pela administração pública, preferencialmente aquelas já degradadas por descarte irregular, ou previamente utilizadas com atividades correlatas, segundo diretrizes estabelecidas pela Secretaria de Infra Estrutura e Serviços Urbanos, observada a legislação de uso e ocupação do solo e de acordo com adequado planejamento e sustentabilidade técnica, ambiental e econômica.”

Com isso, as Ecoestações, a depender da estrutura de recebimento e equipamentos instalados, poderão receber resíduos da construção civil, resíduos volumosos, resíduos recicláveis e resíduos sólidos domiciliares (RECIFE, 2013).

Em relação à existência de um plano municipal de gerenciamento de RCD, a cidade do Recife, a partir do Decreto nº 27.045/2013, reconhece o Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos (PMRS) como o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município do Recife (PMGIRS).

No PMRS, a estimativa para os próximos anos é de que sejam gerados em Recife cerca de 37 mil toneladas de RCD, cuja destinação deverá ser em 3 usinas de reciclagem de RCD, a serem instaladas nas zonas Norte, Oeste e Sul da Região Metropolitana do Recife (RMR), com capacidade média de tratar 82,5 toneladas/hora. Porém, o plano não prevê como se dará a triagem, coleta e transporte dos RCD para estes locais.

Como forma de ampliar a fiscalização e o controle da gestão de RCD em Recife, está em tramitação na Câmara Municipal de Recife o projeto de lei 10/2016, que trata sobre o Código de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos de Recife, cabendo à Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB), vinculada ao Poder Executivo Municipal e Entidade Gestora do Sistema de Limpeza Urbana, a tarefa de coordenar e executar os serviços relacionados nesta lei.

Com a promulgação do código de limpeza urbana, a fiscalização do gerenciamento de RCD por parte dos grandes geradores será ampliada, pois é previsto que o documento de aprovação dos PGRCC emitidos pela EMLURB terá validade de 1 ano, devendo o gerador renovar o plano por meio de apresentação de relatórios parciais anuais que comprovem o cumprimento deste. Além disso, as empresas de transporte de RCD deverão entregar à EMLURB até o 5º dia útil de cada mês, um relatório global dos serviços executados, assim como as caçambas estacionárias deverão estar munidas de equipamentos de localização.

Verifica-se, porém, que a quantidade de informações acerca da gestão municipal de RCD na cidade do Recife ainda é bastante escassa, o que dificulta a implementação do programa municipal, tornando-se necessária a realização de um diagnóstico na área de estudo, buscando coletar informações que subsidiem a proposição de alternativas de gestão integrada de RCD, contribuindo assim para o desenvolvimento do sistema de apoio à decisão.

3.2 GESTÃO MUNICIPAL DE RCD NA CIDADE DO RECIFE

Para avaliação da gestão municipal de RCD em Recife, foram desenvolvidos indicadores de geração de RCD, foi realizado um mapeamento dos pontos de deposição irregular e classificação dos riscos ambientais.

3.2.1 Desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade da gestão de RCD

Foram estabelecidos indicadores de gestão municipal de RCD, de modo a facilitar a identificação do nível de sustentabilidade das ações realizadas na cidade do Recife, e fornecer uma metodologia padronizada a ser aplicada nos demais municípios brasileiros.

A determinação dos indicadores de sustentabilidade teve como base a metodologia proposta pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA-SP), que desenvolveu o Índice de Qualidade de Gestão (IQG), sendo parte do Índice de Gestão de Resíduos (IGR) aplicado em 348 municípios do estado de São Paulo (SINDUSCON/SP, 2012), onde se avaliou a gestão de resíduos de cada município. Porém, foi realizada uma adaptação desta metodologia para que seja avaliada apenas a gestão de RCD, aplicando-a na cidade do Recife.

Desse modo, foi desenvolvido nesta pesquisa o Índice de Gestão de Resíduos da Construção e Demolição (IGRCD), mantendo-se os quatro grupos de indicadores utilizados pelo IQG: Instrumentos de gestão, programas de gestão, coleta e triagem, e tratamento e disposição final. A matriz de indicadores foi estabelecida baseada na metodologia utilizada por Polaz e Teixeira (2009) e Santiago e Dias (2012). Foram formulados 20 indicadores de sustentabilidade específicos de gestão de RCD, sendo 5 indicadores para cada grupo, com suas respectivas gradações e pontuações.

Os indicadores foram definidos através da análise dos requisitos de cada artigo e parágrafo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 307/2002, adaptado de Lafayette (2016), conforme o Quadro 27. Os Quadros 28 a 31 apresentam a lista de indicadores definidos e suas gradações e pontuações, de acordo com os grupos de indicadores utilizados.

Estabeleceu-se o mesmo grau de importância de cada indicador, de forma que não foram atribuídos pesos, conforme utilizado por Santiago e Dias (2012)¹³. Cada grupo de indicadores possui a pontuação máxima de 10 pontos. A soma dos grupos totaliza 40 pontos, cujo número representa o índice de sustentabilidade do município em relação à gestão de RCD, possibilitando então realizar a comparação entre os municípios de uma região e estabelecer sua hierarquização, em termos de sustentabilidade (BESEN *et al.*, 2007).

Dessa forma, municípios que atingirem pontuação abaixo de 40% do total de pontos (de 0 a 15 pontos) são considerados com uma “Gestão Ineficiente”. Municípios com percentual entre 41% e 80% (de 16 a 31 pontos) têm uma “Gestão Mediana”, e acima de 81% (de 32 a 40 pontos), têm uma “Gestão Eficiente”, conforme o Quadro 32. Foi utilizado o mesmo percentual para avaliar o grau de sustentabilidade de cada grupo separadamente.

¹³ Santiago e Dias (2012) verificaram, após utilização do Método Delphi com uma amostra de 55 especialistas, que estes não consideraram a existência de grupos de indicadores com grau de importância maior que a outra.

Quadro 27 - Indicadores de gestão de RCD definidos a partir do que estabelece a Resolução CONAMA nº 307/2002

Art.	Texto	Indicador
3º	§ 2º As embalagens de tintas usadas na construção civil serão submetidas a sistema de logística reversa, conforme requisitos da Lei nº 12.305/2010, que contemple a destinação ambientalmente adequados dos resíduos de tintas presentes nas embalagens. (Redação dada pela Resolução nº 469/2015).	Incentivo à logística reversa de resíduos especiais (gesso, sacos de cimento/argamassa e latas de tinta)
4º	“§1º Os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos sólidos urbanos, em áreas de "bota fora", em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei. (nova redação dada pela Resolução 448/12)”	Fiscalização periódica das obras
		Mapeamento dos pontos de deposição irregular de RCD
5º	“É instrumento para a implementação da gestão dos resíduos da construção civil o Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil, a ser elaborado pelos Municípios e pelo Distrito Federal, em consonância com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.”	Lei municipal para gestão de resíduos da construção civil
		Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil – PMGRCC
6º	“I - as diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores, em conformidade com os critérios técnicos do sistema de limpeza urbana local e para os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil a serem elaborados pelos grandes geradores, possibilitando o exercício das responsabilidades de todos os geradores; (nova redação dada pela Resolução 448/12)	Sistema de coleta de RCD implantado (prefeitura ou terceiros)
		Implantação de sistema de Disque Coleta
6º	“II - o cadastramento de áreas, públicas ou privadas, aptas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes, em conformidade com o porte da área urbana municipal, possibilitando a destinação posterior dos resíduos oriundos de pequenos geradores às áreas de beneficiamento”	Triagem de resíduos em Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes – URPV
6º	“III - o estabelecimento de processos de licenciamento para as áreas de beneficiamento e reservação de resíduos e de disposição final de rejeitos;”	Disposição de Resíduos Classe A em Usina de beneficiamento ou aterro de inertes
6º	“IV - a proibição da disposição dos resíduos de construção em áreas não licenciadas;”	Cadastro e monitoramento de áreas licenciadas para recebimento de RCD
		Registro da destinação dos resíduos em locais autorizados
6º	“V - o incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo;”	Área de Transbordo e Triagem – ATT
6º	“VI - a definição de critérios para o cadastramento de transportadores;”	Cadastro e monitoramento de transportadores
6º	“VII - as ações de orientação, de fiscalização e de controle dos agentes envolvidos;”	Formação e capacitação de agentes ou catadores
6º	“VIII - as ações educativas visando reduzir a geração de resíduos e possibilitar a sua segregação”	Ações educativas voltadas a prevenção ou redução de resíduos sólidos de construção civil
8º	“§2º Os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil de empreendimentos e atividades sujeitos ao licenciamento ambiental deverão ser analisados dentro do processo de licenciamento, junto aos órgãos ambientais competentes. (nova redação dada pela Resolução 448/12)”	Análise e aprovação dos Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) antes do início das obras
10	“II - Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;”	Parceria com cooperativa de catadores para coleta seletiva dos resíduos Classe B
		Destinação de resíduos Classe B para Área de Triagem
10	“III - Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.”	Disposição de Resíduos Classe C em aterro sanitário
10	“IV - Classe D: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.”	Destinação de Resíduos Classe D para incineração ou logística reversa

Fonte: Adaptado de Lafayette (2016)

Quadro 28 - Indicadores dos instrumentos de gestão de RCD

Item	Subitem	Avaliação	Pontuação	Obtenção
Instrumentos de gestão de RCD	Lei municipal para gestão de resíduos da construção civil	Específica	2	Identificação da publicação da lei municipal em diário oficial
		Embutida em outra lei	1	
		Não	0	
	Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil – PMGRCC	Sim	2	Identificação do documento referente ao plano municipal
		Em elaboração	1	
		Não	0	
	Análise e aprovação dos Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) antes do início das obras	Sim	2	Análise dos protocolos de aprovação dos PGRCC
		Não	0	
	Cadastro e monitoramento de transportadores	Sim	2	Planilha com informações das empresas fornecida pelo órgão de limpeza urbana
		Não	0	
	Cadastro e monitoramento de áreas licenciadas para recebimento de RCD	Sim	2	Planilha com informações das empresas fornecida pelo órgão de limpeza urbana
		Não	0	

Fonte: Adaptado de Lafayette (2016)

Quadro 29 - Indicadores dos programas de gestão de RCD

Item	Subitem	Avaliação	Pontuação	Obtenção
Programas municipais	Ações educativas voltadas à prevenção ou redução de resíduos sólidos de construção civil	Sim	2	Identificação de postagens e divulgações de ações realizadas
		Não	0	
	Formação e capacitação de agentes ou catadores	Sim	2	Coleta de dados no órgão de limpeza urbana/divulgações
		Não	0	
	Fiscalização periódica das obras	Sim	2	Coleta de informação nas obras e no órgão de limpeza urbana
		Não	0	
	Mapeamento dos pontos de deposição irregular de RCD	Sim	2	Mapa ou planilha com as coordenadas registradas pelo órgão
		Apenas RSU	1	
		Não	0	
	Incentivo à logística reversa de resíduos especiais (gesso, sacos de cimento/argamassa e latas de tinta)	Sim	2	Coleta de informação nas obras e no órgão de limpeza urbana
		Não	0	

Fonte: Adaptado de Lafayette (2016)

Quadro 30 - Indicadores da coleta e triagem de RCD

Item	Subitem	Avaliação	Pontuação	Obtenção
Coleta e triagem	Sistema de coleta de RCD implantado (prefeitura ou terceiros)	Específica de RCD	2	Planilha de coleta de RCD fornecida pelo órgão de limpeza urbana
		Misturado com RSU	1	
		Não	0	
	Parceria com cooperativa de catadores para coleta seletiva dos resíduos Classe B	Sim	2	Coleta de informação no órgão de limpeza urbana e nas cooperativas
		Não	0	
	Triagem de resíduos em Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes - URPV	Quantidade suficiente	2	Coleta de informação no órgão de limpeza urbana e cálculo da quantidade mínima baseado em Scremin (2007)
		Quantidade insuficiente	1	
		Não	0	
	Área de Transbordo e Triagem – ATT	Implantação e operação pública	2	Coleta de informação no órgão de limpeza urbana
		Implantação e operação privada	1	
		Não	0	
	Implantação de sistema de Disque Coleta	Sim	2	Coleta de informação no órgão de limpeza urbana
Não		0		

Fonte: Adaptado de Lafayette (2016)

Quadro 31 - Indicadores do tratamento e disposição final de RCD

Item	Subitem	Avaliação	Pontuação	Obtenção
Tratamento e disposição final	Disposição de Resíduos Classe A em Usina de beneficiamento ou aterro de inertes	Pública	2	Planilha de dados fornecida pelo órgão de limpeza urbana e empresas de recebimento
		Privada	1	
		Não	0	
	Destinação de resíduos Classe B para Área de Triagem e reciclagem	Realizado com participação de cooperativas	2	Planilha de dados fornecida pelo órgão de limpeza urbana e cooperativas
		Realizado sem participação com cooperativas	1	
		Não	0	
	Disposição de Resíduos Classe C em aterro sanitário	Sim	2	Planilha de dados fornecida pelo órgão de limpeza urbana e empresas de recebimento
		Misturado com outras classes	1	
		Não	0	
	Destinação de Resíduos Classe D para incineração ou logística reversa	Sim	2	Planilha de dados fornecida pelo órgão de limpeza urbana e empresas de recebimento
		Não	0	
	Registro da destinação dos resíduos em locais licenciados	Sim	2	Documentos fornecidos pelo órgão de limpeza urbana
		Não	0	

Fonte: Adaptado de Lafayette (2016)

Quadro 32 - Classificação das pontuações do IGRCD

Intervalos	Classificação
Municípios com IGRCD < 16	Gestão Ineficiente
Municípios com $16 \leq$ IGRCD < 32	Gestão Mediana
Municípios com IGRCD \geq 32	Gestão Eficiente

Fonte: Adaptado de Sinduscon (2012)

A coleta dos dados para a análise dos indicadores se deu por meio de visitas realizadas nas obras parceiras desta pesquisa, bem como a coleta de informações na EMLURB, construtoras e cooperativa de catadores, sendo os dados plotados em planilha eletrônica para o cálculo do IGRCD.

3.2.2 Mapeamento dos pontos de deposição irregular de RCD

Além do diagnóstico da gestão municipal em Recife/PE, realizou-se um mapeamento e caracterização da deposição irregular de RCD, como forma de identificar a efetividade das ações realizadas pela cidade e avaliar os riscos ambientais provenientes dessa prática.

O levantamento foi realizado por uma equipes de pesquisadores da Escola Politécnica de Pernambuco (POLI/UPE) nos meses de Agosto/2016 a Dezembro/2016, por meio de observação direta e registro fotográfico. A partir do reconhecimento desses pontos, identificaram-se as coordenadas geográficas com um aparelho GPS (*Global Positioning System*), plotando os pontos através da utilização do *software Google Earth*, sendo realizada uma classificação das áreas de acordo com os tipos de resíduos (Classe A, B, C ou D - CONAMA nº 307/2002), sua localização em cada bairro, tipo de pavimentação existente, vegetação, dentre outros.

Além disso, identificaram-se as características socioeconômicas de cada bairro, região ou distrito e microrregião, como população, domicílios particulares permanentes e renda média familiar, de modo a correlacionar os pontos de deposição irregular de resíduos às características da área. Os dados de características socioeconômicas da cidade do Recife foram obtidos na Base de Informações do Censo Demográfico de 2010 do IBGE.

Para a caracterização dos pontos de deposição inadequada de RCD na cidade de Recife, foi adotada a metodologia desenvolvida por Albuquerque (2015), que definiu variáveis de influência para identificar os impactos socioambientais da deposição irregular dos RCD em Recife (Quadro 33)

Quadro 33 - Variáveis e categorias aplicadas na identificação dos impactos socioambientais

Variáveis	Categorias
Aspectos físicos	ocupação da área, localização, acessibilidade e mobilidade urbana.
Aspectos socioambientais	geografia, análise do entorno e infraestrutura urbana.
Critérios de conformidade	caracterização do resíduo urbano, classificação do RCD.

Fonte: Albuquerque (2015)

Para análise dos dados coletados, foi desenvolvido um banco de dados em planilha eletrônica e, para análise espacial, foi desenvolvido um Sistema de Informações Geográficas (SIG) com uso do *software* QGIS 2.14, onde foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento para criação de um arquivo vetorial com a localização dos pontos irregulares e identificação dos riscos ambientais, utilizando como base de dados os arquivos fornecidos pelos órgãos municipais e pelo IBGE.

3.2.3 Classificação dos riscos ambientais provenientes da deposição de RCD

Como forma de analisar quais áreas são mais vulneráveis à ocorrência de impactos ambientais (SEROR e PORTNOV, 2018) e que, portanto, devem ter uma atenção especial por parte dos órgãos de limpeza urbana, estas foram classificadas a partir dos critérios ambientais apresentados no Quadro 34, onde foram definidos *scores* de riscos ambientais de acordo com a distância entre os pontos de deposição irregular e os recursos hídricos, cobertura vegetal, aglomerados subnormais, renda média familiar, parques e praças, equipamentos de saúde e educação.

O critério de distância dos recursos hídricos foi baseado no novo Código Florestal - Lei nº 12.651/12 (BRASIL, 2012), que determina as Faixas Marginais de Proteção (FMP). Em relação às áreas protegidas, a distância foi considerada de modo a reduzir os impactos que podem ser gerados próximos às áreas de preservação, conforme estabelece o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) - lei nº 9.985/00 (BRASIL, 2000). Para os demais critérios, consideraram-se os princípios estabelecidos pelo Estatuto da Cidade - Lei nº 10.257/01 (BRASIL, 2001), Política Nacional de Saneamento - Lei nº 11.445/07 (BRASIL, 2007) e Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei nº 12.305/10 (BRASIL, 2010b).

Quadro 34 - Critérios e scores utilizados para a classificação dos riscos ambientais

Parâmetros	Score
Equipamento urbano de saúde (S_s)	Distância (quanto mais próximo dos equipamentos, maior o risco ambiental). Até 20 m – 10,0 pontos Até 40 m - 7,5 pontos Até 80 m - 5,0 pontos Até 160m - 2,5 pontos >160m - 0,5 ponto
Equipamento urbano de educação (S_e)	
Faixa de renda média familiar (S_r)	Renda domiciliar <i>per capita</i> (R\$) (Quanto menor a renda, maior o impacto da deposição de RCD) Até 324,00 – 10,0 pontos 325,00 a 648,00 - 8,5 pontos 649,00 a 1.164,00- 7 pontos 1.165,00 a 1.764,00 – 5,5 pontos 1.765,00 a 2.564,00 – 4,0 pontos 2.565,00 a 4.076,00 – 2,5 pontos 4.077,00 – 9.920,00 – 1 ponto Maior que 9.920 – 0,5 ponto
Cursos D'água (S_c)	Distância (Quanto mais próximo dos cursos d'água, maior o risco ambiental) Até 20m – 10,0 pontos Até 40 m - 7,5 pontos Até 60m - 5,0 pontos Até 120m - 2,5 pontos > 120m - 0,5 ponto
Cobertura Vegetal (S_v)	Distância (Quanto mais próximo da cobertura vegetal maior o risco ambiental) Até 20m – 10,0 Até 40 m - 7,5 Até 60m - 5,0 Até 120m - 2,5 > 120m - 0,5
Aglomerados Subnormais (S_{as})	Distância das unidades habitacionais caracterizadas por ausência de propriedade (ocupação informal/desordenada) No local – 10,0 Até 50 m - 7,5 Até 150 m - 5,0 Até 300 m - 2,5 > 300 m - 0,5
Praças e parques (S_{pp})	Distância (quanto mais próximo dos parques/praças, maior o risco ambiental) Até 20m - 10,0 Até 40m - 7,5 Até 80m - 5,0 Até 160 m - 2,5 > 160m - 0,5

Fonte: Elaborado pelo autor

Ressalta-se a importância de correlacionar a deposição irregular de RCD com as faixas renda, pois geralmente as áreas menos nobres possuem menos infraestrutura para coleta e triagem dos resíduos, o que ocasiona em uma grande quantidade de RCD disposta nas ruas. Além disso, nessas áreas os moradores possuem um maior contato com os resíduos nas vias, aumentando os riscos de doenças.

A classificação da renda média familiar utilizada no mapa temático foi proveniente da Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE, 2013) da Presidência da República (Tabela 19).

Tabela 19 - Categorização das classes sociais de acordo com a renda

Classe social	Classificação da Classe Social		
	Grupo	Renda <i>per capita</i>	Renda média familiar
Baixa	Extremamente pobre	Até R\$ 81,00	Até R\$ 324,00
	Pobre, mas não extremamente pobre	Até R\$ 162,00	Até R\$ 648,00
	Vulnerável	Até R\$ 291,00	Até R\$ 1.164
Média	Baixa classe média	Até R\$ 441,00	Até R\$ 1.764,00
	Média classe média	Até R\$ 641,00	Até R\$ 2.564,00
	Alta classe média	Até R\$ 1.019,00	Até R\$ 4.076,00
Alta	Baixa classe alta	Até 2.480,00	Até R\$ 9.920,00
	Alta classe alta	Acima de R\$ 2.480	Acima de R\$ 9.920,00

Fonte: SAE (2013); Silva (2015); Adaptado de Lafayette (2016)

O cálculo das distâncias foi realizado através de ferramentas de geoprocessamento, como o *buffer*¹⁴ e a *diferença* entre os arquivos vetoriais. O somatório dos *scores* foi realizado através da utilização de álgebra de mapas, por meio do *software QGIS*. Cada arquivo vetorial gerado com as distâncias foi transformado em arquivo *raster*¹⁵, onde cada *pixel* possui um valor, representando o *score* final obtido através do somatório de todos os critérios.

O *score* para os riscos ambientais de cada ponto de deposição irregular em relação à distância (S_d) foi definido de acordo com a Equação (3.1).

$$S_d = S_s + S_e + S_r + S_c + S_v + S_{as} + S_{pp} \quad (3.1)$$

Onde:

- S_d : Soma dos *scores* dos critérios ambientais;
- S_s : *Score* devido à distância dos equipamentos urbanos de saúde;
- S_e : *Score* devido à distância dos equipamentos educacionais;
- S_r : *Score* em relação à renda média familiar;
- S_c : *Score* devido à distância dos cursos d'água;
- S_v : *Score* devido à distância de áreas de vegetação;
- S_{as} : *Score* devido à distância de aglomerados subnormais;
- S_{pp} : *Score* devido à distância de parques e praças.

Além do *score* devido à distância dos pontos, foi definido também um *score* devido ao porte das pilhas (S_{po}) dos resíduos (Tabela 20). Foram considerados pontos de pequeno porte aqueles advindos de pequenos geradores, ou seja, que geram menos de 1 m³/dia de resíduos (RECIFE, 2005), cuja responsabilidade de coleta é da prefeitura. Os pontos de tamanho médio

¹⁴ *Buffer*: Operação utilizada em geoprocessamento com o objetivo de gerar polígonos que contornam um objeto a uma determinada distância, permitindo avaliar o quão perto ou longe está um objeto do outro.

¹⁵ *Raster*: tipo de arquivo que descreve o espaço geográfico na forma de uma matriz de células (*pixels*), onde a cada uma delas é atribuído um valor, como as imagens de satélite.

são aqueles que preenchem uma caçamba estacionária de 6 m³, enquanto que os pontos de grande porte são aqueles que precisam de mais de uma caçamba estacionária para serem coletados, sendo geralmente os pontos consolidados localizados em terrenos baldios, e que possuem resíduos perigosos.

Tabela 20 - *Score* dos pontos devido ao porte da pilha de resíduos

Porte	Score
Pequeno	6,5 pontos
Médio	15,0 pontos
Grande	30,0 pontos

Fonte: Elaborado pelo autor

O *score* final dos riscos ambientais de cada ponto de deposição irregular (S_f) foi calculado de acordo com a Equação (3.2), que varia de 10 a 100 pontos.

$$S_f = S_d + S_{po} \quad (3.2)$$

Onde:

S_f = *score* final dos riscos ambientais dos pontos de deposição;

S_d = soma dos *scores* das distâncias dos pontos;

S_{po} = *score* devido ao porte das pilhas de RCD.

Os resultados obtidos com o uso da metodologia permitem analisar em maior ou menor magnitude os riscos ambientais em relação à deposição irregular de RCD, conforme a Tabela 21, onde foram definidas classes de impacto e seus respectivos *scores*.

Tabela 21 - Classes de risco ambiental e as respectivas pontuações

Classificação	Escala	Score final
Classe I	Risco Baixo	10,0 a 25,0
Classe II	Risco Médio	25,5 a 50,0
Classe III	Risco Alto	50,5 a 75,0
Classe IV	Risco Muito Alto	75,5 a 100,0

Fonte: Adaptado de Albuquerque (2015)

3.2.4 Indicação de áreas aptas para recebimento de RCD

Para que os municípios possam gerenciar de forma correta os RCD, é necessária a implementação de uma rede de recebimento de pequenos e grandes volumes de RCD, através da implantação de URPV, ATT, e aterros de inertes ou usinas de beneficiamento.

Uma série de critérios deve ser atendida para que os gestores municipais identifiquem áreas aptas para instalação dessas unidades. Para facilitar a identificação dessas áreas, utilizou-se o SIG, pois estes são sistemas computacionais usados para a compreensão dos

fatos e fenômenos que ocorrem em um dado espaço geográfico. A capacidade dos SIG de unir uma grande quantidade de informações, organizando-os e integrando-os de forma adequada (CARVALHO *et al.*, 2000), torna-os ferramentas essenciais para a identificação de áreas aptas para recebimento de RCD.

É apresentada a seguir a metodologia de identificação das áreas aptas para a instalação de URPV, ATT e aterros de inertes/usinas.

3.2.4.1 Áreas de Recebimento de Pequenos Volumes

As URPV e suas bacias de captação (área de abrangência das unidades de recebimento) foram dimensionadas e localizadas a partir do cadastramento dos pontos de deposição irregular de RCD no município e da caracterização dos agentes coletores (SCREMIN, 2007), pois os locais escolhidos devem ser próximos ou no próprio local já utilizado pela população para descarte destes materiais.

As dimensões das bacias de captação foram estabelecidas de forma que possibilitassem o deslocamento dos pequenos geradores, de seu perímetro até o local de recebimento (1,5 a 2,5 km de raio) onde, sempre que possível, devem estar localizados próximos do centro geométrico da “Bacia de captação”. A bacia foi delimitada de acordo com a topografia e as limitações de acesso da região, pois os caminhões coletores devem ter seu deslocamento facilitado quando estiverem carregados, de forma que não existam barreiras naturais que impeçam ou dificultem o acesso à URPV.

Para estimar a quantidade mínima de pontos de recebimento de pequenos volumes, foi utilizado o método de Scremin (2007), onde o cálculo é realizado em função da área urbana (A_u) do município e do raio de abrangência (R_{AB}), que é definido em função da topografia local (plana - $R_{AB} = 2,5$ km; ondulada - $R_{AB} = 2,0$ km; acidentada - $R_{AB} = 1,5$ km). A estimativa do número de áreas de pequeno volume é calculada de acordo com a Equação (3.3).

$$N_{URPV} = \frac{A_u}{(\pi \times R_{ab}^2)} \quad (3.3)$$

Onde:

N_{URPV} = número de pontos de entrega voluntária;

A_u = área urbana do município;

R_{ab} = raio de abrangência do PEV.

A partir da definição da quantidade mínima, foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento na escolha das áreas mais aptas para instalação das URPV. Para isso, utilizou-se a metodologia adaptada de Ornelas (2011). Os locais para instalação das URPV devem estar dentro do perímetro urbano do município e o mais próximo possível dos pontos de deposição irregular de RCD.

Inicialmente, foram identificados os lotes vazios na cidade do Recife, pois geralmente são as áreas escolhidas pela população para o descarte ilegal de resíduos. A partir deste levantamento, foi realizada uma análise espacial dos pontos de deposição irregular cadastrados no mapeamento realizado na etapa anterior. Para cada ponto de deposição, foi criado um *buffer* de 200m, para identificar as áreas mais próximas que seriam aptas para receberem as URPV.

Além disso, considerou-se como áreas mais adequadas aquelas que possuem as maiores concentrações de pontos de deposição irregular, onde foi calculada a superfície de densidades de Kernel, sendo estabelecidas cinco classes de aptidão das áreas para implantação das URPV. As classes atribuídas foram: nula, baixa, média, alta e muito alta.

Para determinar a área necessária para cada ecoestação proposta, foi estimado o número de habitantes abrangido pelas bacias de captação, a partir dos dados fornecidos pelo IBGE (2010) em cada setor censitário, e a geração de RCD proveniente dos pequenos geradores, calculado a partir dos dados de RSU fornecidos pela EMLURB acerca da destinação final em aterro sanitário, entre os anos de 2012 a 2016.

3.2.4.2 Áreas de Transbordo e Triagem de Resíduos

A metodologia aplicada para a definição de áreas aptas para instalação de ATT em Recife se baseou na pesquisa realizada por Lúcio (2013). De acordo com o autor, as áreas para implantação de ATT devem estar próximas aos pontos de maior geração de RCD, de forma a reduzir as despesas com a coleta e transporte dos resíduos. As ATT, que podem ser públicas ou privadas, tem a função de reunir os RCD gerados em um único local, ampliando a capacidade de carga transportada por um caminhão. Dessa forma, de acordo com Lúcio (2013), os RCD são transportados dos grandes geradores para as ATT em caminhões de pequeno porte (caçambas), e das ATT para as áreas de destinação final (Aterros de inertes ou Usina de Beneficiamento de RCD).

Assim como utilizado por Lúcio (2013), para definir a localização das ATT, considerou-se os critérios recomendados por Pinto e González (2005), como:

- Regulamentação do uso do solo no município;
- Localização das regiões com maior concentração de geradores de grandes volumes de resíduos (áreas residenciais ou comerciais com população de maior renda e/ou que estejam em processo de implantação ou expansão);
- Existência de eixos viários, para agilizar o deslocamento de veículos de carga de maior porte.

Dessa forma, foi realizado um levantamento do uso e ocupação do solo e lotes vagos na cidade do Recife, obtido a partir dos mapas de zoneamento, levantamento das áreas com maior índice de geração de RCD por km² e verificação da hierarquia das vias.

A partir da identificação das áreas aptas para instalação das ATT, definiu-se um *buffer* de 3 km como sendo a bacia de captação das ATT, de modo que as obras que se encontrassem dentro da área delimitada teriam maior possibilidade para utilizar a área para triagem e acondicionamento dos resíduos.

A Tabela 22 apresenta a área mínima necessária para implantação das ATT, de acordo com a capacidade de recebimento de RCD demandada em cada região (PINTO E GONZÁLEZ, 2005).

Tabela 22 - Área mínima necessária para implantação das ATT

Capacidade demandada (m ³ /dia)	Área mínima necessária (m ²)
70	1.100
135	1.400
270	2.300
540	4.800

Fonte: Pinto e González (2005)

Para identificar a capacidade demandada de RCD, realizou-se um mapeamento das obras em andamento em Recife, verificando-se as informações disponibilizadas pelas construtoras e pela EMLURB. Para cada obra, foram cadastrados os dados referentes às coordenadas geográficas, área construída, nº de pavimentos, e estágio atual de construção.

A estimativa da geração de RCD das obras foi realizada a partir dos dados obtidos no levantamento das obras concluídas em Recife, apresentado posteriormente no Capítulo 5.

O cálculo da geração diária de RCD foi realizado de acordo com a Equação (3.4) (PAZ e LAFAYETTE, 2014):

$$G_d = \left(\frac{G_t}{P_c} \right) * 26 \quad (3.4)$$

Onde:

G_d = a geração diária de RCD de uma obra (tonelada);

P_c = o prazo de construção de uma obra (meses)

A capacidade demandada de cada ATT foi calculada a partir da soma da geração diária de todas as obras localizadas dentro da bacia de captação, conforme a Equação (3.5):

$$C_d = \sum G_{ds1} + G_{ds2} + G_{ds3} \dots G_{dsn} \quad (3.5)$$

Com esse indicador foi possível identificar a área mínima necessária para instalação das ATT.

3.2.4.3 Aterros de inertes e usinas de reciclagem

De acordo com Rocha *et al.* (2017), unidades de recebimento e tratamento de RCD podem gerar uma série de impactos ambientais negativos, como a poluição sonora, incômodo à vizinhança, saturação das vias, contaminação do solo e das águas subterrâneas. Dessa forma, é necessário avaliar com cautela as áreas favoráveis a este tipo de empreendimento.

Ding *et al.* (2018) descrevem que existem poucos estudos focados na seleção de áreas aptas para instalação de aterro de inertes e usinas, visto que a grande maioria das pesquisas são relacionadas a aterros sanitários de resíduos domiciliares.

A NBR 15.113/04, que trata sobre as diretrizes para projeto, implantação e operação de aterros de RCD, apresenta no item 5.1 os seguintes critérios de localização:

- geologia e tipos de solos existentes;
- hidrologia;
- passivo ambiental;
- vegetação;
- Vias de acesso;
- área e volume disponíveis e vida útil;
- distância de núcleos populacionais.

Neste sentido, para a determinação das áreas aptas para implantação de aterros de inertes e usinas, baseou-se nas pesquisas de Dosal *et al.* (2012), Biju (2015), Bohnenberger *et al.* (2018) e Ding *et al.* (2018), onde foi utilizada a Análise de Decisão Multicritério (*Multi-criteria Decision Analysis* – MCDA, ferramenta de decisão bastante útil para avaliar

diferentes opções ou alternativas, levando em conta diferentes critérios, que muitas vezes entram em conflitos entre si (VIÑAS, 2015).

O Quadro 35 apresenta a síntese dos critérios escolhidos pelos autores, de modo a identificar quais delas são mais relevantes para o estudo.

Quadro 35 - Critérios escolhidos por pesquisas anteriores relacionadas à localização de aterros de inertes e usinas

Critérios	Fonte			
	Dosal <i>et al.</i> (2012)	Biju (2015)	Bohnenberger <i>et al.</i> (2018)	Ding <i>et al.</i> (2018)
Recursos Hídricos				
Vias de acesso				
Uso e ocupação do solo				
Pedologia				
Geologia				
Declividade				
Áreas protegidas				
Áreas urbanas				
Equipamentos urbanos				
Praças				
Valor do terreno				
Residências rurais				
Atrações turísticas e históricas				
Aeroportos				

Fonte: Compilado pelo autor

Os critérios que foram escolhidos, a partir da preocupação com os aspectos construtivos, econômicos, operacionais, ambientais e sociais, sendo utilizados devido à sua importância para a implantação de um aterro e usina, foram: recursos hídricos (IBGE, 2010), pedologia (EMBRAPA, 2011), vias de acesso (CPRM, 2002), declividade (INPE, 2008), áreas urbanas (ITEP, 2006), áreas protegidas (SIG CABURÉ – CPRH, 2014) e geologia (CPRM, 2002).

O critério de distância dos cursos d'água foi baseado no Código Florestal (Lei nº 12.651/12), utilizando-se uma Faixa de Margem de Proteção (FMP) média de 400 metros. Nas áreas protegidas por lei, foi estabelecida uma zona de amortecimento de 100 metros, que serve para diminuir os impactos que possam ser gerados próximos às áreas de preservação (BRASIL, 2000).

Devido ao possível contato da população que vive no entorno do aterro com os resíduos, quanto maior a distância das áreas urbanas, mais apta estará a área, evitando contato com odores, ruídos, disseminação de vetores de doenças no local. Nesse caso, utilizou-se uma distância média de 1.000 metros, conforme utilizado por Lino (2007).

Para evitar maiores deslocamentos, admite-se que quanto mais próximo a área estiver das vias de acesso, respeitando a restrição, menor será o custo de implantação, operação e

transporte dos resíduos, considerando a área mais apta, sendo estabelecida uma faixa de restrição de 200 metros da margem; a partir de 200 até 1000 metros é considerada como uma área apta; e acima de 1000 metros com área de média aptidão (ORNELAS, 2011; AZEVEDO *et al.*, 2017).

Em termos de declividade, os terrenos planos favorecem as operações de movimentação de solos e resíduos e oferece também condições menos críticas para o sistema de drenagem. Considerou-se a declividade ideal do local superior a 10% e inferior a 20% (AZEVEDO *et al.*, 2017). Em relação ao tipo de solo, os pesos foram definidos a partir da classificação de fragilidade e erodibilidade dos solos, conforme a Tabela 23.

Tabela 23 - Classes de fragilidade de acordo com os tipos de solos

Classes de fragilidade	Classes de solo	Valor
Muito baixa	Latossolo Vermelho Distroférrico, Latossolo Vermelho e Vermelho-Amarelo textura argilosa	5
Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho-Amarelo textura média/argilosa	4
Média	Latossolo Vermelho-Amarelo, Nitossolo, Argissolo Vermelho-amarelo, textura média/argilosa	3
Forte	Argissolo Vermelho-Amarelo, textura média/arenosa, Cambissolos	2
Muito Forte	Argissolo cascalhentos, Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos	1

Fonte: EMBRAPA (2006)

Devido às diferentes escalas em que os critérios são medidos, é necessário que sejam padronizados em uma mesma escala contínua de adequabilidade (índice de aptidão) para posterior combinação entre eles (XAVIER, 2002).

O índice de aptidão de cada critério foi definido de 1 a 5, sendo 1 as áreas com menor aptidão e 5 as áreas com maior aptidão. Os critérios foram divididos em restritivos (Tabela 24) e escalonados (Tabela 25). De acordo com Lorentz *et al.* (2016), os critérios restritivos são limitações absolutas que impossibilitam a escolha de uma região geográfica, enquanto que os critérios escalonados são as limitações relativas que definem algum grau de aptidão.

Para avaliar a adequabilidade de um projeto, normalmente são definidos pesos para cada critério, de acordo com seu nível de importância em um processo decisório. Neste caso, utilizou-se o método de Análise Hierárquica de Processos (AHP), desenvolvido por Saaty (1980) pois, apesar de existirem diversos métodos, atualmente ainda é o mais utilizado para tomada de decisão (BRIOZO e MUSATTI, 2015; MELO, 2017).

Tabela 24 - Critérios restritivos e classificação através de índices de aptidão

Critérios restritivos	Classes	Índice de aptidão
Distância de áreas urbanas	Perímetro urbano	0
	Até 200 m do perímetro	1
	201 m - 400m	2
	401 m - 600m	3
	601 m - 800m	4
	> 800 m do perímetro	5
Distancia de recursos hídricos (Buffer 400 m)	Área de APP (400 m)	0
	Até 100m das APP	1
	101 m – 200 m	2
	201 m – 300 m	3
	301 m - 400m	4
	> 400 m das APP	5
Distância de áreas protegidas (Buffer 100 m)	Perímetro da área de proteção	0
	Até 100m do perímetro	1
	101 m – 200m	2
	201 m – 300 m	3
	301 m – 400 m	4
	> 400m	5

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 25 - Critérios escalonados e classificação através de índices de aptidão

Critérios escalonados	Classes	Índice de aptidão
Declividade	0 – 3% (Plano)	3
	3 – 8% (Suave Ondulado)	4
	8 – 20% (Ondulado)	5
	20 – 45% (Forte Ondulado)	2
	45 – 75% (Montanhoso)	1
	> 75% (Escarpado)	0
Distância de vias de acesso	< 200 m	0
	200 – 1000 m	5
	> 1000 m	3
Pedologia (Fragilidade)	Muito baixa	5
	Baixa	4
	Média	3
	Forte	2
	Muito Forte	1
Geologia	Ígneas (Boa)	Sem ocorrência
	Sedimentar (Satisfatória e pobre)	3
	Metamórfica (Boa e satisfatória)	5

Fonte: Elaborado pelo autor

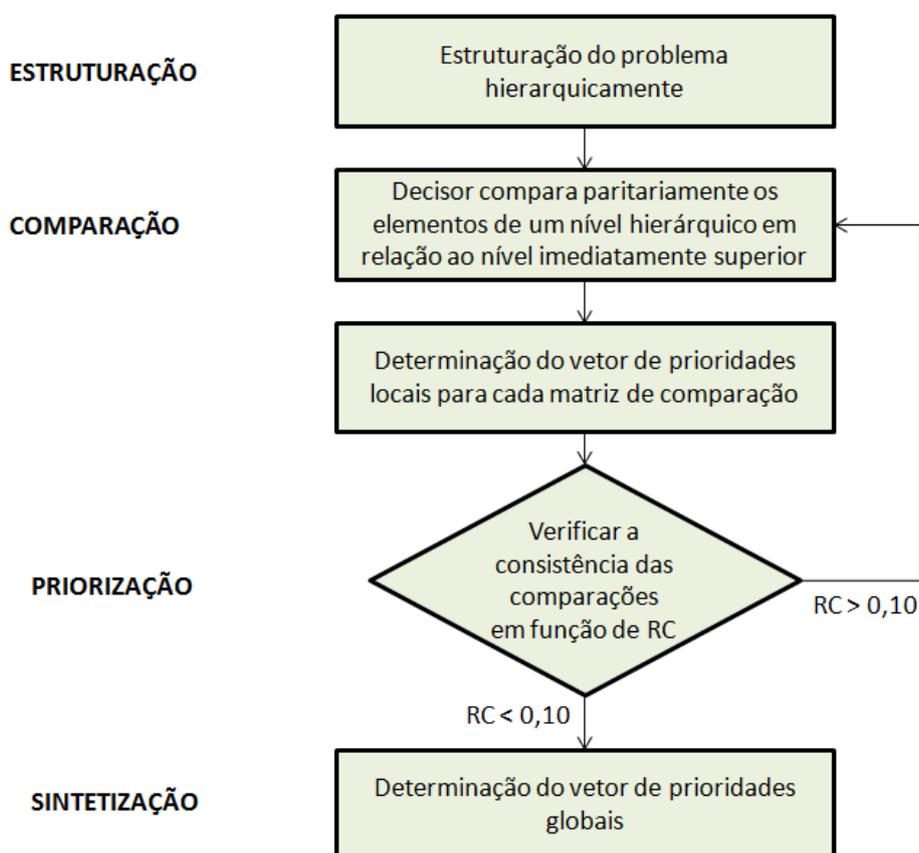
Para a definição dos pesos, realizou-se uma análise da hierarquia dos critérios obtida pelas pesquisas anteriores, conforme apresenta o Quadro 36. Para esta pesquisa, foi utilizada a hierarquia dos critérios obtida por Biju (2015), a qual realizou um estudo de MCDA, pela sua aplicação na Região Metropolitana de Curitiba (mesmo contexto desta pesquisa), e por ter utilizado o método Delphi com 21 especialistas na área.

Para o desenvolvimento do método AHP, seguiram-se as demais etapas apresentadas na Figura 35.

Quadro 36 - Hierarquia dos critérios obtida por pesquisas anteriores

Hierarquia	Dosal <i>et al.</i> (2012)	Biju (2015)	Bohnenberger <i>et al.</i> (2018)	Ding <i>et al.</i> (2018)
1	Áreas urbanas	Recursos Hídricos	Uso e Ocupação do solo	Áreas urbanas
2	Recursos Hídricos	Vegetação	Vias de acesso	Áreas protegidas
3	Uso e ocupação do solo	Pedologia	Áreas urbanas	Recursos Hídricos
4	Declividade	Geotecnia	Declividade / Equipamentos Urbanos / Praças	Uso e Ocupação do solo
5	Vias de acesso	Uso e ocupação do solo	Recursos Hídricos / Pedologia	---
6	---	Vias de acesso	---	---
7	---	Áreas urbanas	---	---
8	---	Declividade	---	---

Fonte: Compilado pelo autor

Figura 35 - Esquema geral da Análise Hierárquica de Processos (AHP)

Fonte: Melo (2017)

Na etapa de comparação, é realizada uma avaliação quantitativa do grau de importância de um critério em relação a outro, em uma escala de comparação 1 a 9 (MELO, 2017), conforme o Quadro 37, formando uma matriz paritária dos critérios.

A partir da definição da matriz paritária, foi realizada a normalização dos dados, que permite que os critérios possam ser comparáveis entre si, seguindo-se os seguintes passos (MELO, 2017):

- Somatório dos julgamentos paritários de cada linha da matriz e normalização posterior dos resultados;
- Somatório dos julgamentos paritários de cada coluna da matriz e normalização dos resultados depois de encontradas as recíprocas das somas;
- Divisão de cada elemento da coluna pelo somatório desta coluna e posterior cálculo da média aritmética de cada linha resultante.

Quadro 37 - Escala fundamental de números absolutos

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Os dois critérios contribuem de uma forma idêntica para o objetivo
3	Pouco mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é pouco mais importante que o outro
5	Muito mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é claramente mais importante que o outro
7	Bastante mais importante	A análise e a experiência mostram que um critério é predominante para o objetivo
9	Extremamente mais importante	Sem qualquer dúvida, um dos critérios é absolutamente predominante para o objetivo
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	O compromisso é sempre aceitável
Valores recíprocos dos anteriores	Se um critério i possui um dos valores anteriores quando comparado com o critério j, então o critério j possui o valor recíproco quando comparado com o critério i.	

Fonte: Adaptado de Saaty (1980) e Andrade e Barbosa (2015)

Por fim, verifica-se a consistência lógica dos julgamentos a partir do cálculo do autovalor máximo (λ_{\max}) da matriz de comparação paritária (Equação 3.6).

$$\lambda_{\max} = T * w \quad (3.6)$$

Onde:

T = vetor das prioridades locais normalizadas;

W = vetor coluna formado pela somatória dos valores de cada coluna da matriz paritária

Após o cálculo do autovalor, calcula-se o Índice de Coerência (IC), conforme a Equação (3.7), que mede a consistência das comparações realizadas, cujo valor deve ser menor que 0,20 (BRIOZO e MUSETTI, 2015).

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - \eta}{(\eta - 1)} \quad (3.7)$$

Onde:

η = número de critérios utilizados

Ao final, calcula-se a Razão de Consistência (RC) do julgamento do avaliador, razão entre o IC e o Índice Randômico (IR) (Equação 3.8).

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (3.8)$$

O IR é definido conforme o Quadro 38, de acordo com a ordem da matriz (quantidade de critérios utilizados).

Quadro 38 - Índice de consistência aleatória

Ordem da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1980)

O valor do RC deve ser igual ou menor que 0,1, indicando a consistência geral da matriz de comparação pareada. Se $RC > 0,1$ existem inconsistências graves.

Com os valores definidos, para realizar a análise multicritério, adotou-se a equação adaptada de Estoque (2011) e Biju (2015), para multiplicar os critérios e pesos atribuídos a cada um deles, conforme a Equação 3.9.

$$S = \sum WiXi * \Pi Cj \quad (\text{Eq. 3.9})$$

Onde:

S: adequabilidade da área;

Xi: fatores escalonados;

Wi: pesos determinados para cada fator;

Cj: restrição (fatores booleanos)

\sum : soma dos pesos dos fatores

Π : produto da restrição (5 - adequado, 0 – inadequado)

Para cada critério foi criado um arquivo *raster* para a realização da álgebra de mapas, multiplicando os critérios, e assim definir a aptidão de cada área. As classes de aptidão das áreas foram definidas conforme a Tabela 26, considerando-se uma pontuação máxima de 500 pontos.

Tabela 26 - Aptidão das áreas para instalação de aterros de inertes e usinas

Porcentagem	Score	Área
-	0	Não recomendada
Até 60%	Até 300	Recomendada com restrições
Acima de 60%	301 a 500	Recomendada

Fonte: Elaborado pelo autor

Todas as áreas que obtiveram pontuação 0 em pelo menos um critério restritivo, foram consideradas não recomendadas à implantação de um aterro (OLIVEIRA NETO, 2011; BOHNENBERGER *et al.*, 2018), enquanto que para as áreas com pixels maiores que zero,

foram analisadas como áreas recomendadas com ou sem restrição, dependendo da pontuação obtida.

3.3 GESTÃO DE RCD EM CANTEIROS DE OBRAS

Para obtenção de dados relacionados aos canteiros de obras, realizou-se inicialmente um diagnóstico da geração de RCD em obras da cidade do Recife, um tratamento estatístico dos dados e uma modelagem matemática da geração de RCD, detalhado a seguir.

3.3.1 Diagnóstico da gestão e geração de RCD em obras

O diagnóstico da geração de RCD em canteiros de obras envolveu a coleta de dados, a partir da realização de parcerias com construtoras que atuam na construção de edifícios multifamiliares na região. Primeiramente, foi enviado um ofício para os responsáveis pela área de meio ambiente da empresa, explicando os objetivos da pesquisa. Após o primeiro contato, foram marcadas reuniões para apresentação da proposta do SIGERCON e, posteriormente, foi realizada a coleta de dados de geração de RCD em cada obra.

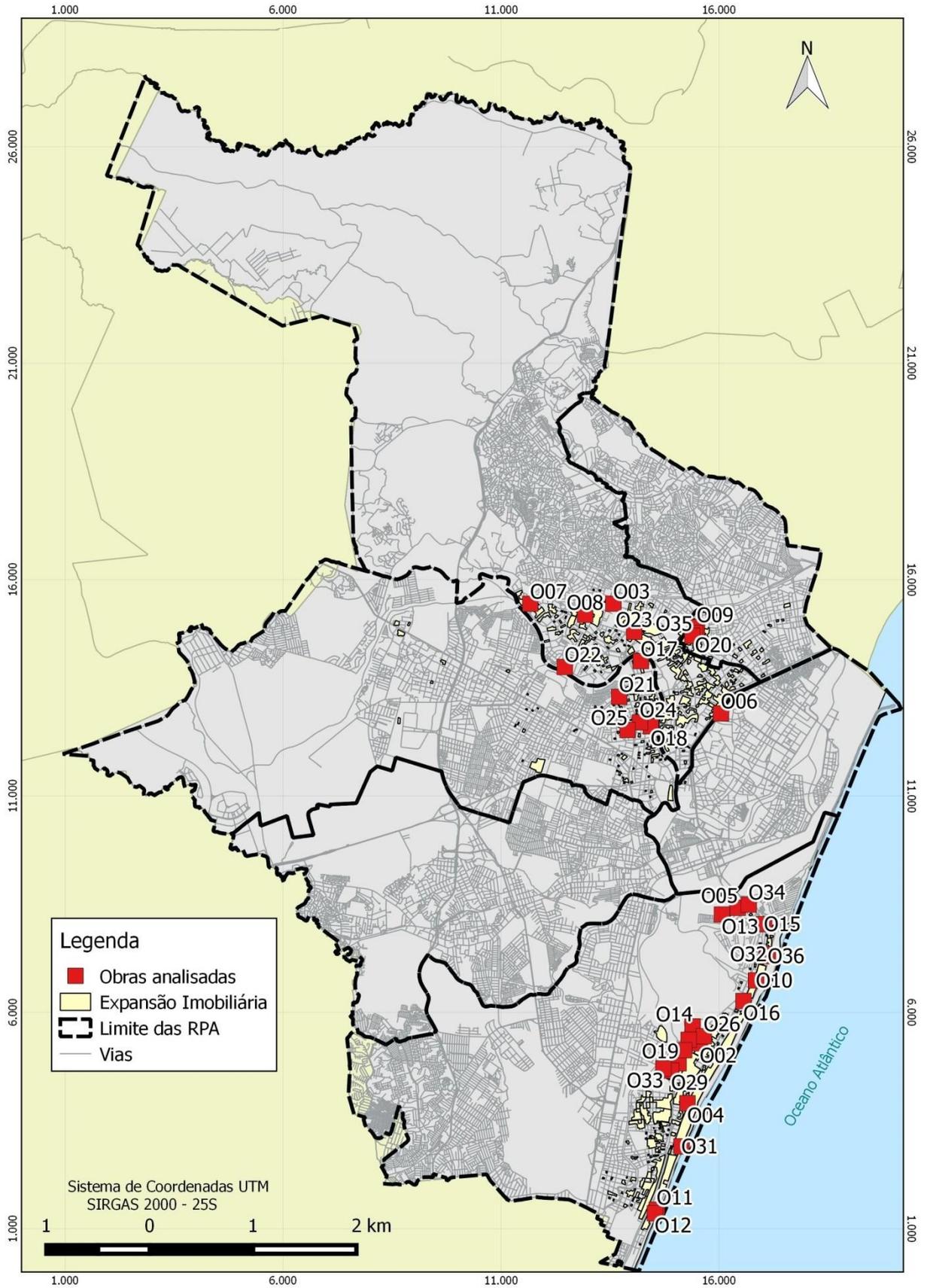
Para a organização das informações, foi criado um banco de dados em planilha eletrônica, contendo o levantamento das características construtivas de cada obra, como a fase, área construída, área do terreno, área de demolição e escavação, número de pavimentos, tempo de execução, dentre outros. Além disso, foram plotados os dados de geração de resíduos de acordo com o tipo (concreto, cerâmico, madeira, papel) e a classe (A, B, C e D)¹⁶.

Foram analisados ainda os custos provenientes da coleta/transporte e destinação final dos resíduos. Em algumas obras, foram obtidos apenas dados mensais de quantidade de caçambas coletadas, enquanto que em outras foram obtidos dados específicos de cada caçamba, como data, quantidade, volume da caçamba, custo do transporte e custo de destinação final.

Ao todo foram cadastradas 40 obras, onde foram coletados os dados referentes à geração de RCD, provenientes de 5 construtoras. Porém, apenas 20 obras possuem dados completos de todas as caçambas e fases construtivas, referentes ao período de 2010 a 2017, conforme localização apresentada na Figura 36. A Tabela 27 apresenta um resumo das características de cada uma das 40 obras cadastradas.

¹⁶ Resolução CONAMA nº 307/2002.

Figura 36 - Localização das obras cadastradas em Recife utilizadas na pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 27 - Características das obras analisadas com dados completos

Código	Área construída (m²)	Área do terreno (m²)	Nº de pavimentos	Nº de torres	Duração da obra (meses)	Obra Controle
O1	17041	3393,06	34	1	30	Sim
O2	17400	3476,35	34	1	45	Sim
O3	12360	2245,71	36	1	42	Sim
O4	10522	1776,5	29	1	29	Sim
O5	12486	2932,5	29	1	38	Sim
O6	13606	3945,1	11	1	30	Sim
O7	18597	4612,5	31	1	41	Sim
O8	6226	1555,2	20	1	36	Sim
O9	14062	2119,3	28	1	44	Sim
O10	7706	1171,9	22	1	27	Sim
O11	3739	564,0	19	1	28	Sim
O12	7099	1110,0	16	1	39	Sim
O13	97900	12363,0	26	1	41	Sim
O14	19929	3690,0	31	2	50	Sim
O15	28494	5353,0	22	1	42	Sim
O16	10072	1522,2	29	1	29	Sim
O17	12650	3263,0	34	1	38	Sim
O18	10216	1760,0	32	1	29	Sim
O19	11000	2179,8	28	1	38	Sim
O20	15778	2610,0	38	1	48	Sim
O21	10230	1943,7	17	1	36	Não
O22	6861	1303,6	18	4	28	Não
O23	12023	2284,4	29	1	29	Não
O24	17682	3359,6	33	1	52	Não
O25	12630	2399,7	36	1	45	Não
O26	10526	1999,9	32	1	31	Não
O27	13439	2553,4	30	2	21	Não
O28	17213	3270,5	20	2	28	Não
O29	30071	5713,5	10	5	28	Não
O30	9213	1750,5	20	3	30	Não
O31	26570	5048,3	54	1	34	Não
O32	25958	4932,0	22	1	37	Não
O33	7706	1987,3	22	1	28	Não
O34	3739	710,4	19	1	28	Não
O35	13269	2050	74	1	37	Não
O36	27218	5171,4	74	5	35	Não
O37	7886	1175,85	22	1	31	Não
O38	47574	9039,1	63	1	37	Não
O39	17750	3239,7	32	1	48	Não
O40	37236	7074,9	33	2	40	Não

Fonte: Elaborado pelo autor

Para a obtenção de indicadores referentes à geração de RCD por área construída, por classe, por tipo e por fase construtiva, foram utilizados os dados das 20 obras com banco de dados completos, denominadas “Obras Controle”. As “Demais Obras” foram utilizadas na etapa seguinte, referente ao tratamento estatístico.

Os dados obtidos dos indicadores de geração e do tratamento estatístico foram utilizados para o desenvolvimento do modelo matemático de geração de RCD em obras, conforme descrito a seguir.

3.3.2 Tratamento estatístico dos dados

Após a análise das informações coletadas, foi realizado o tratamento estatístico destes dados, para posteriormente ser desenvolvido um modelo matemático da geração de RCD, a ser incluído no SAD do Módulo I do SIGERCON.

Inicialmente, foi realizada uma análise descritiva dos dados das 40 obras em relação à média, mediana, desvio-padrão e coeficiente de variação, observando-se os valores máximos e mínimos de cada parâmetro. As obras que foram consideradas como *outliers*, por apresentar características bastante distintas das outras obras, foram excluídas da análise estatística (6 obras), totalizando 34 obras.

Para a validação dos dados, foi realizada uma análise de variância com a variável “Geração Total de RCD” (que posteriormente foi utilizada como variável dependente no modelo de estimativa), conforme metodologia proposta por Costa *et al.* (2014), o qual utilizou um procedimento estatístico para testes de hipóteses na comparação das médias de dois ou mais grupos amostrais, que produz uma estatística ou Razão F, cujo numerador representa a variação entre os grupos, e o denominador contém uma estimativa da variação dentro dos grupos, conforme Equação (3.10) (LARSON e FARBER, 2010; COSTA *et al.*, 2014).

$$F = \frac{\text{Variação entre}}{\text{Variação dentro}} = \frac{S_b^2}{S_w^2} \quad (3.10)$$

Onde:

S_b^2 = variância entre os grupos

S_w^2 = variância dentro do grupo

O cálculo das variâncias entre os grupos e dentro dos grupos é realizado por meio da Equação (3.11) e (3.12), respectivamente.

$$S_b^2 = \frac{\sum_1^k n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2}{k - 1} \quad (3.11)$$

Onde:

n = número de elementos do grupo;

\bar{X} = média do grupo;

\bar{X} = grande média

$$S_w^2 = \frac{\sum_{j=1}^k (n_j - 1) s_j^2}{n_T - k} \quad (3.12)$$

Onde:

k = número de amostras;

n_t = número total de elementos observados

$n_t - k$ = número de graus de liberdade

As hipóteses do Teste F são:

- H_0 = as n médias tem o mesmo valor de média;
- H_a = Nem todas as médias são iguais; pelos menos duas são diferentes.

Foi realizada ainda uma análise de variância para identificar possíveis diferenças de médias entre as 5 construtoras, por meio do teste de Kruskal-Wallis. De acordo com Larson e Farber (2010), o teste de Kruskal-Wallis é um teste não paramétrico utilizado para determinar se mais de dois grupos independentes foram selecionados de populações que possuem a mesma distribuição. Permite-se, assim, comparar as médias da geração de RCD entre as construtoras, considerando um nível de significância de $\alpha=0,05$.

As hipóteses nula e alternativa para o teste de Kruskal-Wallis são:

- H_0 : As amostras são provenientes de uma mesma população;
- H_a : As amostras não são provenientes de uma mesma população.

Para verificar a correlação entre as variáveis a serem utilizadas, utilizou-se o Coeficiente de Correlação de Spearman (r_s), que é uma medida da força da relação entre duas variáveis (LARSON e FARBER, 2010) e, para verificar a aplicabilidade da regressão linear múltipla para o conjunto de dados utilizados, foram realizados os testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk em relação à geração total de RCD, considerada como a variável dependente (Y), pois a distribuição normal é requisito para aplicação da regressão linear. Posteriormente, as variáveis coletadas que apresentaram influência sobre a variável dependente (Y) foram utilizadas na análise de regressão.

Realizou-se, portanto, o tratamento dos dados coletados através da utilização de regressão múltipla, conforme metodologia proposta por Kern *et al.* (2015) e Sáez *et al.* (2015). A regressão consiste em um modelo que relaciona as variáveis baseadas nos dados observados, obtendo assim um modelo empírico, descrevendo a relação entre a variável dependente (Y) e as variáveis independentes (X), neste caso as características que demonstraram possível influência sobre a geração do RCD. Todas as análises foram realizadas a partir do programa computacional estatístico IBM SPSS Statistics.

O modelo proposto pode ser representado pela Equação 3.13 (KERN *et al.*, 2015).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_k X_{k,i} + \varepsilon \quad (3.13)$$

Onde:

Y_i : variável dependente para a *i-ésima* obra;

X_i : variáveis independentes para a *i-ésima* obra;

β : coeficientes parciais de regressão;

ε : erro

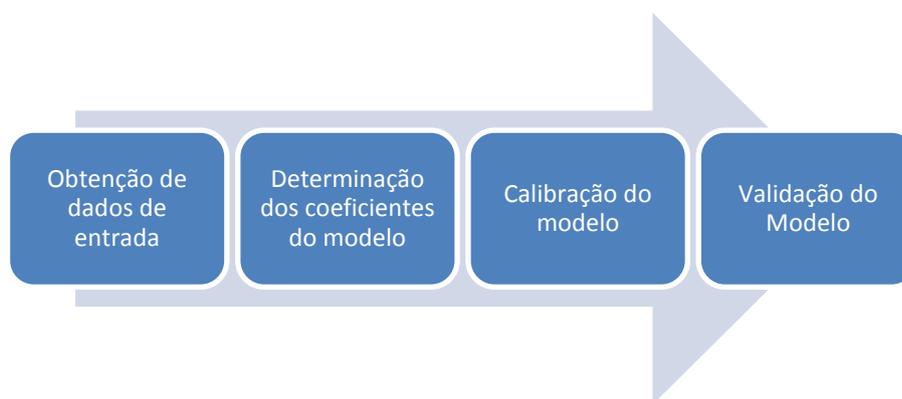
3.3.3 Desenvolvimento do modelo matemático de geração de RCD

Após o tratamento estatístico dos dados, foi desenvolvido um modelo matemático de estimativa da geração de RCD em obras. Para Goés e Goés (2014), “modelo matemático é um conjunto de equações e/ou inequações que representam um sistema real, sendo que tais equações devem satisfazer critérios, que são as hipóteses relacionadas ao problema, na busca de uma solução”.

O objetivo deste modelo é desenvolver equações que permitam estimar de forma mais confiável a geração de RCD no total, por fase e por tipo de material, para as novas construções que vierem a ser executadas.

O modelo matemático baseou-se em modelos já desenvolvidos por pesquisadores de diversos países (KATZ e BAUM, 2011; LU *et al.*, 2011; LI e ZHANG, 2013; MÁLIA *et al.*, 2013; SÁEZ *et al.*, 2015), seguindo as etapas propostas por Von Sperling (2007), conforme Figura 37.

Figura 37 - Etapas de realização da modelagem matemática



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2007)

A calibração do modelo é realizada pelo ajuste de coeficientes, que podem variar em faixas determinadas, permitindo adequar as equações matemáticas às realidades físicas da área de estudo.

Posteriormente, foi realizada a calibração e validação do modelo matemático. Para Von Sperling (2007), a calibração consiste em obter um bom ajuste entre os dados observados e

estimados (calculados pelo modelo) por meio da variação dos coeficientes do modelo. Dessa forma, foram calculados os coeficientes a partir dos dados coletados nas obras.

Com o objetivo de avaliar o modelo e a consistência da metodologia desenvolvida, foi realizada a sua validação, ou seja, a comparação entre os quantitativos de resíduos simulados pelo modelo, e a quantidade real observada em 13 obras que não fizeram parte das obras calibradas. Para Bassanezi (2015), a validação refere-se a um processo de aceitação ou rejeição de um modelo matemático, de modo que um bom modelo é aquele que deve servir para explicar os resultados e possui capacidade de previsão de novos resultados para um determinado problema.

Para verificar a validação dos dados, foi utilizado o Coeficiente de Determinação (CD), que é um dos indicadores estatísticos mais úteis de ajuste dos dados estimados aos dados observados, sendo expresso conforme a Equação 3.14.

$$CD = 1 - \frac{\Sigma (Y_{obs} - Y_{est})^2}{\Sigma (Y_{obs} - Y_{obsmed})^2} \quad (\text{Eq. 3.14})$$

Onde:

Y_{obs} = valor observado;

Y_{est} = valor estimado;

Y_{obsmed} = média dos valores observados.

O CD envolve a soma dos erros entre os valores reais de geração de resíduos nas 3 fases da obra (fundação, estrutura e acabamento), e os valores estimados pelo modelo. Os valores de CD podem variar entre $-\infty$ e $+1$. Considera-se ideal um modelo cujo coeficiente esteja entre 0,7 e 1, onde um CD igual a 1 indica perfeito ajuste entre os dados observados e estimados (VON SPERLING, 2007).

Este modelo desenvolvido inicialmente em planilha eletrônica e posteriormente inserido no Módulo I do SIGERCON, de modo que o sistema realizará automaticamente os cálculos, após inserção dos dados de entrada necessários.

3.4 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RCD

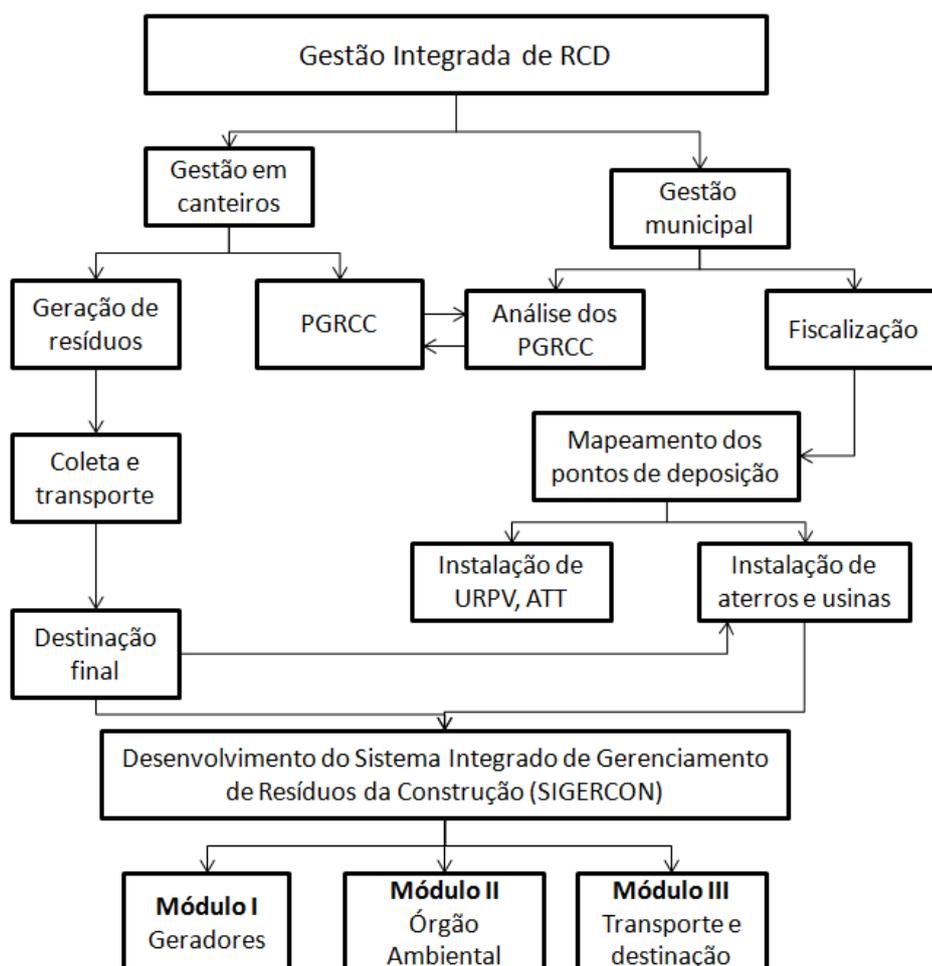
As etapas de desenvolvimento do *software* (SIGERCON) é apresentado a seguir, a partir do detalhamento do sistema.

3.4.1 Detalhamento do sistema

O desenvolvimento do SIGERCON foi uma ampliação do sistema elaborado por Paz (2014), referente apenas ao módulo de gestão de RCD nos canteiros de obras (Módulo I). O sistema desenvolvido nesta tese utilizou todos os dados coletados sobre o diagnóstico da gestão municipal e gestão em canteiros de obras, bem como dados da literatura, e tem atuação em todo o ciclo da gestão integrada de RCD, conforme a Figura 38.

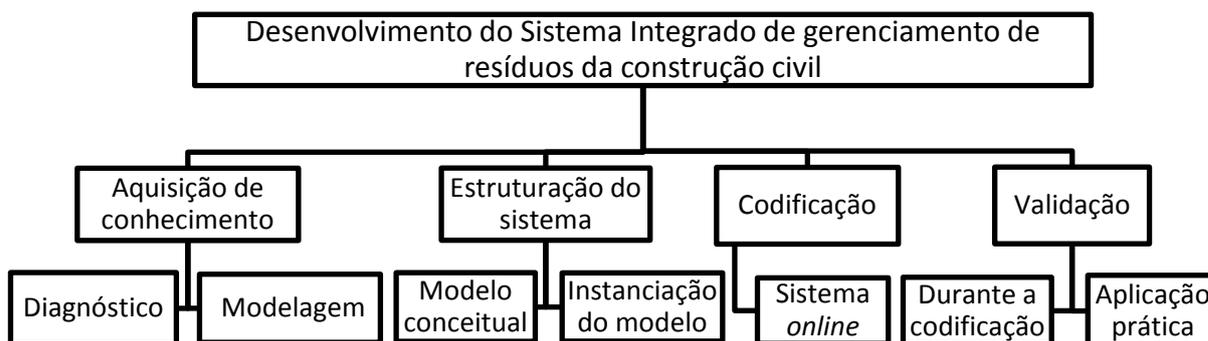
As etapas de desenvolvimento do SIGERCON foram baseadas em pesquisas realizadas anteriormente sobre o uso de SAD na gestão de resíduos sólidos, como Lupatini (2002), Massukado (2004), Scremin (2007) e Paz (2014), e seguiu as etapas conforme mostra a Figura 39.

Figura 38 - Detalhamento do *software* de gestão integrada de RCD



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 39 - Etapas de desenvolvimento do SAD



Fonte: Paz (2014)

3.4.2 Aquisição de conhecimentos

A etapa de aquisição de conhecimentos tem como objetivo fornecer subsídios para a representação dos mesmos através de modelos (SCREMIN, 2007). Na gestão integrada de RCD, os conhecimentos necessários foram subdivididos em três áreas:

- Gestão municipal de RCD;
- Gestão de RCD em canteiros de obras;
- Reciclagem de RCD.

Nesta etapa, os dados obtidos no levantamento bibliográfico referentes à caracterização quali-quantitativa de resíduos municipais, caracterização quali-quantitativa de resíduos de obras, gestão integrada de resíduos e reciclagem, foram organizados de acordo com os módulos desenvolvidos para serem inseridos no banco de dados do sistema.

3.4.3 Estruturação do sistema

Na fase de estruturação do sistema, o contexto do problema é estruturado e organizado a partir dos aspectos julgados mais relevantes. Nesta etapa, são apresentadas a estruturação e formalização dos conhecimentos para o desenvolvimento do SIGERCON. A estruturação seguiu a metodologia proposta por Lupatini (2002), dividida em duas etapas: a construção do modelo conceitual e a posterior instanciação do modelo, onde são abordados os conhecimentos necessários e os métodos para atingir os objetivos propostos no modelo conceitual apresentado anteriormente, por meio de fluxogramas.

O *modelo conceitual* foi desenvolvido com base na etapa de aquisição de conhecimentos e nas necessidades dos usuários. A solução proposta, conforme Lupatini

(2002), parte da possibilidade de incorporar o mesmo modelo de conhecimento utilizado pelos especialistas em um programa computacional, permitindo que os usuários que não possuem conhecimento aprofundado da área, cheguem à resolução do problema pela simples aplicação correta do modelo.

De acordo com as necessidades observadas na etapa de aquisição de conhecimentos, foram estabelecidas as necessidades a serem minimizadas pela utilização do *software*, baseando-se nos seguintes indicadores (MAIA *et al.*, 2009):

- estimativa precisa da geração de RCD em cada fase da obra;
- redução da deposição irregular de RCD no município;
- cadastro de geradores de resíduos;
- controle do recebimento e deposição dos resíduos por meio de registro sistemático de sua operação no dia a dia, que inclua o arquivamento organizado dos registros;
- identificação da pessoa/entidade responsável pela geração do(s) resíduos transportados, inclusive endereço e telefone para contato;
- identificação do meio de transporte utilizado e de seu responsável/condutor; data(s) de coleta e de transporte do(s) resíduos(s);
- quantidade de resíduos recebidos mensalmente nas áreas licenciadas;
- agilidade na emissão de relatórios de monitoramento e fiscalização das obras;
- agilidade da análise e aprovação dos PGRCC.

A partir da definição dos módulos, prosseguiu-se com a verificação das dificuldades de cada usuário, de modo a estabelecer as ferramentas necessárias para auxiliar na solução dos problemas de cada agente. A identificação das dificuldades foi realizada através das entrevistas junto aos usuários e análise dos indicadores de sustentabilidade aplicados.

A *instanciação do modelo* consiste em, a partir do modelo conceitual, incluir os conhecimentos necessários para que os objetivos da etapa de raciocínio fossem atingidos (SCREMIN, 2007). Para Lupatini (2002), a modelagem de um conhecimento é realizada progressivamente, pela decomposição dos objetivos que se deseja atingir.

Nesta etapa, buscou-se inserir as equações e funcionalidades de cada ferramenta dos módulos, de forma a atingir os objetivos pretendidos. As equações inseridas no sistema foram de acordo com o levantamento bibliográfico e coleta de dados. No caso das equações de estimativa de geração de RCD em canteiros de obras, inseriu-se o modelo matemático desenvolvido no capítulo 5.

A estruturação do sistema foi apresentada nesta pesquisa por meio de fluxogramas, utilizando-se o *software Bizage Process Modeler*, para organização das informações.

3.4.4 Codificação do sistema

A etapa de codificação de um SAD tem como objetivo transpor o modelo conceitual elaborado em um modelo desenvolvido por computador (digital). Esta etapa consiste na codificação do modelo instanciado e construção de uma interface amigável baseado em *web* para ser utilizado pelo usuário, de modo a facilitar o acesso às informações do sistema e obter os resultados determinados pelo modelo conceitual.

A etapa de codificação foi realizada por bolsistas de pesquisa do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas, no Laboratório de Geotecnologias (Labgeo), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE).

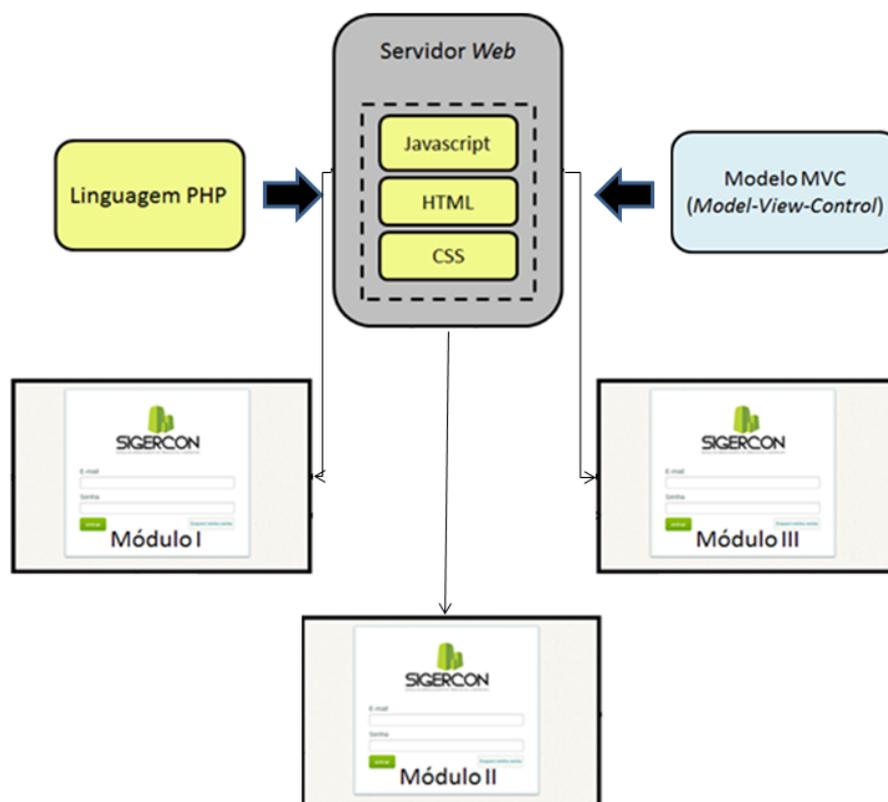
A codificação dos Módulos II e III foi realizada de acordo com o sistema desenvolvido no Módulo I (PAZ, 2014), em linguagem PHP (*Hypertext Preprocessor*), e utilizando o modelo MVC (*Model-View-Control*), sendo um dos mais indicados para o desenvolvimento *Web*, pois facilita a manutenção e possíveis extensões do sistema, o que contribuiu para a integração dos demais módulos a serem desenvolvidos. Foi utilizada também a biblioteca jQuery (Javascript) de modo a incrementar a usabilidade do sistema. Para o armazenamento dos dados foi utilizado o banco de dados MySQL, por se tratar de um sistema de banco de dados relacional completo, e por ser notadamente o mais recomendado para este tipo de aplicação.

Como complementação ao Módulo II, foi desenvolvido um aplicativo *mobile* do SIGERCON, como uma ferramenta de controle e fiscalização da deposição irregular de RCD, baseado no protótipo desenvolvido por Lima (2015) para a cidade do Recife. O aplicativo foi desenvolvido em arquitetura híbrida, ou seja, utilizam elementos dos aplicativos nativos e *web* (HUYNH *et al.*, 2017). As páginas do aplicativo foram desenvolvidas no Ionic Framework (ferramenta *open source* para desenvolvimento de aplicativos móveis multiplataforma) (SILVA e PACHECO, 2018). Para apresentação do mapa dos pontos de deposição irregular, foi utilizado o Google Maps API¹⁷. O objetivo do aplicativo é permitir a realização de denúncias de usuários anônimos, e facilitar a ação dos fiscais dos órgãos ambientais na fiscalização da deposição irregular.

¹⁷ API (Application Program Interface) é uma interface que permite a comunicação entre dispositivos ou sistemas

Os módulos foram codificados separadamente e, após a sua conclusão, houve a integração das ferramentas e informações utilizadas em cada módulo, como o cadastro de obras, transportadores e destinação final (Figura 40). Isto se deu pelo fato de que cada módulo foi criado com o auxílio de um profissional diferente da área de computação e sistemas de informação, porém utilizando a mesma metodologia.

Figura 40 - Processo de codificação do SIGERCON



Fonte: Elaborado pelo autor

3.4.5 Validação do sistema

Sendo uma etapa importante do processo, foi realizada a validação do SIGERCON utilizando duas etapas, assim como proposto por Scremin (2007):

- *Avaliação do sistema durante e após a codificação:* Nesta etapa são identificados e corrigidos problemas no desenvolvimento da ferramenta e erros de programação, como problemas de lógica, rotina e aparência do SIGERCON. As funcionalidades de cadastro de obras, transportador e destinação final, importação e exportação de planilhas e apresentação

dos gráficos foram analisadas nesta fase. Dessa forma, a cada *release*¹⁸ enviado pelo programador, foram realizadas revisões e possíveis correções do sistema.

- *Validação do banco de dados*: O banco de dados do sistema corresponde à caracterização quantitativa da geração de RCD nos municípios e nos canteiros de obras. Neste sentido, foi realizada uma correlação entre os dados reais obtidos no diagnóstico e os dados estimados pelo sistema. Para a gestão municipal, foi realizada uma validação do dimensionamento do sistema integrado de gestão no município de Jaboatão dos Guararapes/PE, município vizinho à cidade do Recife, pertencente à RMR.

A partir da análise da concordância dos resultados da validação, foi apresentada uma conclusão sobre a aplicabilidade e importância do SIGERCON para a gestão integrada de RCD nos municípios brasileiros.

¹⁸ *Release* é o termo em inglês para o processo de liberação da nova versão de um *software* após o incremento de uma nova funcionalidade ou correção.

4 DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA CIDADE DO RECIFE

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com o diagnóstico da gestão de resíduos da construção civil na cidade do Recife, como estudo de caso da aplicação da metodologia desenvolvida, estruturado nas etapas de: desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade da gestão de RCD; mapeamento dos pontos de deposição irregular de RCD; classificação dos riscos ambientais provenientes da deposição de RCD e indicação de áreas aptas para recebimento de RCD.

4.1 DESENVOLVIMENTO DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DA GESTÃO DE RCD

As matrizes de sustentabilidade resultantes para os 4 grupos de indicadores: Instrumentos de Gestão, Programas Municipais, Triagem e Coleta de RCD e Tratamento e Disposição Final, avaliados na cidade do Recife, a partir dos quais foram obtidos índices de sustentabilidade, estão apresentados a seguir. A Tabela 28 apresenta o resultado da aplicação dos indicadores do grupo de Instrumentos de Gestão para a cidade do Recife.

Tabela 28 - Matriz de sustentabilidade do grupo Instrumentos de Gestão

Instrumentos de Gestão		
Indicadores	Pontuação máxima	Pontuação obtida
Lei municipal para gestão de resíduos da construção civil	2	2
Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil – PMGRCC	2	2
Análise e aprovação dos Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) antes do início das obras	2	2
Cadastro e monitoramento de transportadores	2	2
Cadastro e monitoramento de áreas licenciadas para recebimento de RCD	2	2
Índice	10	10
Grau*		Alto

* Grau: Alto = 8 a 10 pontos, Médio = 4 a 7 pontos, Baixo = 0 a 3 pontos

Fonte: Elaborado pelo autor

Com relação aos Instrumentos de Gestão, observou-se que a cidade do Recife possui uma lei específica voltada para a gestão municipal de RCD, a lei nº 17.072/2005 (RECIFE, 2005), que estabelece as diretrizes e critérios para o programa de gerenciamento de resíduos da construção civil e, mais recentemente, o Decreto Municipal nº 27.399/2013 (RECIFE,

2013b), que regulamenta as unidades de recebimento de resíduos sólidos oriundos de pequenos geradores.

Quanto ao plano municipal, foi elaborado o Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos - PMRS (PERNAMBUCO, 2011), que abrange os projetos de gestão de RCD em consórcio entre os municípios da RMR. A partir do Decreto Municipal nº 27.045/2013 (RECIFE, 2013a), o PMRS foi reconhecido como sendo o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do município do Recife, alternativa permitida pelo Art. 11 da Resolução CONAMA nº 307/2002.

Quanto à análise dos PGRCC na cidade do Recife, antes da obtenção da licença de construção, as construtoras devem submeter os planos para análise por parte da EMLURB, contendo informações referentes à estimativa da geração de RCD ao longo da obra e o gerenciamento a ser empregado para que haja uma destinação adequada dos resíduos. Ao fim da obra, as construtoras devem enviar o relatório final da obra, contendo os *tickets* de pesagem da destinação dos resíduos, para que haja uma comparação da quantidade prevista com a quantidade efetivamente gerada. Com a aprovação da EMLURB, é emitido um documento permitindo a liberação do Habite-se.

Para que as construtoras possam destinar de forma adequada os RCD, a EMLURB divulga a lista das empresas de transporte e recebimento de resíduos que estão licenciadas e aptas para atuarem no gerenciamento de resíduos, sendo atualizado regularmente.

A Tabela 29 apresenta a matriz de indicadores dos programas municipais.

Tabela 29 - Matriz de sustentabilidade do grupo Programas Municipais de RCD

Programas Municipais		
Indicadores	Pontuação máxima	Pontuação obtida
Ações educativas voltadas à prevenção ou redução de resíduos sólidos de construção civil	2	2
Formação e capacitação de agentes ou catadores	2	0
Fiscalização periódica das obras	2	0
Mapeamento dos pontos de deposição irregular de RCD	2	1
Incentivo à logística reversa de resíduos especiais (gesso, sacos de cimento/argamassa e latas de tinta)	2	0
Índice	10	3
Grau*		Baixo

* Grau: Alto = 8 a 10 pontos, Médio = 4 a 7 pontos, Baixo = 0 a 3 pontos

Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação aos programas municipais, a prefeitura executa poucas ações voltadas para a redução dos impactos ambientais proveniente da geração de RCD. De acordo com Arruda

(2015), e observado através da divulgação por meio de redes sociais, são realizadas ações educativas sobre os impactos do descarte incorreto de resíduos sobre a saúde e de coleta seletiva em 52 bairros, através do programa Eco Recife, que abrange toda a estrutura de equipamentos e limpeza urbana da cidade, apresentando o calendário de coleta de resíduos domiciliares e a localização dos Ecopontos.

Porém, há uma defasagem de programas de incentivo à reciclagem e logística reversa voltados para os grandes geradores de RCD, além da falta de fiscalização periódica das obras da cidade, conforme informações fornecidas pelas próprias construtoras. Além disso, não se verifica uma atuação efetiva da prefeitura em relação à formação e capacitação de agentes e/ou catadores. Quanto ao mapeamento da deposição irregular de RCD na cidade, existe apenas o mapeamento dos pontos de RSU, por meio de uma planilha eletrônica, contendo as vias onde estão localizados os pontos.

Os indicadores de Triagem e Coleta de resíduos (Tabela 30) apontam que Recife não possui um sistema de disque coleta para os pequenos geradores de resíduos. Quando estes possuem resíduos em um volume significativo, devem levar para uma das 8 ecoestações implantadas em pontos estratégicos da cidade, desde 2013, onde foram reestruturadas com o início da nova gestão da prefeitura, possuindo uma estrutura adequada e de acordo com a norma NBR 15.112/04 (ABNT, 2004e), após o estabelecimento da Lei Municipal nº 27.399/2013.

Tabela 30 - Matriz de sustentabilidade do grupo Triagem e Coleta de RCD em Recife

Triagem e Coleta de RCD		
Indicadores	Pontuação máxima	Pontuação obtida
Sistema de coleta de RCD implantado (prefeitura ou terceiros)	2	2
Parceria com cooperativa de catadores para coleta seletiva dos resíduos Classe B	2	0
Triagem de resíduos em Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes – URPV	2	1
Área de Transbordo e Triagem – ATT	2	0
Implantação de sistema de Disque Coleta	2	0
Índice	10	3
Grau*		Baixo

* Grau: Alto = 8 a 10 pontos, Médio = 4 a 7 pontos, Baixo = 0 a 3 pontos

Fonte: Elaborado pelo autor

Porém, a coleta e triagem funcionam em uma quantidade reduzida de bairros, de modo que boa parte da população não tem acesso a essa estrutura, e sem contar com a participação de cooperativas de catadores. Além disso, não existem na cidade áreas de transbordo e

triagem, que facilite o transporte dos resíduos para a destinação final, localizado em outro município (Jaboatão dos Guararapes).

A Tabela 31 apresenta a matriz de indicadores do grupo Tratamento e Disposição final.

Tabela 31 - Matriz de Sustentabilidade do grupo Tratamento e Disposição Final dos RCD

Tratamento e Disposição Final		
Indicadores	Pontuação máxima	Pontuação obtida
Disposição de Resíduos Classe A em Usina de beneficiamento ou aterro de inertes	2	0
Destinação de resíduos Classe B para Área de Triagem	2	2
Disposição de Resíduos Classe C em aterro sanitário	2	2
Destinação de Resíduos Classe D para incineração ou logística reversa	2	0
Registro da destinação dos resíduos em locais autorizados	2	2
Índice	10	6
Grau*		Médio

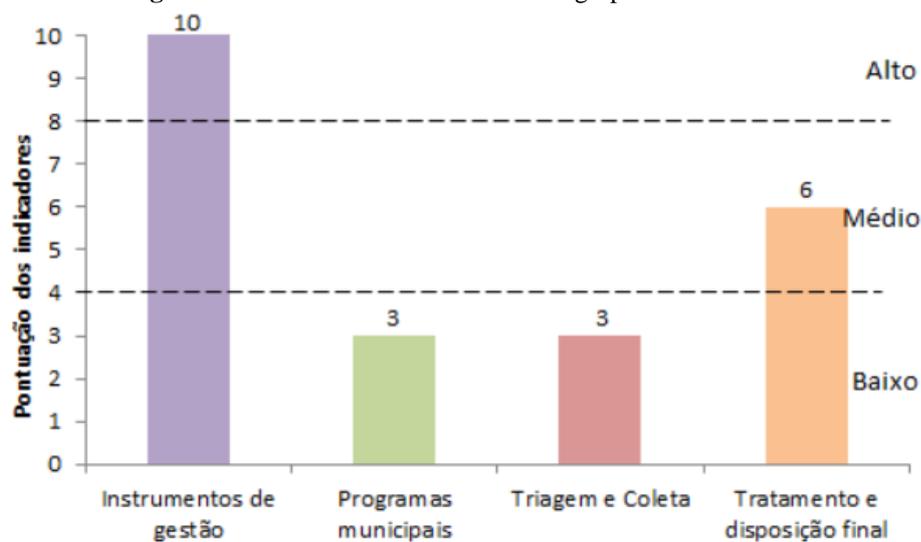
* Grau: Alto = 8 a 10 pontos, Médio = 4 a 7 pontos, Baixo = 0 a 3 pontos

Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar das falhas em relação aos programas municipais e triagem e coleta, a cidade do Recife possui um grau médio de sustentabilidade em relação ao tratamento e destinação final de RCD. Isso se deve ao fato de que apesar dos RCD coletados não serem destinados para usinas de beneficiamento ou aterros de inertes, existe uma estrutura razoável para triagem dos resíduos Classe B nos ecopontos espalhados pela cidade, bem como galpões de triagem de resíduos recicláveis. Além disso, todo resíduo Classe A e C são destinados ao aterro sanitário, com o devido registro das caçambas, cujos dados são divulgados abertamente pelo site da prefeitura¹⁹.

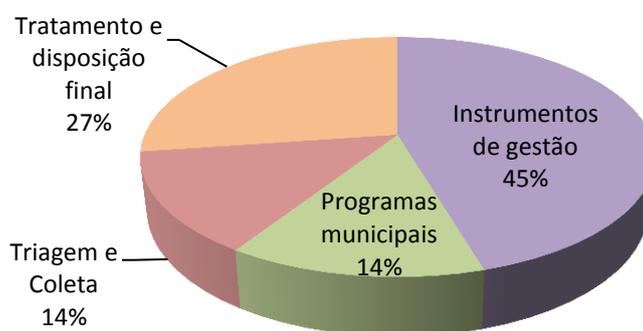
Em relação à sustentabilidade, conforme a Figura 41, a cidade de Recife obteve grau alto apenas em um grupo de indicadores analisado (Instrumentos de Gestão). Os grupos de Programas Municipais e Triagem e Coleta de RCD obtiveram um grau baixo de sustentabilidade.

¹⁹ Os dados referentes à pesagem dos resíduos coletados em Recife podem ser acessados em: <http://dados.recife.pe.gov.br/>

Figura 41 - Grau de sustentabilidade dos grupos de indicadores

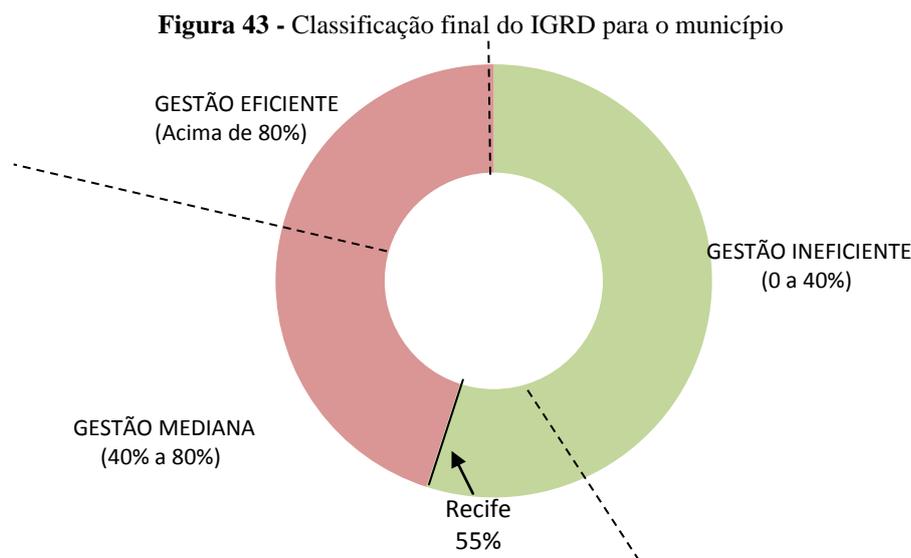
Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 42 apresenta a percentagem da pontuação de cada grupo em relação ao total de pontos obtidos.

Figura 42 - Percentual da pontuação obtida por cada grupo de indicador

Fonte: Elaborado pelo autor

Para obtenção do IGRCD, grau final de sustentabilidade, somaram-se os índices de sustentabilidade de todos os grupos de indicadores. A cidade do Recife obteve 22 pontos, dos 40 pontos possíveis (55%), classificando-o com uma Gestão Mediana (Figura 43).



Fonte: Elaborado pelo autor

Neste sentido, considera-se adequada a classificação de “Gestão Mediana” para a cidade do Recife, pois ao comparar a gestão atual desta cidade com outros municípios brasileiros, abordados no referencial teórico, destaca-se que a cidade possui ecoestações implementadas, ainda que em quantidade insuficiente, porém bem estruturada, e um monitoramento adequado do registro da destinação final dos resíduos, que são divulgados ao público no site da EMLURB, bem como o cadastro e acompanhamento de transportadores e empresas de destinação final, o que não ocorre na maioria dos municípios.

Porém, ressalta-se a necessidade de uma série de mudanças na gestão atual para que seja alcançada uma gestão eficiente, em especial ações voltadas à fiscalização das obras, incentivo à implementação da logística reversa e estruturação de Áreas de Transbordo e Triagem de Resíduos (ATT).

4.2 MAPEAMENTO DOS PONTOS DE DEPOSIÇÃO IRREGULAR DE RCD

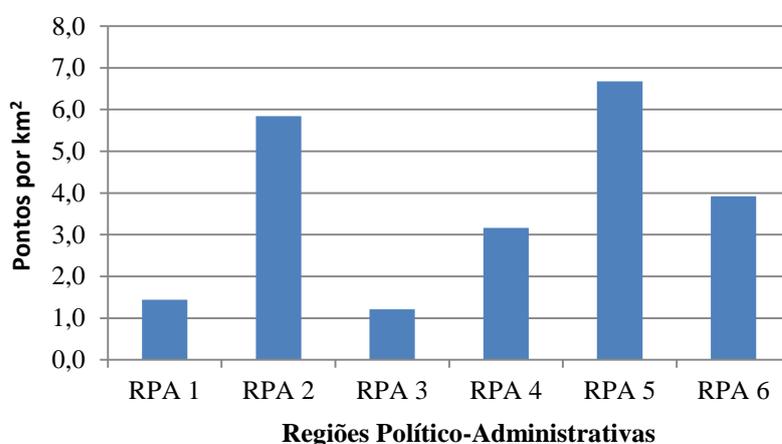
A Tabela 32 apresenta a quantidade de pontos de deposição irregular de RCD cadastrados na cidade do Recife, divididos por Região Político-Administrativa (RPA), e a Figura 44 apresenta a quantidade de pontos levantados por km² de cada RPA.

Tabela 32 - Quantidade de pontos de deposição irregular de RCD mapeados na cidade do Recife/PE

Região	População (hab) 2010 ¹	Área urbanizada (km ²)	Pontos de deposição irregular
RPA 1	78.114	11,0	24
RPA 2	221.234	13,9	84
RPA 3	289.014	23,5	92
RPA 4	278.947	23,2	131
RPA 5	263.778	19,1	116
RPA 6	382.650	29,9	118
Total	1.513.737	120,6	565

¹ Censo do IBGE (2010)

Fonte: Elaborado pelo autor

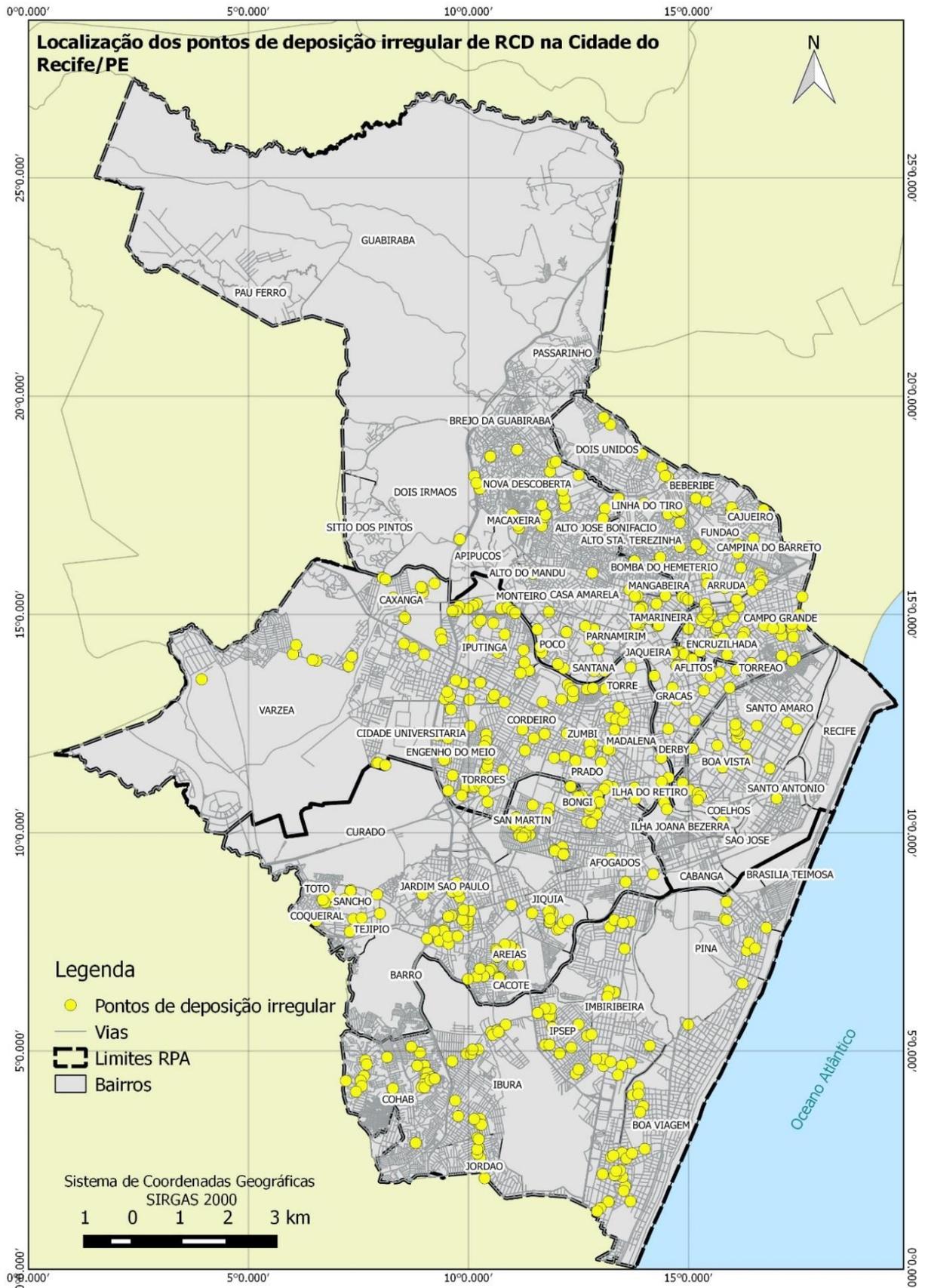
Figura 44 - Quantidade de pontos de deposição irregular de RCD por km² nas RPA de Recife

Fonte: Elaborado pelo autor

No total foram cadastrados 565 pontos de deposição irregular na cidade do Recife, espalhados pelas 6 RPA. A amostra da quantidade mínima de pontos de deposição irregular de RCD em Recife calculado por Albuquerque (2015) foi de 184 pontos, considerando uma margem de erro de 10%, enquanto que a quantidade mínima de pontos para uma margem de erro de 5% foi de 345 pontos, demonstrando que a quantidade mapeada nesta pesquisa é significativa.

A partir da planilha eletrônica elaborada contendo a tabulação dos dados, os pontos de deposição de RCD foram inseridos no QGIS (Figura 45), criando-se uma tabela de atributos (Figura 46), e gerando uma camada do tipo *shapefile* (arquivo vetorial), com todas as informações relacionadas ao local onde o ponto se localizava.

Figura 45 - Localização dos pontos de deposição irregular de RCD em Recife/PE



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 46 - Tabela de atributos contendo as informações dos pontos de deposição irregular de RCD em Recife

	Código	X	Y	Bairro	RPA	Calçada	Construção
0	PC1	291485.22999...	9111579.0199...	Encruzilhada	2 x	x	x
1	PC2	291730.14000...	9111760.3399...	Hipódromo	2	NULL	x
2	PC3	292040.21999...	9112491.3599...	Arruda	2 x		NULL
3	PC4	291293.54999...	9112715.7899...	Agua Fria	2 x	x	x
4	PC5	291394.44000...	9112929.1799...	Agua Fria	2 x	x	x
5	PC6	291803.07000...	9114073.2400...	Porto da Mad...	2 x	x	x
6	PC7	291815.32000...	9114166.2100...	Porto da Mad...	2 x		NULL
7	PC8	291362.96999...	9114613.3300...	Beberibe	2 x		x
8	PC9	290470.50000...	9114813.2899...	Dois Unidos	2 x	x	x
9	PC10	290344.84999...	9115017.3499...	Dois Unidos	2 x	x	x
10	PC11	289927.33000...	9115295.5999...	Dois Unidos	2 x		x
11	PC12	289261.51000...	9115927.2100...	Dois Unidos	2 x	x	x
12	PC13	289120.44000...	9116079.1999...	Dois Unidos	2 x		x
13	PC14	290415.70000...	9114837.7100...	Dois Unidos	2 x		NULL
14	PC15	290597.70000...	9114655.2599...	Beberibe	2 x		NULL
15	PC16	289971.59999...	9114260.4600...	Linha do Tiro	2 x		NULL
16	PC17	289435.19000...	9114356.9700...	Linha do Tiro	2 x		x
17	PC18	289150.17999...	9114141.8300...	Alto Jos Bo...	3 x	x	x
18	PC19	289105.84999...	9113928.9100...	Alto Jos Bo...	3 x		x
19	PC20	288880.44000...	9112780.1400...	Casa Amarela	3 x		NULL

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir do levantamento das características socioeconômicas de cada RPA, apresenta-se na Tabela 33 a relação entre os pontos de deposição irregular identificados com a área de cada RPA, nº de habitantes, nº de domicílios particulares permanentes e renda média familiar.

Tabela 33 - Pontos de deposição irregular, e sua relação com as características socioeconômicas das RPAs

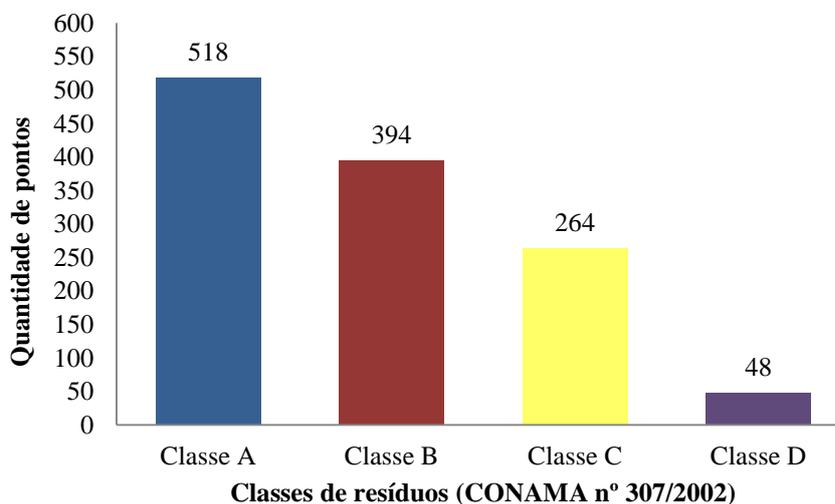
RPA	Área urbanizada (km ²)	Habitantes	Domicílios	Renda média (R\$)	Pontos críticos	Pontos/km ²	Domicílios/pontos
RPA 1	11,0	78.114	25.505	1.615	24	2,18	1063
RPA 2	13,9	221.234	64.943	1.791	84	6,04	773
RPA 3	23,5	292.454	88.928	3.518	92	3,91	967
RPA 4	23,2	278.947	86.566	1.651	131	5,65	661
RPA 5	19,1	263.778	78.407	1.106	116	6,07	676
RPA 6	29,9	382.650	120.484	1.643	118	3,95	1021
Total	120,6	1.517.177	464.833	-	565	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi encontrada uma maior concentração de pontos na RPA 5, com 6,07 pontos/km², e 116 pontos cadastrados, que possui bairros bastante populosos, como Afogados (36.265 habitantes), Barro (31.847 habitantes) e Jardim São Paulo (31.648 habitantes), estando entre os 15 bairros mais populosos do Recife, segundo o Censo de 2010 do IBGE. Os valores são considerados baixos, se comparados com a cidade de Delhi, na Índia, onde foram mapeados cerca de 500 pontos/km² de RSU, onde quase 70% da massa de resíduos são inertes (NAGPURE, 2019).

Realizou-se ainda uma análise dos tipos de materiais e classes de resíduos cadastrados, bem como o tamanho das pilhas de deposição irregular. A Figura 47 apresenta a quantidade de pontos contendo cada classe de RCD, de acordo com a Resolução CONAMA nº 307/2002.

Figura 47 - Quantidade de pontos referente a cada classe de RCD em Recife



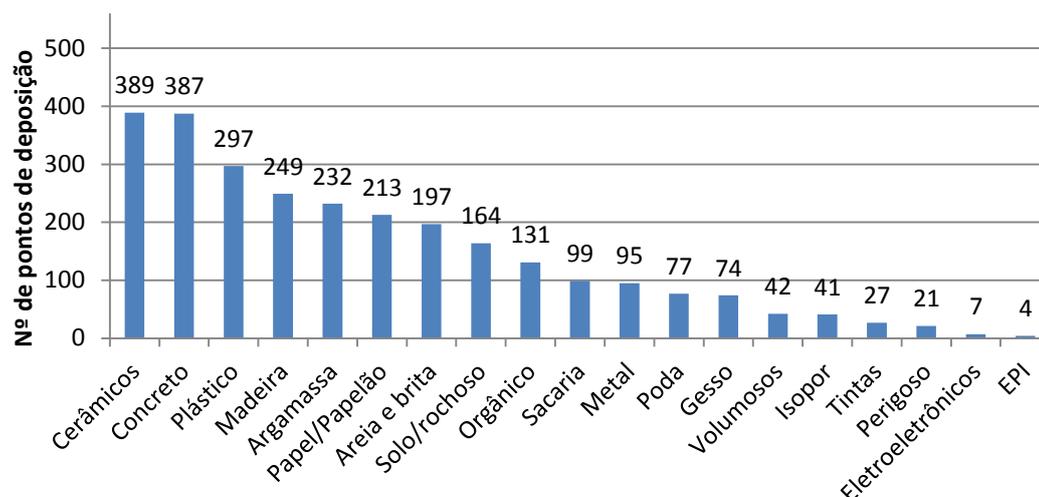
Fonte: Elaborado pelo autor

Verificou-se que 92% dos pontos de deposição irregular de resíduos possuem resíduos Classe A, como concreto, argamassa, tijolos, cerâmica, etc, o que corresponde ao fato de que cerca de 87% do volume de RCD gerado nas obras são Classe A (PAZ, 2014). Estes resíduos podem ser reciclados como agregados para serem reutilizados na construção civil.

Em relação aos resíduos Classe B, observou-se que 70% do total de pontos possuíam resíduos como madeira, metal, papel, papelão ou sacos de cimento, considerados resíduos recicláveis para outras destinações.

Além disso, foram encontrados em 47% dos pontos, resíduos considerados como não recicláveis. Neste caso, os materiais que estavam contaminados com outros tipos de resíduos, como os orgânicos, que inviabilizasse a reciclagem, foram considerados como Classe C. E em apenas 8% dos pontos foram encontrados resíduos classe D, como as tintas e solventes, por ter menor geração.

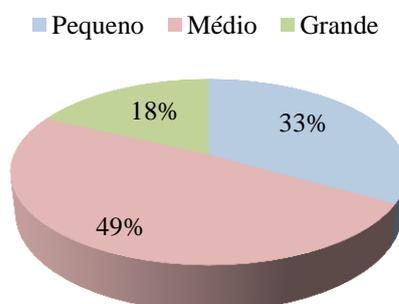
A Figura 48 apresenta os tipos de materiais encontrados nos pontos de RCD cadastrados em Recife.

Figura 48 - Quantidade de pontos de deposição irregular contendo cada tipo de material

Fonte: Elaborado pelo autor

Observou-se que os materiais cerâmicos são o tipo de material mais preponderante nos pontos de deposição irregular, com 69%, seguido do concreto (68%), plástico (53%), madeira (44%) e argamassa (41%).

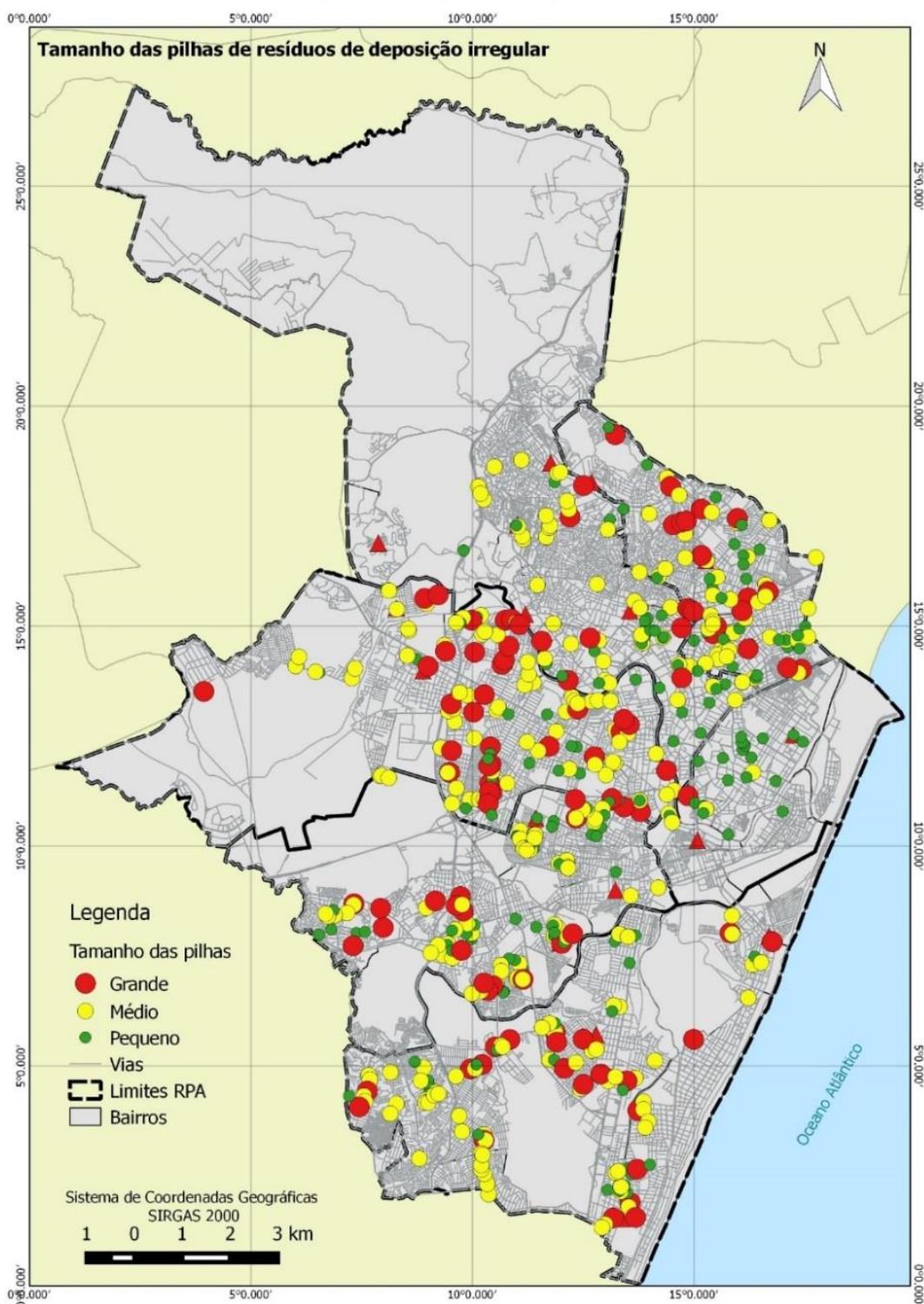
A Figura 49 apresenta o resultado da análise do porte dos pontos de deposição irregulares por observação direta. Foram considerados pontos de pequeno porte aqueles advindos de pequenos geradores, ou seja, que geram menos de 1 m³/dia de resíduos, conforme o decreto municipal nº 27.399/2013 (RECIFE, 2013b), sendo de responsabilidade da prefeitura a coleta. Os pontos de médio porte são aqueles que preenchem uma caçamba estacionária de 6 m³, enquanto que os pontos de grande porte são aqueles que precisam de mais de uma caçamba estacionária para serem coletados, sendo geralmente os pontos localizados em terrenos baldios.

Figura 49 - Porte dos pontos de deposição irregular

Fonte: Elaborado pelo autor

Verificou-se que metade dos pontos encontrados (276 pontos) é de médio porte, ou seja, passíveis de serem coletados por uma caçamba, enquanto que 101 pontos são considerados de grande porte, e são prioritários para serem coletados pela Prefeitura do Recife (Figura 50).

Figura 50 - Localização dos pontos de deposição irregular de RCD de acordo com o porte



Fonte: Elaborado pelo autor

Como a cidade do Recife ainda não possui uma estrutura adequada que favoreça o gerenciamento correto dos resíduos, como ATT, usinas de beneficiamento e aterros de inertes, muitos geradores (principalmente os pequenos geradores) utilizam o descarte irregular como solução mais simples e barata do que transportar os resíduos para uma destinação adequada (Figura 51).

Figura 51 - Pontos de deposição irregular cadastrados na cidade do Recife



Fonte: O autor (2018)

Observa-se que devido à falta de um programa de fiscalização efetiva das obras, muitos geradores acabam descartando os resíduos em terrenos baldios e margens de rios (Figura 52), como ocorre nos bairros de Porto da Madeira e Arruda, pertencentes à RPA 2.

Figura 52 - Deposição de RCD em terrenos baldios e margens de canais na RPA 2, em Recife



Fonte: O autor (2018)

Por outro lado, verificou-se também em áreas menos nobres pontos de deposição irregular proveniente de pequenos geradores, cujos resíduos vão se acumulando ao longo do tempo, pela inexistência de um mapeamento destes pontos, apesar do esforço em sensibilizar a população quanto à proibição do descarte incorreto dos RCD, conforme a Figura 53.

Figura 53 - Ponto de deposição irregular proveniente de pequenos geradores em local com placa de proibição de descarte de lixo



Fonte: O autor (2018)

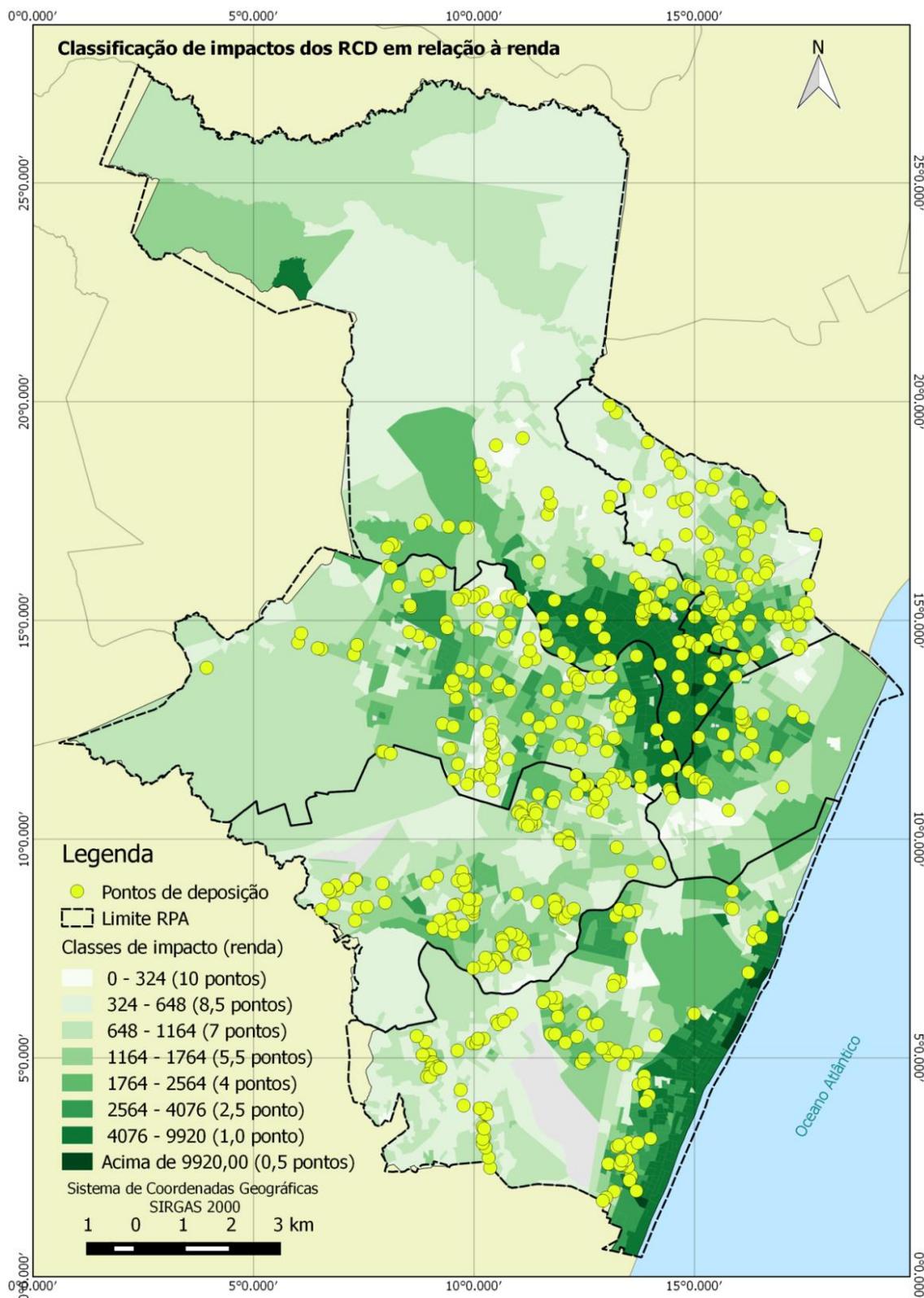
Observa-se nesses locais grande quantidade de resíduos mistos, principalmente resíduos orgânicos e poda, o que diferencia dos resíduos provenientes dos grandes geradores.

4.3 CLASSIFICAÇÃO DOS RISCOS AMBIENTAIS PROVENIENTES DA DEPOSIÇÃO DE RCD

A partir do cadastramento dos pontos, foram elaborados os mapas de riscos ambientais provenientes da deposição irregular de RCD na cidade do Recife, através da criação dos arquivos vetoriais de distância dos corpos hídricos, vegetação, aglomerados subnormais, renda, equipamentos de saúde e educação e praças/parques, com o auxílio do *software* QGIS.

A Figura 54 apresenta a localização dos pontos de deposição em relação à renda média familiar dos setores censitários de Recife. O *score* foi definido considerando que os riscos ambientais são maiores nas áreas de menor renda familiar, devido à dificuldade de acesso dos caminhões de coleta de RCD nessas áreas, e à maior susceptibilidade a vetores de doenças.

Figura 54 - Localização dos pontos de deposição em relação à renda média familiar dos setores censitários

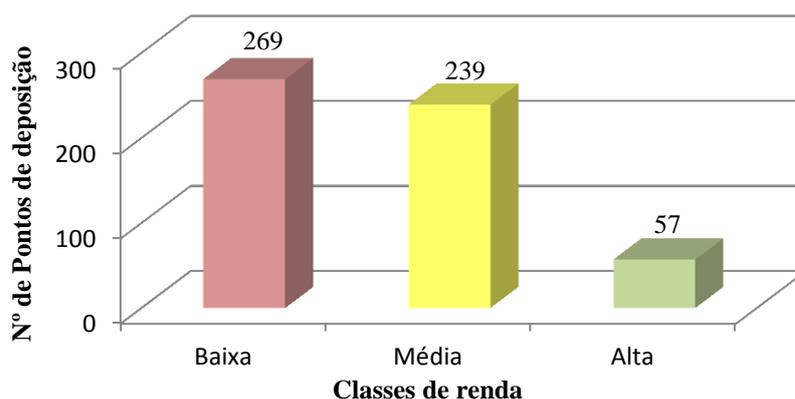


Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme pode ser visto na Figura 55, 48% dos pontos cadastrados se encontram no entorno das áreas com renda média familiar de classe baixa, ou seja, até R\$ 1.164,00 (US\$

312,47). Isso se deve ao fato de que a maior parte da deposição irregular são provenientes de pequenos geradores, localizadas em regiões menos nobres, onde há grandes quantidades de pequenas reformas e construções informais, que contribuem com a destinação inadequada dos RCD gerados.

Figura 55 - Quantidade de pontos de deposição irregular de acordo com a renda média familiar



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 56 apresenta o mapa de riscos ambientais relacionados aos demais critérios considerados, que são os aglomerados subnormais (cujo *score* foi maior nas áreas mais próximas a essas regiões), corpos d'água, vegetação, equipamentos urbanos, equipamentos de saúde, equipamentos de educação e parques e praças.

Após o cruzamento dos dados, realizado através das ferramentas de geoprocessamento, obteve-se o *score* de cada ponto de deposição em relação aos critérios ambientais utilizados. A Tabela 34 apresenta a quantidade de pontos de deposição irregular de RCD de acordo o *score* obtido em cada critério ambiental.

Figura 56 - Mapa de riscos ambientais: (a) aglomerados subnormais; (b) recursos hídricos; (c) vegetação; (d) equipamentos de saúde

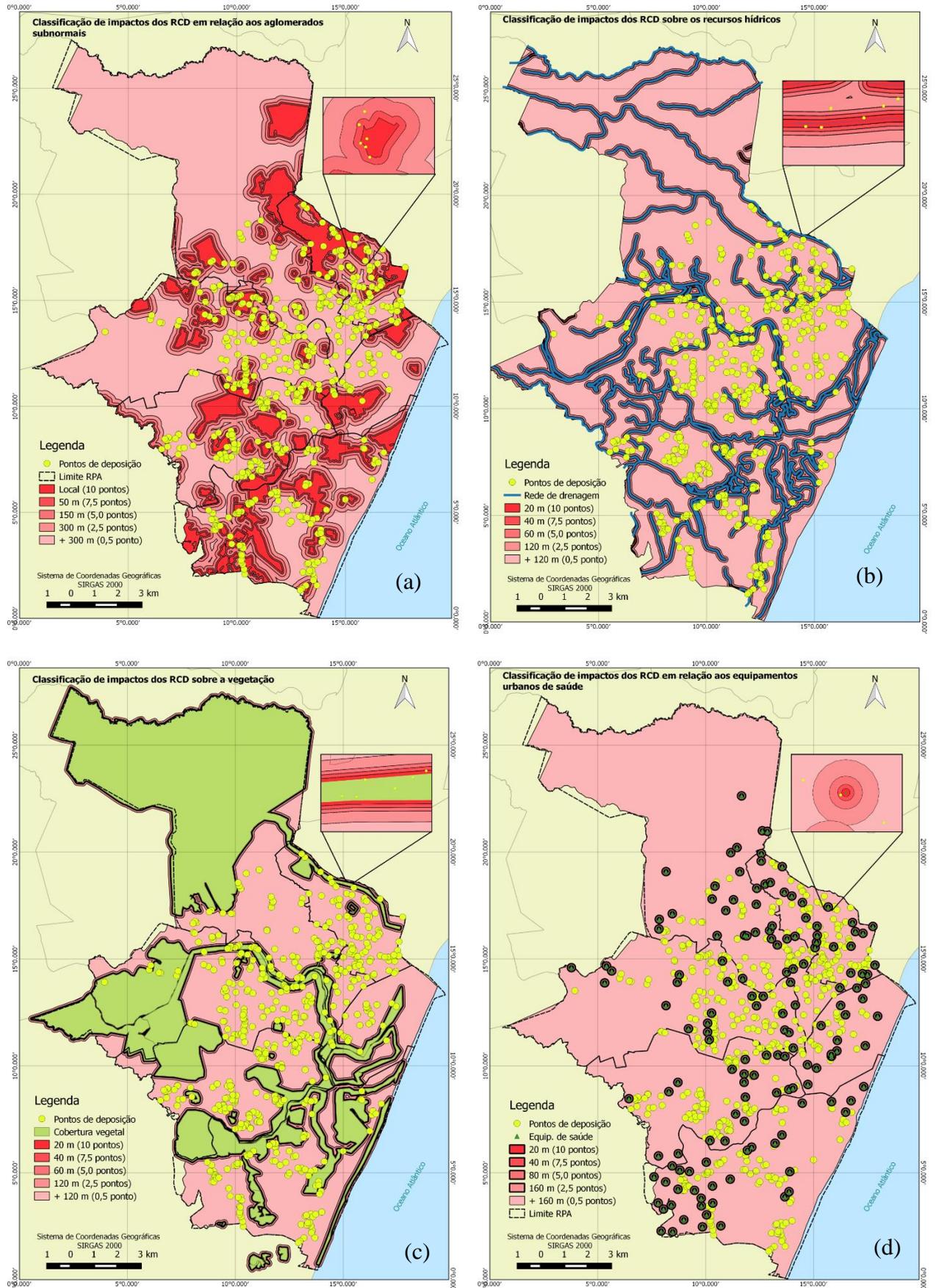
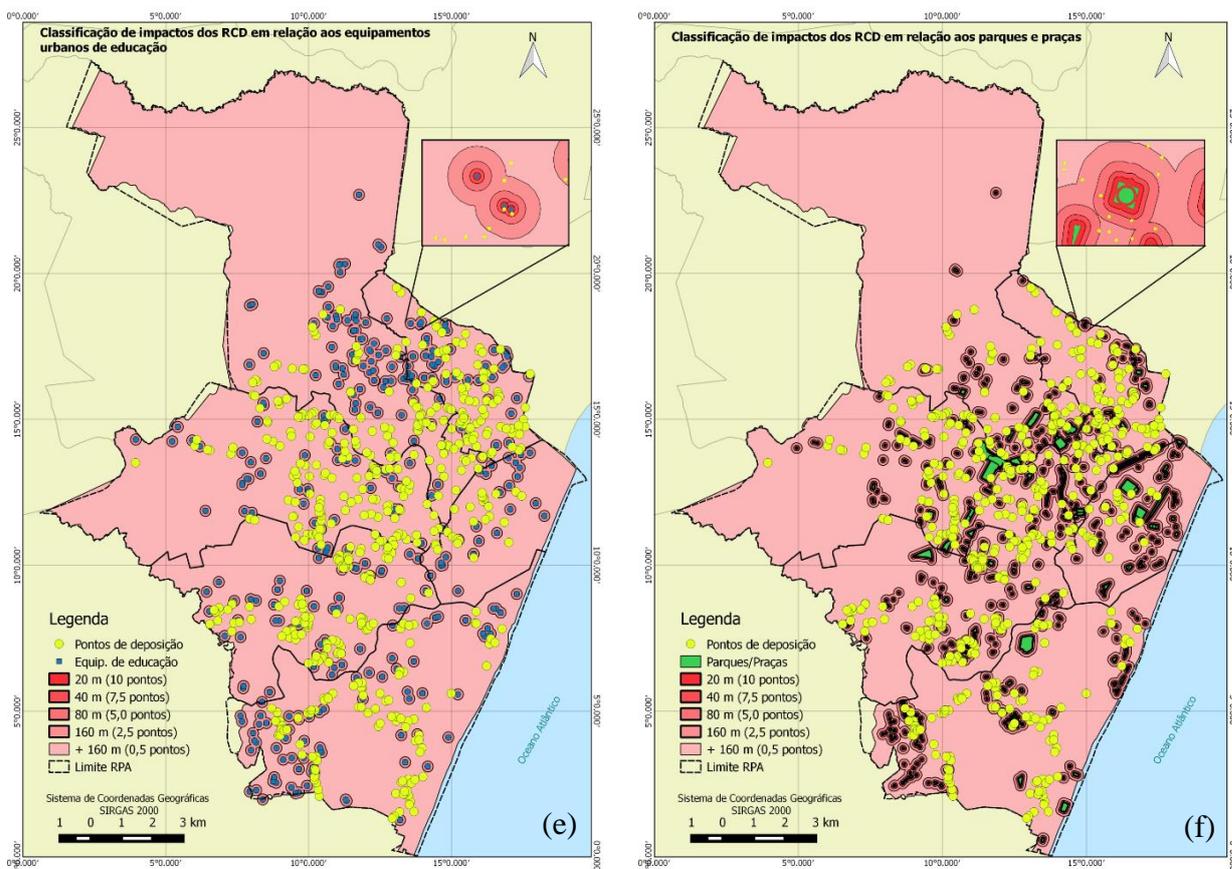


Figura 56 - Mapa de riscos ambientais (continuação): (e) equipamentos de educação; (f) parques e praças



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 34 - Quantidade de pontos de acordo com a pontuação obtida

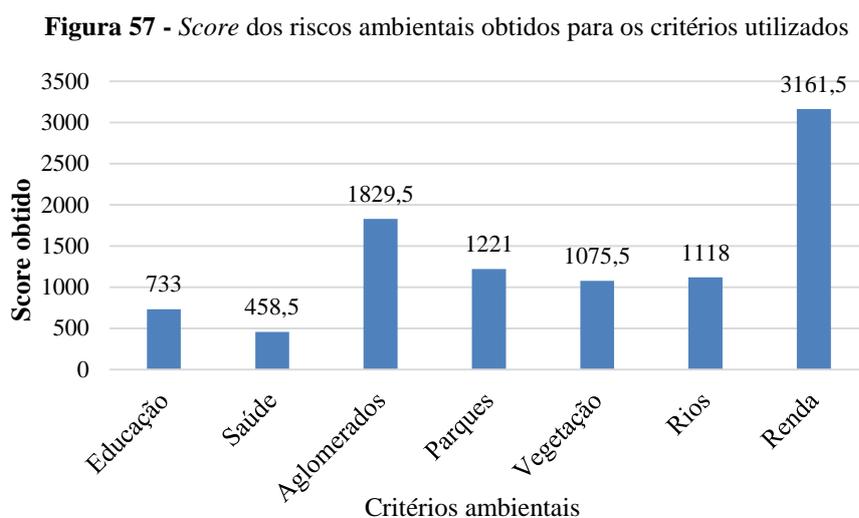
Score	Renda	Educação	Saúde	Agglomerados	Parque	Rios	Vegetação
10,0	2	1	0	63	40	51	69
8,5	113	-	-	-	-	-	-
7,5	-	9	5	57	24	21	7
7,0	155	-	-	-	-	-	-
5,5	106	-	-	-	-	-	-
5,0	-	32	10	79	49	20	9
4,0	87	-	-	-	-	-	-
2,5	46	117	48	97	85	57	24
1,0	57	-	-	-	-	-	-
0,5	0	406	502	269	367	416	456

Fonte: Elaborado pelo autor

Foi observado que o critério que apresentou a maior quantidade de pontos com risco ambiental muito alto foi o de vegetação (12% dos pontos), pelo fato de que muitos dos pontos estão localizados no entorno de áreas protegidas, especialmente as Áreas de Preservação Permanente (APP), seguido do critério de aglomerados subnormais, onde 11% dos pontos de deposição obtiveram o *score* 10,0.

A Figura 57 apresenta o somatório do *score* de riscos ambientais de cada critério. Observou-se que o critério de renda é o mais afetado pelos pontos de deposição irregular de RCD cadastrados na pesquisa, alcançando o *score* de 3161,5 pontos, devido ao fato de que 46% dos pontos de deposição estão localizados nos *scores* de baixa renda (7 a 10 pontos).

Por outro lado, os critérios de equipamentos urbanos de saúde e educação obtiveram o menor *score* de risco ambiental, pois a grande maioria dos pontos de deposição está localizada a mais de 160 metros desses equipamentos.

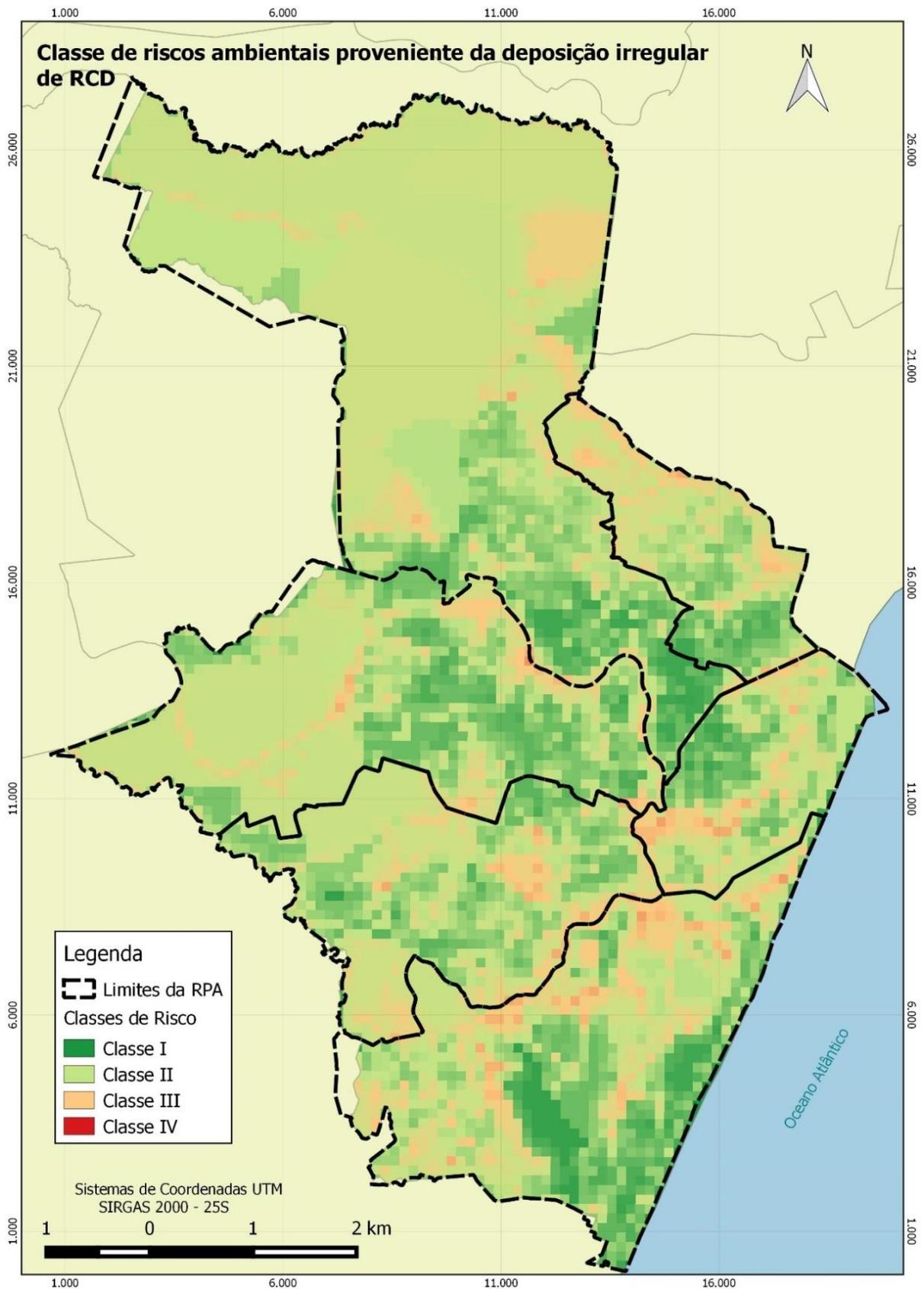


Fonte: Elaborado pelo autor

Como forma de identificar as áreas com maior risco ambiental, criou-se um arquivo *raster* com a classificação dos pixels da área urbana de Recife, de acordo com os *scores* de cada critério (Figura 58). Com esse arquivo, é possível identificar mais rapidamente o risco ambiental dos pontos de deposição irregular, que vierem a ser cadastrados posteriormente.

Observou-se que na RPA 6 há uma maior quantidade de áreas de risco ambiental alto, por possuir várias áreas de preservação em seu território, como o Parque dos Manguezais, e abranger áreas de renda média familiar muito baixa, como o bairro do Ibura. Por outro lado, a RPA 3 apresentou poucos locais com alto risco ambiental, por ser uma área mais nobre e com poucos cursos d'água.

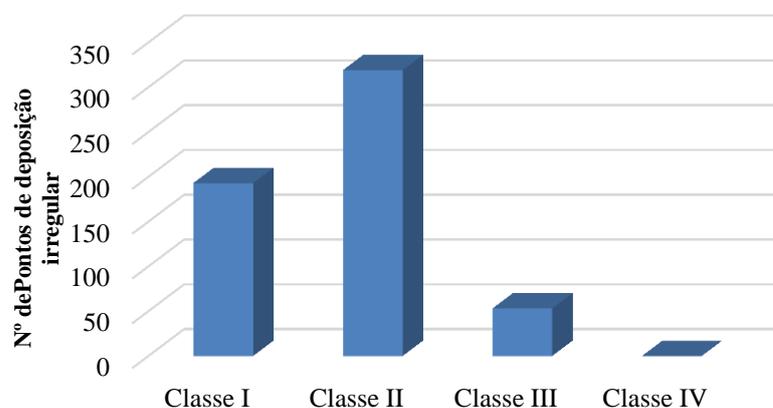
Figura 58 - Classificação da área urbana de Recife de acordo com os riscos ambientais



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 59 apresenta a classificação final de cada ponto de deposição irregular cadastrado em relação aos riscos ambientais, após o cálculo entre a distância e o porte de cada ponto.

Figura 59 - Classificação final dos pontos de deposição irregular de RCD em Recife



Fonte: Elaborado pelo autor

Verificou-se que 193 pontos (34,15%) são considerados como de Risco Baixo (Classe I). Por outro lado, 319 pontos (56,5%) são de Risco Médio (Classe II), 53 pontos (9,4%) são de Risco Alto (Classe III), e não foram encontrados pontos com Risco Muito Alto (Classe IV).

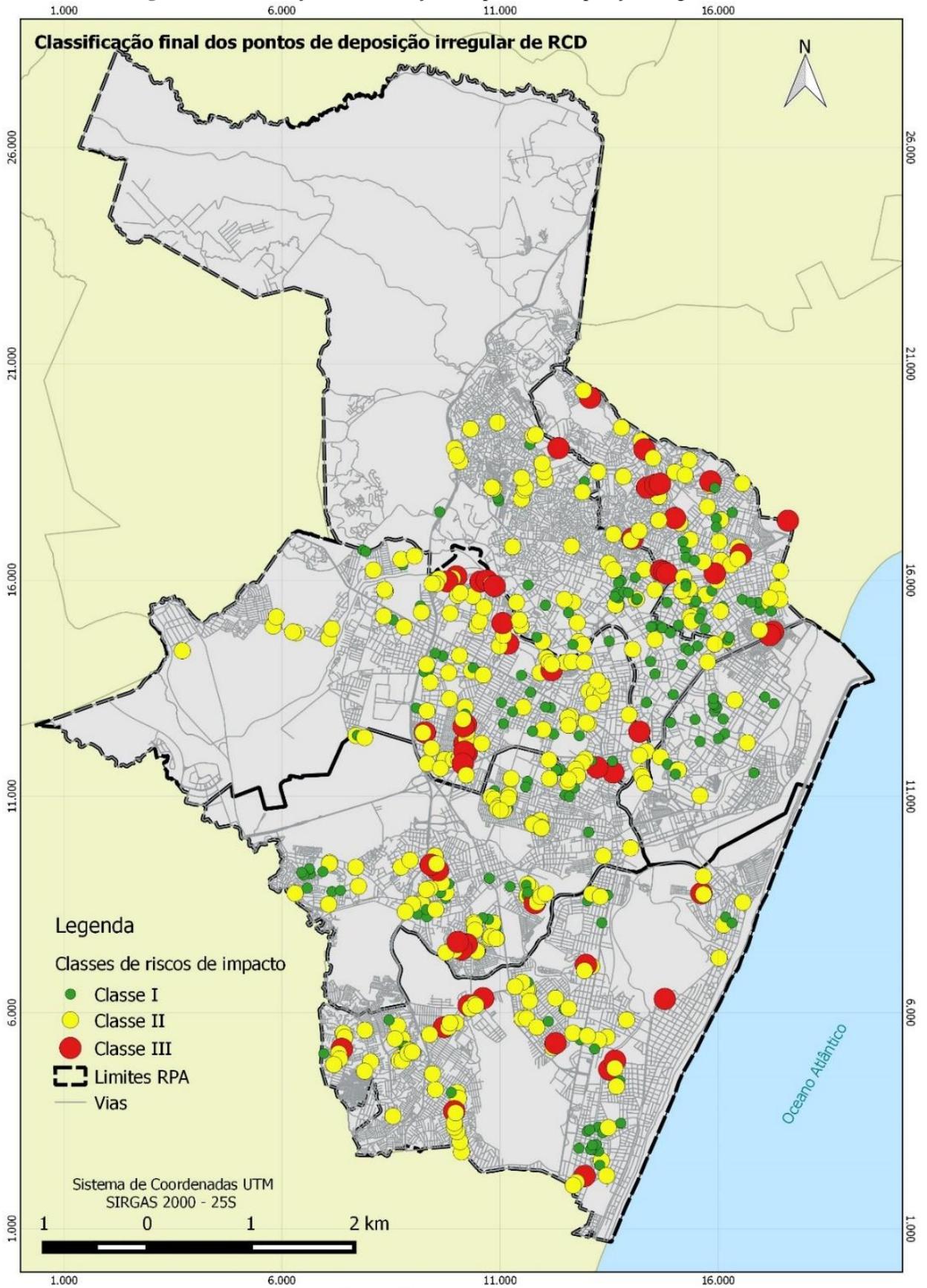
A localização dos pontos de deposição com sua classificação é apresentada na Figura 60. Observou-se que há uma maior predominância de pontos de Risco Alto nas RPA 2 (Norte) e RPA 4 (Oeste) (Tabela 35).

Tabela 35 - Classificação dos pontos de deposição irregular de acordo com as RPA

RPA	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Total
RPA 1	18	6	0	0	24
RPA 2	28	45	14	0	87
RPA 3	44	41	3	0	88
RPA 4	28	85	18	0	131
RPA 5	44	66	6	0	116
RPA 6	31	76	12	0	119
Total	193	319	53	0	565

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 60 - Localização e classificação dos pontos de deposição irregular de RCD



Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 INDICAÇÃO DE ÁREAS APTAS PARA RECEBIMENTO DE RCD

A seguir são apresentadas as propostas de instalação das URPV, ATT, aterros de inertes e/ou usinas para a cidade do Recife, por meio de análise espacial dos dados.

4.4.1 Instalação de URPVs na cidade do Recife

A partir dos resultados obtidos com o mapeamento da deposição irregular, foram utilizadas as ferramentas do *software* QGIS na proposição de áreas para instalação de URPVs em Recife, considerando-se os critérios de quantidade de pontos cadastrados, dimensão das áreas urbanas, e disponibilidade de terreno para a construção (LAFAYETTE, 2016).

A cidade do Recife possui atualmente 8 ecoestações instaladas em pontos estratégicos da cidade (Figura 61), onde são recebidos resíduos da construção, resíduos recicláveis, resíduos orgânicos e volumosos. O modelo atual utilizado pela Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana (EMLURB) da cidade do Recife foi implantado a partir da promulgação do Decreto Municipal nº 27.399/2013²⁰, cuja estrutura está de acordo com o recomendado pela NBR 15.112/2004 (ABNT, 2004b).

Figura 61 - Modelo de ecoestação utilizada em Recife



Fonte: Arruda (2015)

De acordo o Decreto nº 27.399/2013:

“As Ecoestações ocuparão áreas públicas ou viabilizadas pela administração pública, preferencialmente aquelas já degradadas por descarte irregular, ou previamente utilizadas com atividades correlatas, segundo diretrizes estabelecidas pela Secretaria de Infra Estrutura e Serviços Urbanos, observada a legislação de uso e ocupação do solo e de acordo com adequado planejamento e sustentabilidade técnica, ambiental e econômica”.

²⁰ Decreto nº 27.399 de 27 de setembro de 2013: Regulamenta as unidades de recebimento de Resíduos Sólidos oriundos de pequenos geradores, no âmbito do Município do Recife.

Quanto à infraestrutura mínima para funcionamento das ecoestações em Recife, necessita-se de:

I - localização facilitadora: área com visibilidade garantida, de fácil acesso e que permita a operação de manobra para a carga e descarga dos resíduos;

II - isolamento: cercamento da área em operação, na totalidade de seu perímetro, definido de modo a impedir o acesso de animais e pessoas estranhas à atividade;

III - recepção diferenciada: portão para o controle de acesso ao local, com guarita de vigilância;

IV - área administrativa: edificação em alvenaria de, no mínimo, 15m², dotada de salas de escritório, almoxarifado e WC's;

V - área de armazenamento: área com identificação do local de deposição dos resíduos a serem recebidos e estocados até seu transporte ao destino adequado;

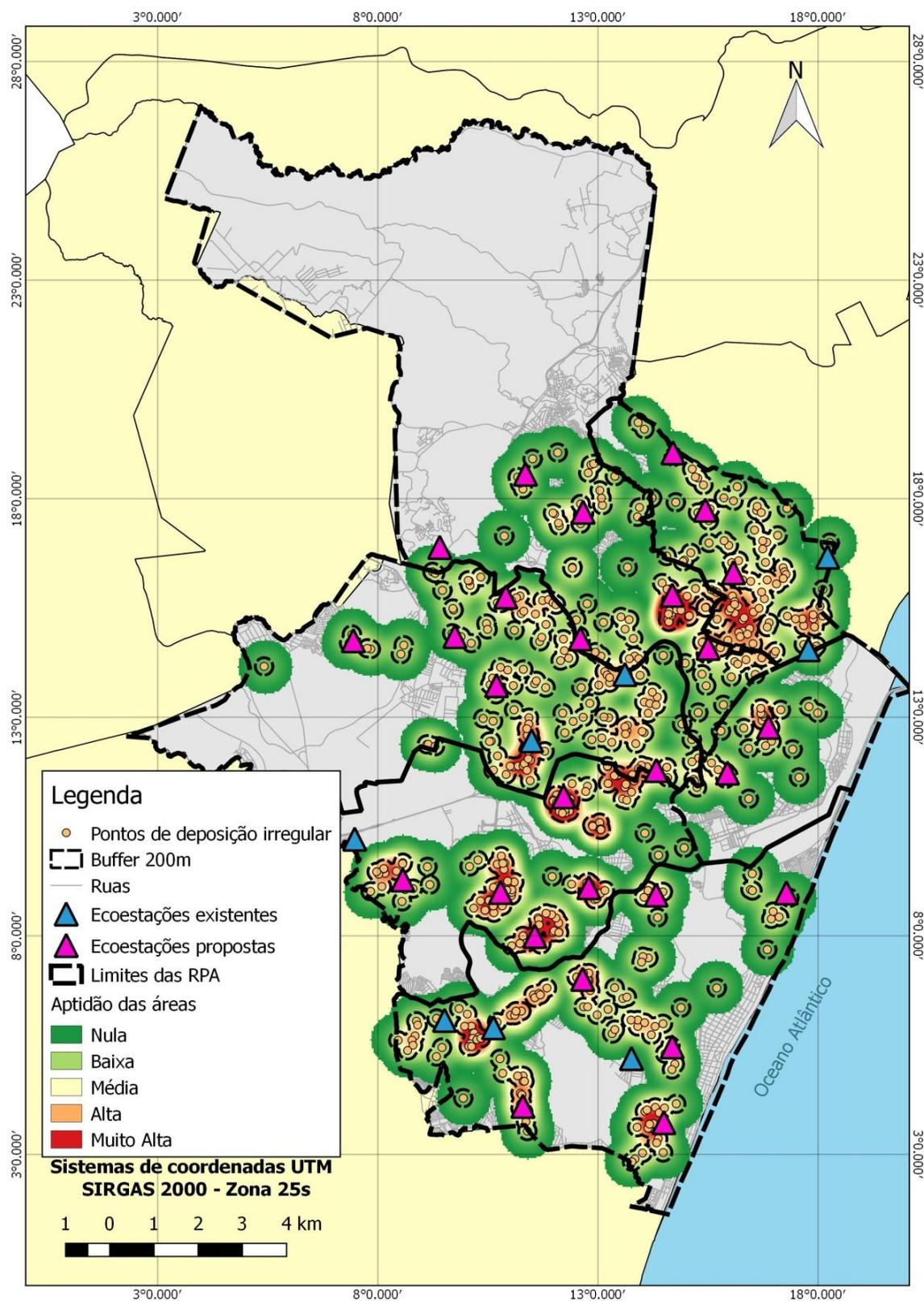
VI - equipamentos e obras civis específicas: equipamentos implantados de modo a facilitar o recebimento de cada um dos tipos de resíduos a serem tratados;

VII - pátio de manobra e estocagem de resíduos: pátio com piso em material que permita um sistema de drenagem adequado à situação.

A partir do cálculo da quantidade mínima de ecoestações pelo método de Scremin (2007), verificou-se a necessidade de uma rede de no mínimo 20 ecoestações em Recife, para que haja uma gestão adequada dos RCD proveniente dos pequenos geradores.

Como existem atualmente apenas oito ecoestações em Recife, foram propostos novos locais adequados para instalação das URPV, considerando-se dois critérios: o de proximidade dos pontos de deposição irregular (200 m), e o de concentração dos pontos, onde foi utilizada a densidade de Kernel (Figura 62).

Figura 62 - Aptidão das áreas de acordo com a concentração dos pontos de deposição irregular



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao todo foram propostas 20 novas ecoestações espalhadas pelas RPAs de Recife, totalizando uma rede de 28 ecoestações. A Tabela 36 apresenta a quantidade mínima de

ecoestações necessárias de acordo com o método de Scremin (2007), e a quantidade proposta nesta pesquisa, considerando-se o raio de abrangência de 1,5 km.

Tabela 36 - Quantidade de ecoestações propostas no município estudado

Municípios	Nº de ecoestações (SCREMIN, 2007)	Nº de ecoestações existentes	Nº de ecoestações propostas
RPA 1	2	0	2
RPA 2	2	2	2
RPA 3	4	0	5
RPA 4	4	2	4
RPA 5	3	1	4
RPA 6	5	3	3
Total	20	8	20

Fonte: Elaborado pelo autor

Observou-se, portanto, que a quantidade de ecoestações proposta nesta pesquisa se encontra além do proposto pelo método de Scremin (2007). Essa quantidade foi definida de acordo com a dinâmica da deposição irregular dos pontos em cada RPA. A Figura 63 apresenta como exemplo o terreno escolhido para instalação da Ecoestação Caxangá, localizado na RPA 4, por ser um ponto consolidado, já utilizado pela comunidade do entorno para deposição de entulho da construção civil.

Figura 63 - Terreno proposto para instalação da URPV no bairro da Caxangá

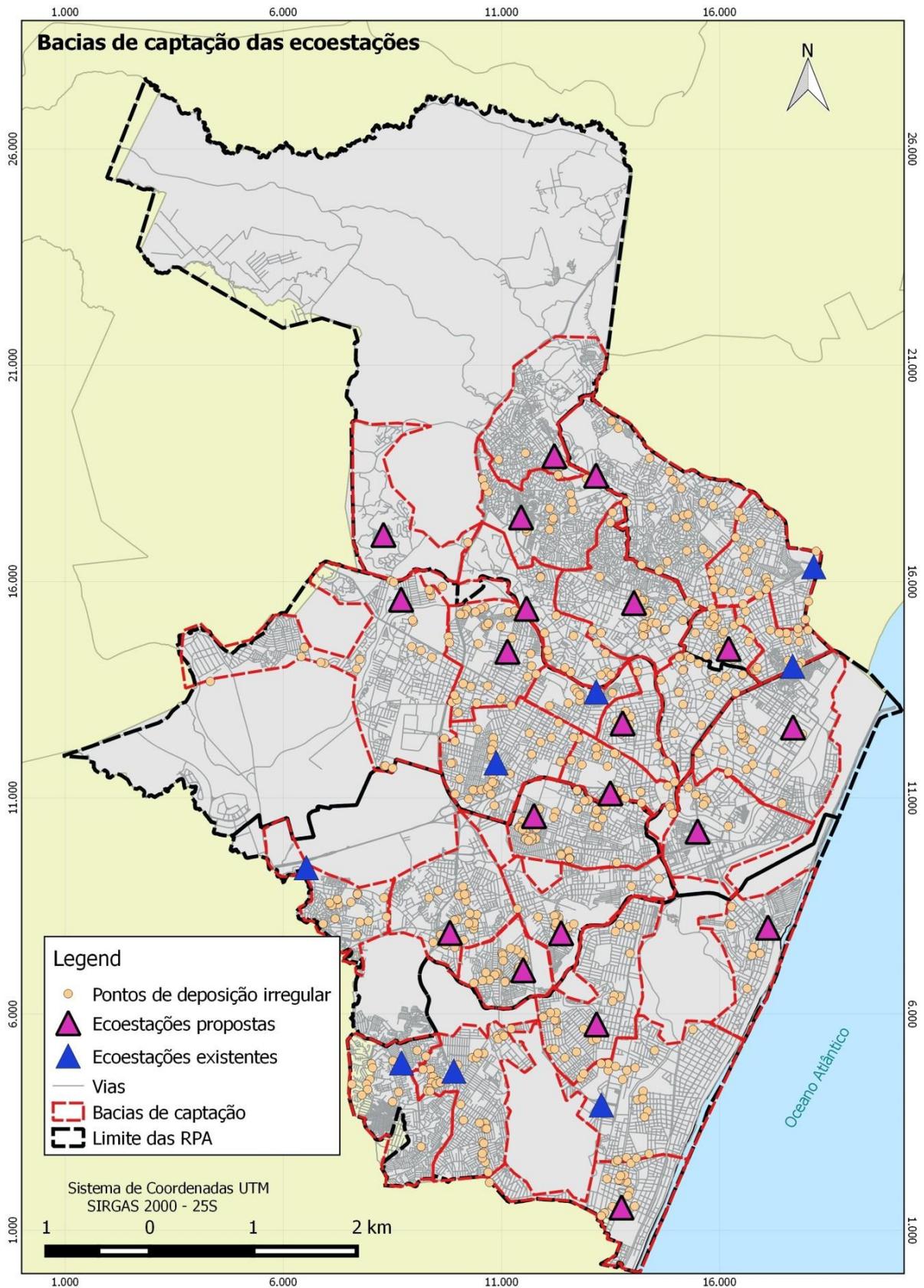


Fonte: O autor (2018)

A partir da escolha dos locais para implantação das URPV, foram delimitadas as bacias de captação de cada ecoestação, considerando-se um raio de 1,5 km do local de entrega dos resíduos (Figura 64). A delimitação ocorreu de acordo com a topografia da região e a quantidade de domicílios abrangidos pela bacia de captação.

Após coletados, os resíduos provenientes das ecoestações têm como destino a reciclagem (no caso de resíduos de papel, papelão, madeira, metal), ou o envio para aterro sanitário (orgânicos, RCD e volumosos), localizado em Jaboatão dos Guararapes/PE.

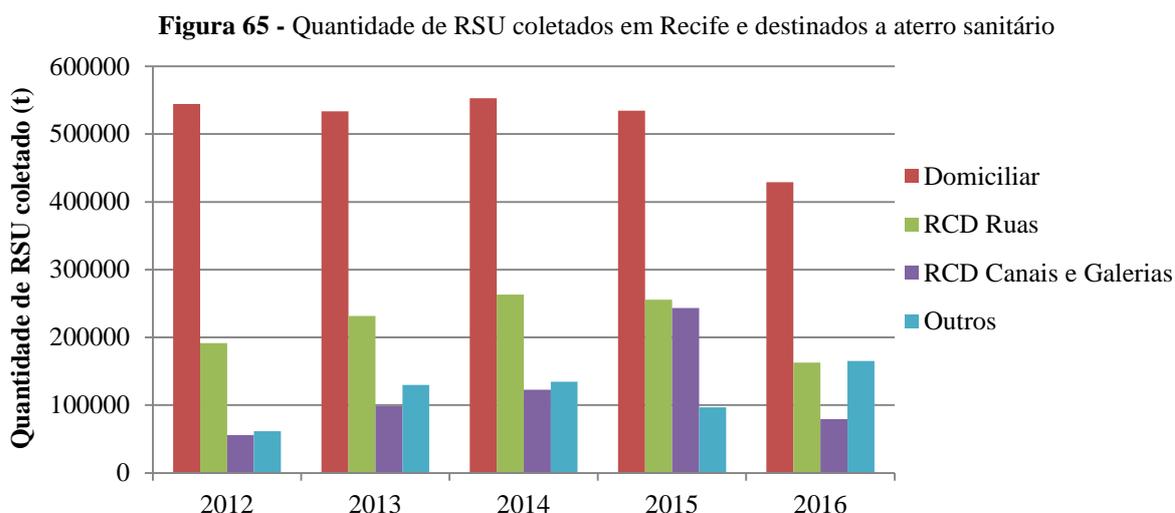
Figura 64 - Bacias de captação das ecoestações da cidade do Recife



Fonte: Elaborado pelo autor

A determinação da área necessária para as ecoestações depende da quantidade de resíduos a ser recebida em cada bacia de captação. Para isso, foi necessário realizar um levantamento da geração de RCD em Recife. Como não é possível identificar a geração total de RCD dos pequenos geradores, realizou-se um levantamento da quantidade de resíduos coletados em Recife para dimensionamento das ecoestações.

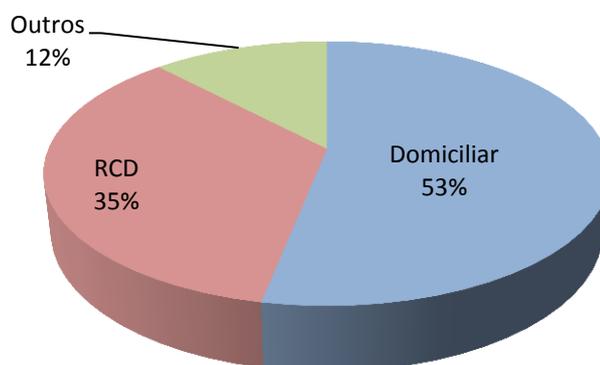
A Figura 65 apresenta a quantidade de RSU destinados ao aterro sanitário de Jaboatão dos Guararapes nos últimos anos (2012 a 2016), de acordo com dados da EMLURB.



Fonte: Dados abertos Recife (2017)

Observou-se que a quantidade média de RSU coletada é de 2679 t/dia, sendo que em média 934 t/dia são RCD proveniente das ecoestações e deposições irregulares (RCD Ruas), correspondendo a 35% dos resíduos coletados, conforme a Figura 66.

Figura 66 - Composição dos resíduos coletados na cidade do Recife (EMLURB)



Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando-se a população nos referidos anos, obteve-se uma média de coleta de RCD de 0,59 kg/hab/dia, próximo ao valor obtido para as cidades de Criciúma/SC de 0,58 kg/hab/dia (CARDOSO, 2011), Batatais/SP de 0,50 kg/hab/dia (FREITAS, 2009) e Lagarto/SE de 0,50 kg/hab/dia (PRATA, 2013).

A Tabela 37 apresenta a área construída para as ecoestações existentes e a área disponível para as ecoestações propostas, bem como a quantidade de RCD passível de ser recebida, obtida a partir dos dados fornecidos pelo IBGE e EMLURB.

Tabela 37 - Área construída e disponível das Ecoestações (EE)

Ecoestações	RPA	Área construída (m ²) EE existente	Área disponível (m ²) EE proposta	População (habitantes)	Estimativa de deposição irregular (t/dia)
Joana Bezerra	1	-	820,00	15.216	9,0
Santo Amaro	1	-	2.088,00	18.173	10,7
Campo Grande	2	1.047,00	-	24.704	14,6
Arruda	2	783,00	-	56.295	33,2
Dois Unidos	2	-	-	124.265	73,3
Monteiro	3	-	2646,00	20.081	11,8
Casa Amarela	3	-	1.127,00	18.567	11,0
Brejo do Beberibe	3	-	-	54.640	32,2
Macaxeira	3	-	-	85.013	50,2
Sítio dos Pintos	3	-	-	10.472	6,2
Encruzilhada	3	-	1.230,00	17.215	10,2
Prado	4	-	-	20.235	11,9
Torre	4	726,00	-	24.709	14,6
Madalena	4	-	-	19.674	11,6
Iputinga	4	-	170,00	19.299	11,4
Torrões	4	293,00	-	73.106	43,1
Caxangá	4	-	-	19.503	11,5
Afogados	5	-	-	24.635	14,5
Jiquiá	5	-	-	23.979	14,1
Barro	5	-	-	21.678	12,8
Totó	5	386,00	-	22.086	13,0
San Martin	5	-	560,00	71.728	42,3
COHAB	6	282,00	-	63.211	37,3
Ibura	6	564,00	-	68.545	40,4
IPSEP	6	-	-	22.525	13,3
Imbiribeira	6	534,00	-	100.304	59,2
Boa Viagem	6	-	-	40.289	23,8
Pina	6	-	768,00	53.326	31,5

Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando-se a capacidade atual das ecoestações existentes de 40,8 t/dia²¹ de RCD, a estrutura das ecoestações propostas deverá ser semelhante às existentes, visto que a quantidade de RCD abrangida nas bacias de captação é suficiente para um acondicionamento e coleta adequados dos resíduos.

²¹ A capacidade das ecoestações considerada pela prefeitura de Recife é de 30 m³/dia. A conversão para toneladas foi realizada utilizando-se a massa unitária média de 1,34 t/m³ (FALCÃO, 2011).

A média de área construída das URPV de Recife é de 576 m², bem superior à média de área construída das URPV de Guarulhos/SP, que é de 75,3 m² (AMORIM, 2016).

Com a proposta apresentada, o índice de ecoestações por km² sobe de 0,066 (próximo ao índice da cidade de Campinas/SP e São Paulo/SP) para 0,233, maior que o índice atual das cidades de Belo Horizonte, Fortaleza e Florianópolis²².

Segundo dados divulgados pela Prefeitura do Recife (PCR, 2018), o custo de implantação de cada ecoestação é de R\$ 500.000,00 (US\$ 134.200,00²³), enquanto que o custo de manutenção é de R\$ 50.000,00/mês (US\$ 13.422,00). A instalação gradual das ecoestações favorecerá a redução do custo atual de coleta de resíduos na cidade que, na última licitação, realizada em 2015, o valor do contrato foi de R\$ 980 milhões (US\$ 263 milhões), com duração de 5 anos.

4.4.2 Instalação de ATTs na cidade do Recife

Para definição da quantidade necessária e locais de instalação das ATT em Recife referente aos grandes geradores, foram mapeadas 94 obras atualmente em execução na cidade. As maiores concentrações de obras estão localizadas nas Zonas Norte (RPA 3) e Sul (RPA 6) (Tabela 38), correspondendo a 67% do total de obras em execução na cidade. Verificou-se, portanto, a necessidade de instalação de duas ATT para recebimento de RCD nas duas maiores concentrações de obras.

Tabela 38 - Quantidade de obras em cada RPA de Recife

Região Político-Administrativa	Obras	Área urbanizada (km ²)
RPA 1	4	11,0
RPA 2	10	13,9
RPA 3	24	23,5
RPA 4	17	23,2
RPA 5	0	19,1
RPA 6	39	29,9
Total	94	120,6

Fonte: Elaborado pelo autor

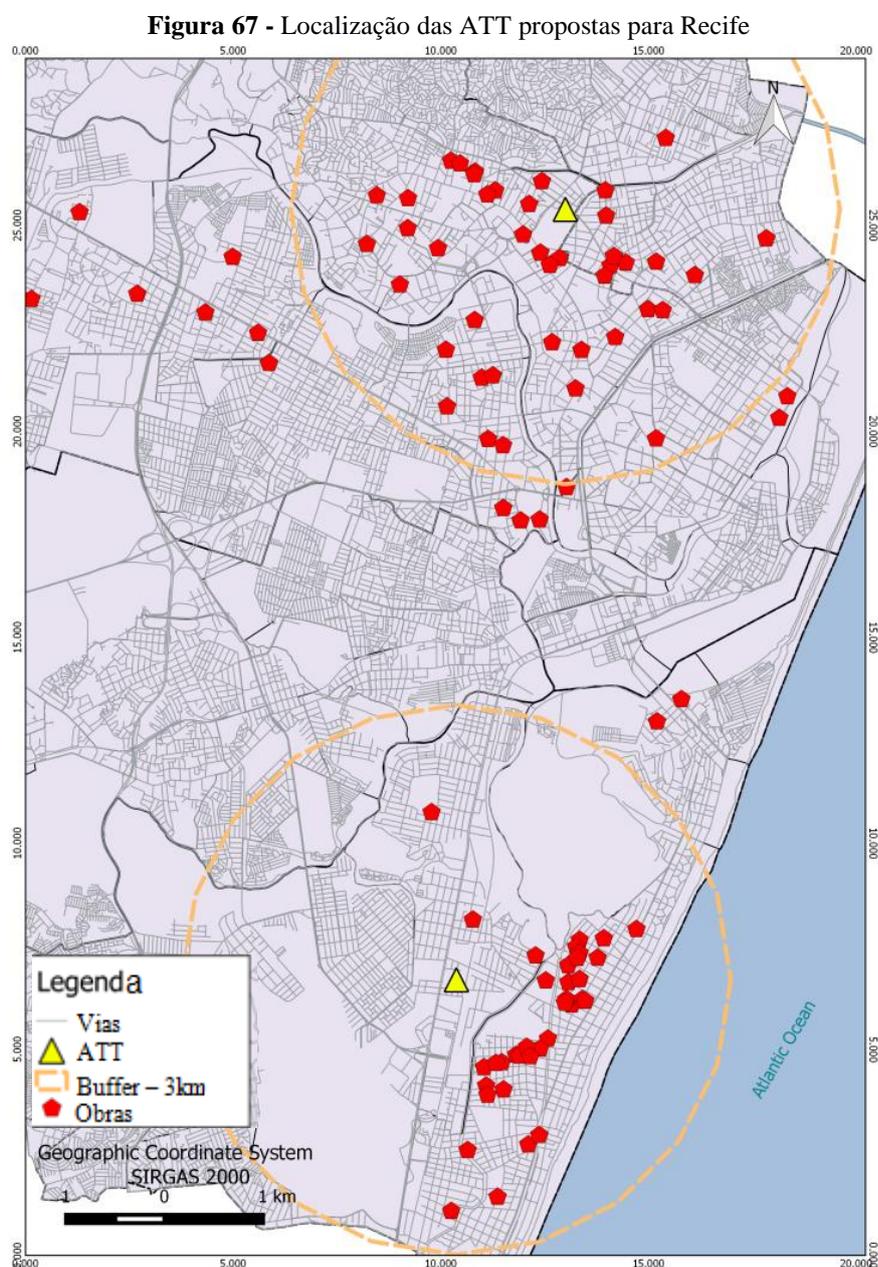
A Figura 67 apresenta a localização das ATT propostas para Recife. De acordo com o Plano Diretor da cidade²⁴, ambas se encontram na Zona de Ambiente Construído de Ocupação Controlada, “caracterizada pela ocupação intensiva, pelo comprometimento da infraestrutura existente, objetivando controlar o seu adensamento” (RECIFE, 2008). Considerou-se ainda a

²² Vide Tabela 7 da página 50.

²³ Cotação do Dólar (15/02/2019) = R\$ 3,72.

²⁴ Conforme estabelece o Art. 96, Inciso II da Lei nº 17.511/2008, que “promove a revisão do Plano Diretor do Município do Recife”.

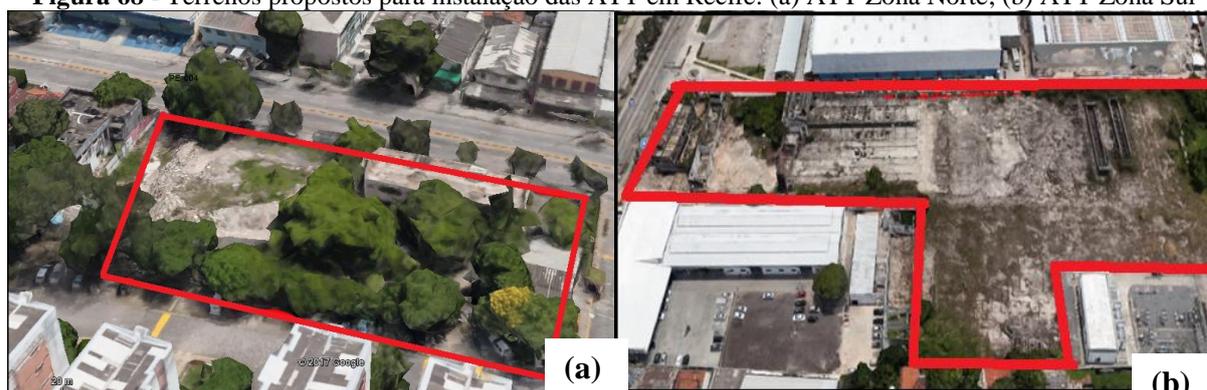
localização em vias arteriais principais, para facilitar o fluxo dos veículos transportadores de RCD²⁵.



Fonte: Elaborado pelo autor

O local proposto para a instalação da ATT Zona Norte possui uma área de 3.900 m², localizada em um conjunto de terrenos abandonados da Avenida Norte, com uma grande quantidade de RCD descartada ilegalmente. A ATT Zona Sul teve sua área definida em um lote de 20.000 m², localizada na Av. Mascarenhas de Moraes, próxima às obras da beira-mar da cidade (Figura 68).

²⁵ Conforme estabelece o Art. 76, Inciso I da Lei nº 17.511/2008.

Figura 68 - Terrenos propostos para instalação das ATT em Recife: (a) ATT Zona Norte; (b) ATT Zona Sul

Para analisar a quantidade de RCD que poderia ser enviada para as ATT, definiu-se um *buffer* de 3 km como sendo a bacia de captação. As duas áreas têm capacidade de receber RCD de pelo menos 84% das obras em andamento, localizadas dentro da área de captação. A estimativa da geração de RCD das obras é apresentada na Tabela 39.

Tabela 39 - Quantidade de obras em cada zona do Recife e estimativa da geração de RCD

ATT	Obras	Estimativa da geração diária de RCD (m ³ /dia)	Área mínima necessária (m ²)
Zona Norte	42	42,02	1.000
Zona Sul	37	38,90	1.000
Total	79	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor

A quantidade estimada de geração diária de RCD nas bacias de captação das ATT não ultrapassa 50 m³/dia, de modo que a área mínima necessária seria de 1.000 m², suficiente para realizar a triagem e acondicionamento de forma adequada.

4.4.3 Instalação de Aterros de inertes e Usinas de beneficiamento de RCD

Para a localização das áreas adequadas para instalação de aterros de inertes e usinas de beneficiamento, foi realizada a construção da matriz paritária dos critérios ambientais, conforme o Quadro 39.

Quadro 39 - Comparação dos critérios aos pares

Crítérios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Recursos Hídricos (C1)	1	1/9	1/7	3	1/3	1/5	1/5
Pedologia (C2)	9	1	2	9	8	5	5
Vias de acesso (C3)	7	1/2	1	9	5	7	7
Declividade (C4)	1/3	1/9	1/9	1	1/5	1/7	1/7
Áreas urbanas (C5)	3	1/8	1/5	5	1	1/3	1/3
Unidades de Conservação (C6)	5	1/5	1/7	7	3	1	1
Geologia (C7)	5	1/5	1/7	7	3	1	1
Soma	30,3	2,2	3,7	41,0	20,5	14,7	14,7

Fonte: Elaborado pelo autor

Posteriormente, realizou-se a normalização dos dados, dividindo-se cada valor de importância pela soma das respectivas colunas, conforme a Tabela 40.

Tabela 40 - Peso dos critérios aos pares

Crítérios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Recursos Hídricos (C1)	0,033	0,049	0,038	0,073	0,016	0,014	0,014
Pedologia (C2)	0,297	0,445	0,535	0,220	0,390	0,341	0,341
Vias de acesso (C3)	0,231	0,222	0,267	0,220	0,244	0,477	0,477
Declividade (C4)	0,011	0,049	0,030	0,024	0,010	0,010	0,010
Áreas urbanas (C5)	0,099	0,056	0,053	0,122	0,049	0,023	0,023
Áreas Protegidas (C6)	0,165	0,089	0,038	0,171	0,146	0,068	0,068
Geologia (C7)	0,165	0,089	0,038	0,171	0,146	0,068	0,068

Fonte: Elaborado pelo autor

Por fim, determinaram-se os pesos estatísticos para cada critério analisado (Tabela 41), obtidos pela média aritmética dos valores normalizados de cada critério da matriz.

Tabela 41 - Pesos estatísticos dos critérios da matriz AHP

Crítérios	Peso	Porcentagem (%)
Áreas urbanas	0,034	3,4
Recursos hídricos	0,367	36,7
Áreas Protegidas	0,305	30,5
Declividade	0,021	2,1
Vias de acesso	0,061	6,1
Pedologia	0,106	10,6
Geologia	0,106	10,6
Total	1,000	100,0

Fonte: Elaborado pelo autor

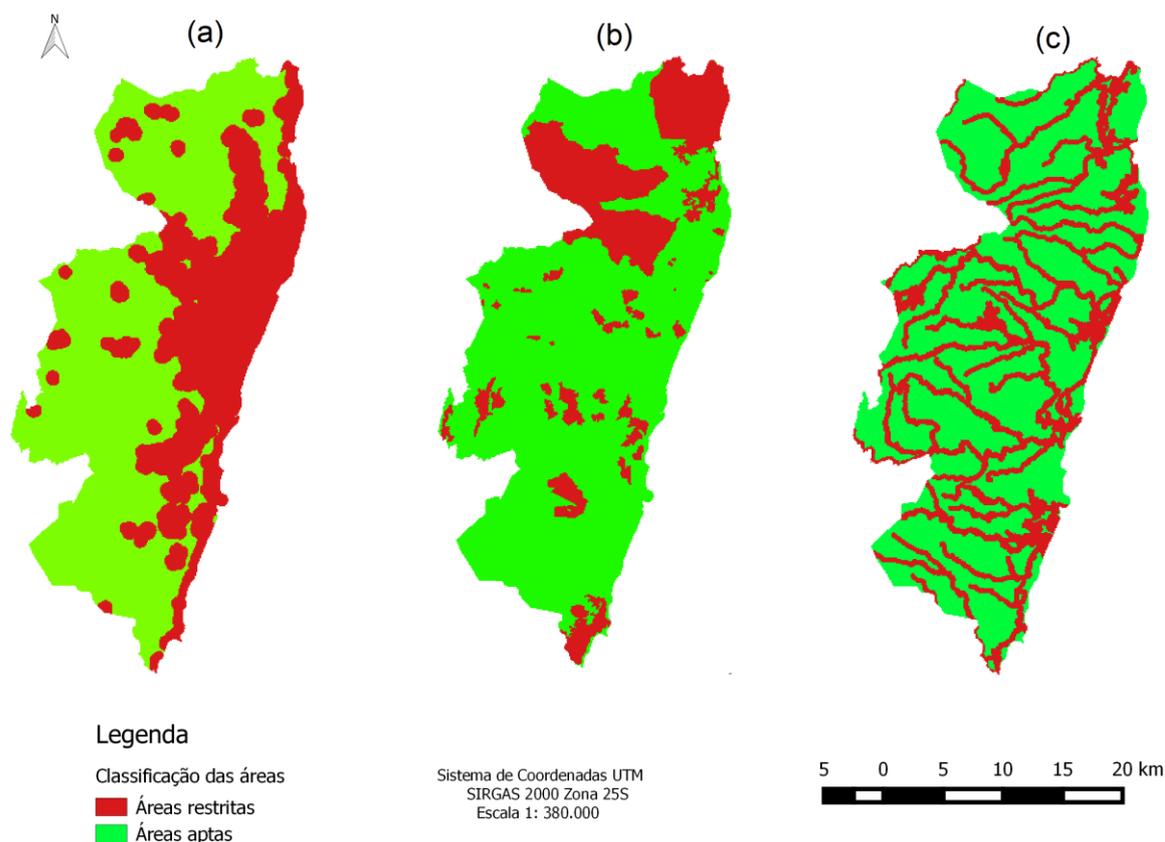
Nesta pesquisa, a Razão de Consistência (RC) foi igual a 0,1, o que significa que a consistência do julgamento é satisfatória.

Para indicação das possíveis áreas para instalação de aterros e usinas, foi necessário abranger toda a RMR, devido ao fato de que essas estruturas não devem ser instaladas dentro dos centros urbanos.

A partir da classificação dos critérios ambientais, realizou-se a sobreposição das camadas, gerando mapas temáticos com base nos índices de aptidão, sendo os critérios considerados como restritivos (Figura 69) ou escalonados (Figura 70).

Após a determinação dos índices de aptidão, realizou-se a álgebra de mapas, multiplicando-se os pesos de cada critério. O resultado da aplicação da equação da álgebra de mapas²⁶ gerou um valor entre 0 e 500. Contudo, foi obtido para a RMR um intervalo entre 0 e 483, o que mostra que existem áreas consideradas como recomendadas para instalação de aterros de inertes e usinas de beneficiamento, de acordo com os critérios adotados.

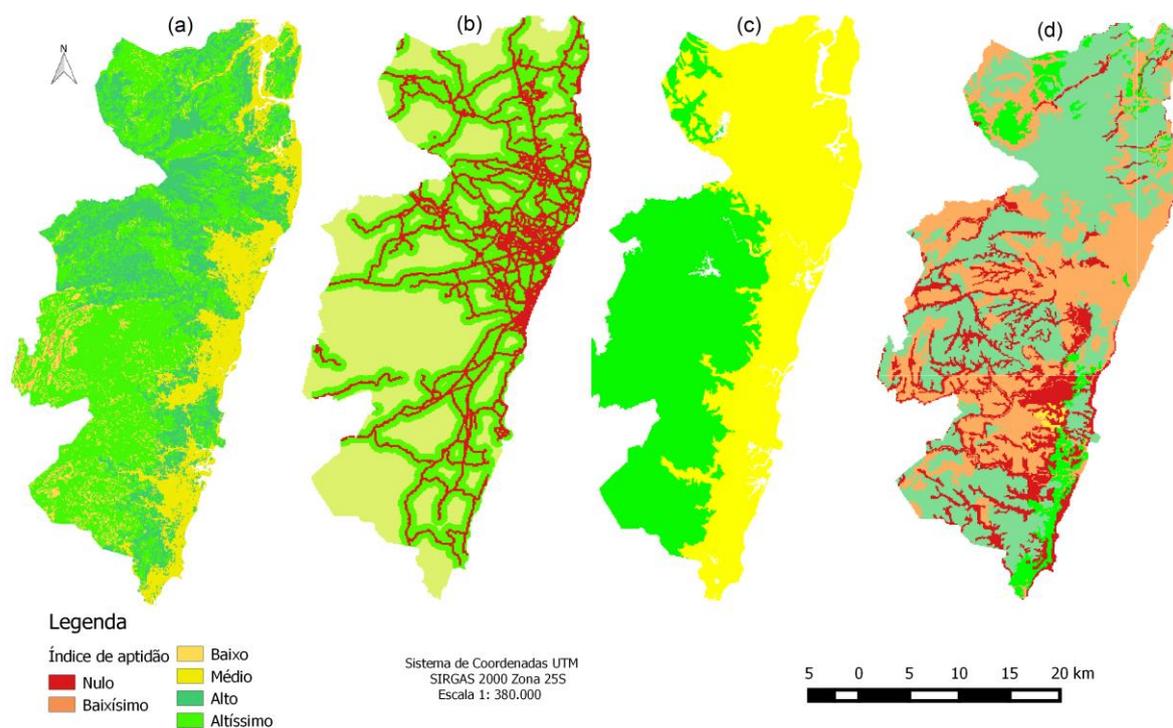
Figura 69 - Mapas temáticos referentes aos critérios restritivos: (a) áreas urbanas; (b) unidades de conservação; (c) recursos hídricos



Fonte: Elaborado pelo autor

²⁶ Vide Equação 3.9, página 128.

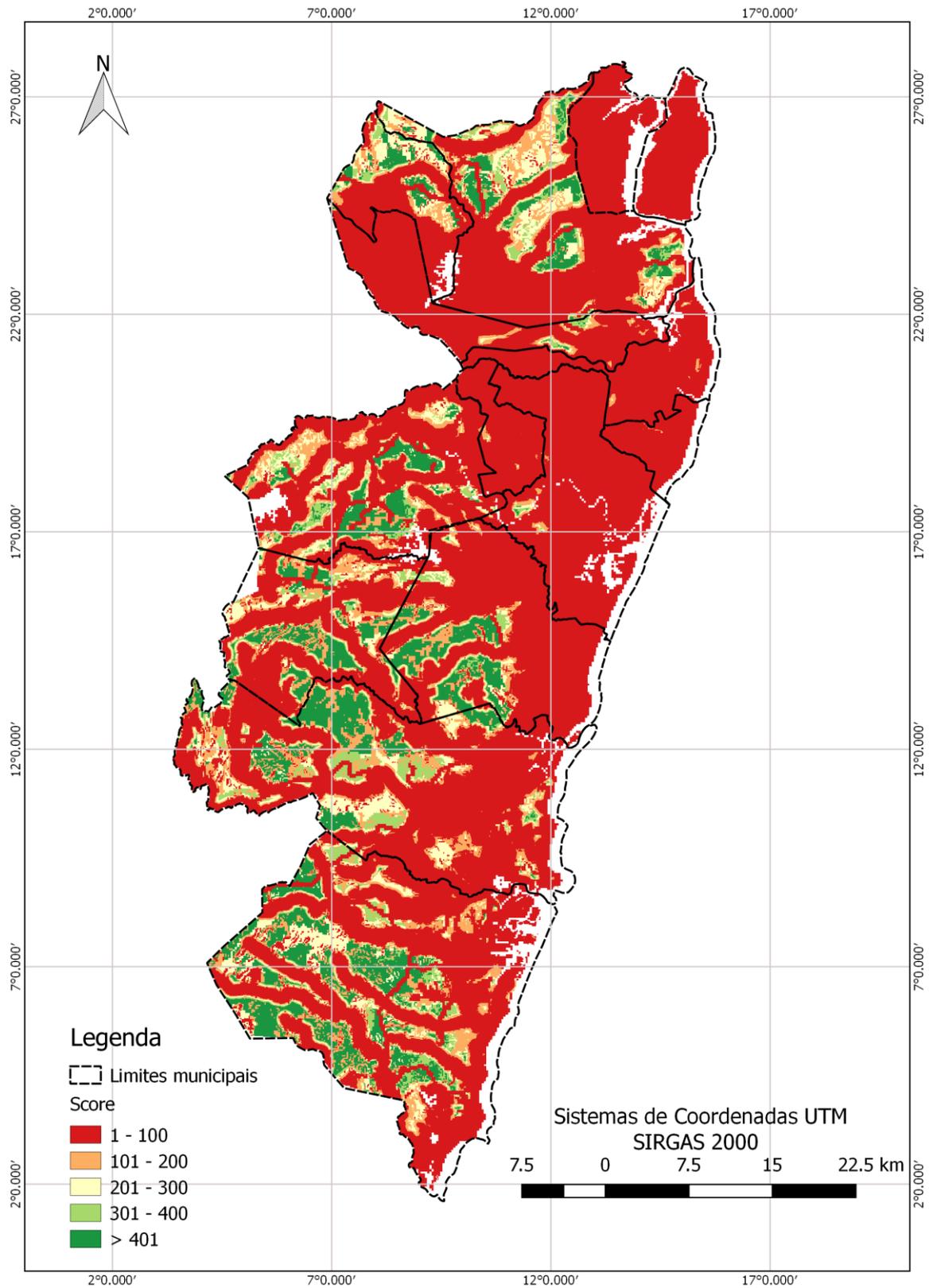
Figura 70 - Mapas temáticos referentes aos critérios escalonados: (a) declividade; (b) rodovias; (c) geologia; (d) solos



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 71 apresenta o mapa final de aptidão da RMR, onde se observa que as áreas mais urbanizadas são os que possuem maior restrição para instalação de aterros de inertes e usinas de beneficiamento (*Score* 1 a 100), visto que estes equipamentos devem ser instalados a uma distância mínima das áreas urbanas.

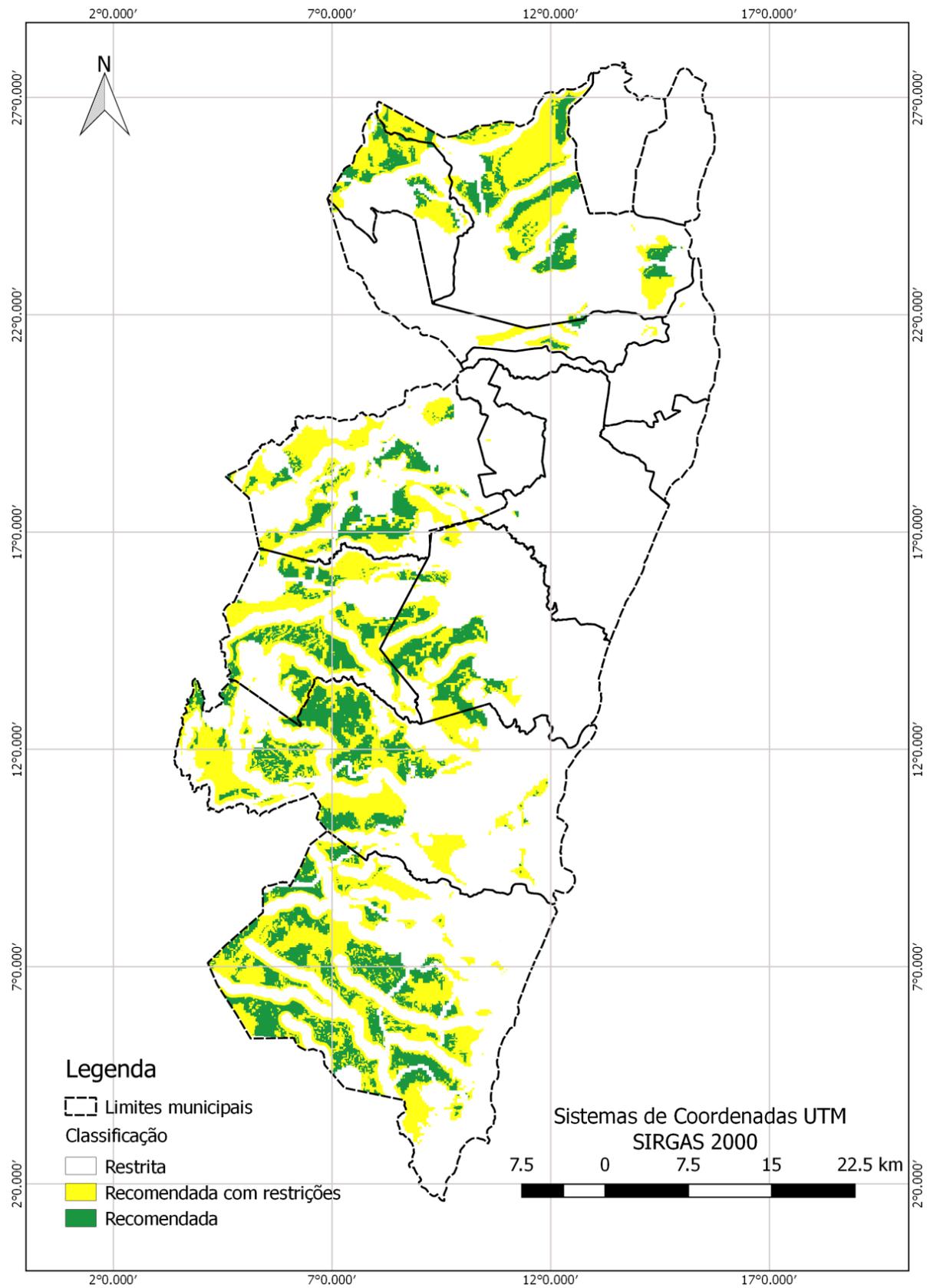
Figura 71 - Mapa de aptidão da RMR



Fonte: Elaborado pelo autor

As áreas foram, portanto, classificadas como “restrita”, “recomendada com restrições” e “recomendada”, conforme a Figura 72.

Figura 72 - Mapa de recomendação de áreas da RMR



Fonte: Elaborado pelo autor

Verificou-se que a RMR possui 287,67 km² de áreas consideradas recomendadas para instalação de aterros e usinas, o que corresponde a 10,3% da área total da RMR. Conforme a Tabela 42, os municípios de Ipojuca (27%) e Moreno (20%) possuem a maior quantidade de áreas recomendadas para a instalação de aterro de inertes e usinas. Não foram encontradas áreas recomendadas nos municípios de Camaragibe, Olinda, Paulista, Itapissuma e Ilha de Itamaracá.

Tabela 42 - Área total disponível para instalação de aterro de inertes e usinas nos municípios da RMR

Município	Área total recomendada (ha)	Percentual
Ipojuca	7.959	27,67%
Moreno	5.818	20,22%
Cabo de Santo Agostinho	5.408	18,80%
Igarassu	3.024	10,51%
São Lourenço da Mata	2.789	9,70%
Jaboatão dos Guararapes	2.354	8,18%
Araçoiaba	1.294	4,50%
Abreu e Lima	104	0,36%
Recife	15	0,05%
Total	28.767	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor

Biju (2015) definiu como área mínima necessária 12.000 m² (1,2 ha) para construção de um aterro de inertes. Como solução para a destinação final de RCD da cidade do Recife, a melhor opção, devido à menor distância, seria a instalação de um aterro de inerte/usina em São Lourenço da Mata, às margens da BR 408, que possui uma área disponível de 650 ha (Figura 73), e uma distância de 28 km do centro do Recife.

Figura 73 - Área recomendada para instalação do aterro/usina em São Lourenço da Mata



Fonte: Street View - 02/2014 (Google Earth)

Uma outra opção seria a instalação às margens da BR 232 em Moreno, que tem uma área de 88 ha disponível (Figura 74), e dista 32 km do centro do Recife.

Figura 74 - Via de acesso à área recomendada no município de Moreno



Fonte: Street View - 08/2017 (Google Earth)

Na RMR, a área restrita (pontuação zero) ocupa uma superfície de 171.493 ha, o que representa aproximadamente 62% da região, enquanto que 77.030 ha (28%) foram recomendados com restrições. Para Lourenço (2015), este resultado é esperado devido ao grande número de restrições referentes à alocação deste tipo de empreendimento, e pelo fato de alguns municípios da região possuírem uma grande expansão urbana, como Recife, Olinda e Paulista.

O modo de ponderação e a determinação de pesos diferentes para os critérios podem reduzir a restrição. Caso fosse realizada a álgebra de mapas sem ponderação entre os critérios, várias áreas consideradas recomendadas poderiam tornar-se restritas, dificultando a disponibilidade de locais para implantação de um aterro/usina.

É importante considerar a opinião de especialistas e pesquisas anteriores para escolher o método a ser aplicado. Lourenço (2015) atribuiu pesos diferentes na ponderação dos critérios e teve como resultado 56,5% de área restrita na região estudada. Já Gregório (2013) adotou pesos iguais para os indicadores, resultando numa área restrita de 99,8% do território total. Isto destaca a influência do método de ponderação e dos pesos adotados no resultado final das áreas aptas a implantação deste empreendimento.

Apesar das áreas classificadas como “recomendadas” representarem uma porcentagem pequena em relação à extensão total da RMR, esse quantitativo representa áreas suficientes para instalação de aterros. Porém esses locais podem apresentar-se fragmentados ou possuir alguma outra restrição não considerada no presente estudo (LOURENÇO, 2015), como o custo do terreno, caso seja privado, e proximidade de áreas rurais.

Esta metodologia realiza uma pré-seleção de áreas disponíveis para instalação dos aterros/usinas, porém é necessário que seja realizado um levantamento de campo para análise complementar de outros critérios que podem influenciar na escolha correta do local a ser instalado.

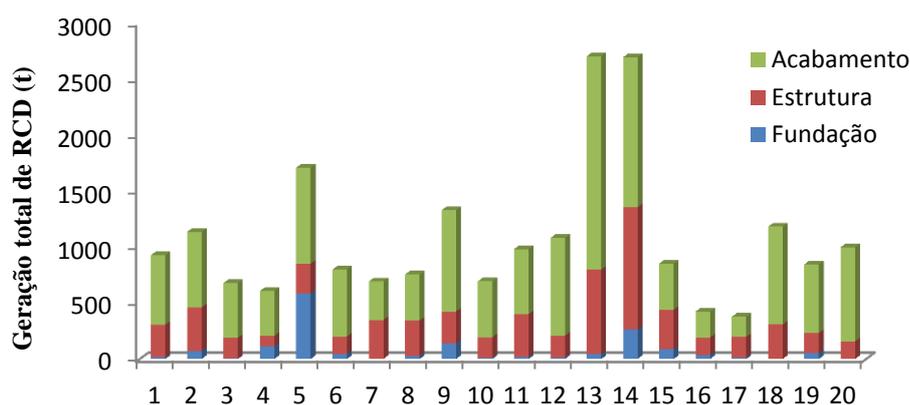
5 DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO DE RCD EM CANTEIROS DE OBRA

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com o diagnóstico da geração de RCD em 20 obras da cidade do Recife, bem como o desenvolvimento de um modelo matemático de geração de RCD, elaborado após tratamento estatístico dos dados coletados, como forma de estimar a quantidade de resíduos de uma obra com maior confiabilidade.

5.1 DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO DE RCD EM OBRAS

A partir da análise das 20 obras estudadas, obteve-se a caracterização da geração de RCD de acordo com as fases da etapa de construção, classes e tipos de materiais. A Figura 75 apresenta a geração total de RCD nas obras analisadas.

Figura 75 - Geração total de RCD nas obras analisadas



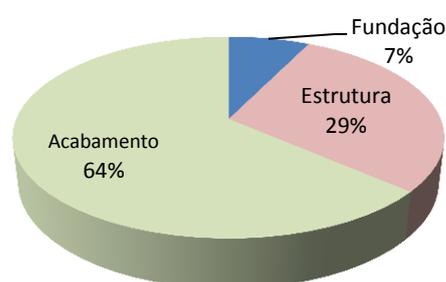
Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se que a geração de RCD varia de forma significativa de acordo com uma série de características de cada obra. A geração total média foi de 1.074 t ($\pm 635,19t$), cujos valores variaram entre 377 e 2.706 t. Kern *et al.* (2015) obtiveram uma média de 1.541 t, analisando-se 20 obras na Região Metropolitana de Porto Alegre, com uma variação entre 544 e 3.062 t. Considerando-se a geração por fase de obra, verificou-se que a fundação possui uma geração média de 78 t (± 135 t), seguido da fase de estrutura com 313 t (± 232 t) e, por fim, o acabamento com 683 t (± 397 t) (Figura 76).

O número de caçambas estacionárias que saem do canteiro de obras varia bastante ao longo de sua execução. Foram registradas no banco de dados 2.900 caçambas estacionárias proveniente das 20 obras analisadas.

Obteve-se uma densidade média das caçambas de $1,26 \text{ t/m}^3$, pouco abaixo do valor de $1,34 \text{ t/m}^3$ obtido por Falcão (2011) em Olinda/PE, e de $1,36 \text{ t/m}^3$ obtido por Carneiro (2005) em Recife/PE. O valor mais baixo provavelmente se deve à diferença metodológica, onde as pesquisas apresentadas realizaram um ensaio em canteiro de obra, enquanto que nesta pesquisa foram analisadas as caçambas que efetivamente saíram do canteiro, o que indica que as caçambas podem estar sendo coletadas antes de alcançarem o limite de capacidade.

Figura 76 - Composição da geração de RCD por fase de obra

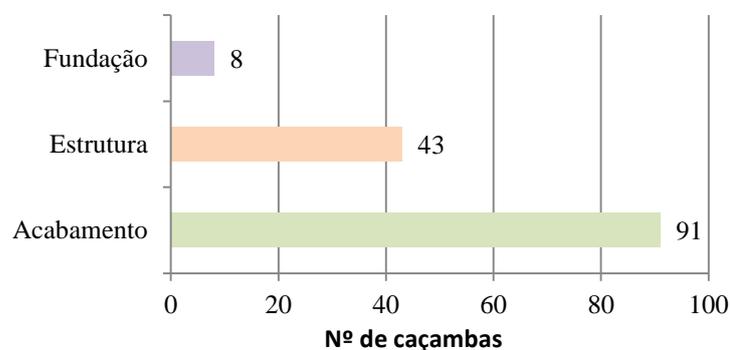


Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 77 apresenta a quantidade média de caçambas estacionárias, coletadas nas obras analisadas de acordo com a fase construtiva. A média total por obra foi de 142 (± 83) caçambas, variando de 51 a 383 caçambas.

Verificou-se que na fase inicial de construção (fundação), é coletada em média 1 caçamba por mês; na etapa de estrutura são coletadas 3 caçambas, e na fase de acabamento são coletadas 6 caçambas por mês.

Figura 77 - Quantidade média de caçambas coletadas nas obras analisadas



Fonte: Elaborado pelo autor

Na estimativa da geração de RCD, é habitual utilizar como referência a área total construída de cada obra. Atualmente, nos PGRCC elaborados pelos grandes geradores, são

utilizados índices padrão de geração de RCD, determinados pelo órgão responsável pela análise dos planos. No caso da EMLURB, na cidade do Recife/PE, utilizam-se os índices de 75 kg/m^2 para a fase de construção, 800 kg/m^2 para a fase de demolição e 1.400 kg/m^3 para a fase de escavação (EMLURB, 2006).

Para as obras analisadas, obteve-se o índice médio de geração de 85 kg/m^2 para a fase de construção, para uma área construída média de 17.344 m^2 , próximo ao índice utilizado pela EMLURB. Porém, a taxa varia de 27 kg/m^2 a 263 kg/m^2 , observando-se, portanto, que é inadequado utilizar um único valor como referência, pois outros fatores podem interferir na geração de RCD de uma obra. Costa (2012) obteve uma variação entre $62,31 \text{ kg/m}^2$ e $136,02 \text{ kg/m}^2$, avaliando 20 obras em João Pessoa.

A partir desta constatação, foi realizada uma análise da geração de RCD por faixas de área construída, conforme Tabela 43.

Tabela 43 - Geração total e índices de geração de RCD por faixas de área construída

Área construída	Nº de obras analisadas	Geração média total (t)	Índice de geração por área construída (kg/m^2)
$A_t \leq 8.000 \text{ m}^2$	4	879 ± 184	157
$8.000 \text{ m}^2 < A_t \leq 15.000 \text{ m}^2$	9	884 ± 442	74
$15.000 \text{ m}^2 < A_t \leq 25.000 \text{ m}^2$	5	1.291 ± 802	71
$A_t > 25.000 \text{ m}^2$	2	1.780 ± 1310	29

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir desta análise, verificou-se que a geração total de RCD é maior com o aumento da área construída. Por outro lado, o índice de geração segue um processo inverso, sendo maior para as obras de menor área construída. Assim, é preciso considerar o porte da obra de forma a utilizar o índice correto de geração de RCD.

Além do índice de geração total de RCD, foram obtidos os índices de geração de RCD de acordo com o tipo de material, considerando as 20 obras analisadas (Tabela 44). Observa-se que 90% da geração de RCD em uma obra corresponde a resíduos de concreto, cerâmico e argamassa, ocasionado pelo desperdício de materiais utilizados, e que podem ser reaproveitados no próprio canteiro de obras.

Tabela 44 - Taxa de geração de RCD por tipo de material

Material	Geração total média de RCD (t)	Porcentagem (%)	Taxa de geração média (kg/m ²)
Entulho ¹	967,7	90,0	78,3
Gesso	42,1	3,9	6,53
Madeira	48,1	4,5	3,32
Papel/Papelão	5,6	0,5	0,41
Plástico	7,6	0,7	0,54
Metal	2,69	0,3	0,19
Sacos de cimento/argamassa	1,47	0,1	0,02
Resíduos perigosos	0,46	0,0	0,03

¹ Considera-se como entulho apenas os resíduos de concreto, cerâmico e argamassa (material nobre)

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 45 apresenta a comparação das taxas de geração de RCD obtidas nesta pesquisa, com pesquisas realizadas na China (LI *et al.*, 2013) e no Líbano (BAKSHAN *et al.* (2015).

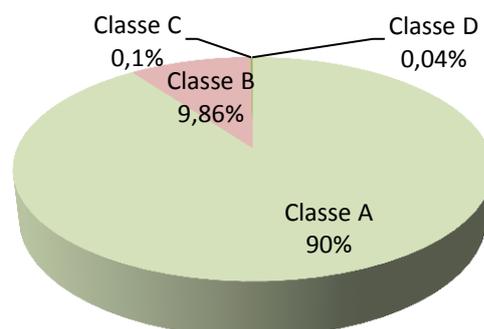
Tabela 45 - Comparativo da taxa de geração por material com outros autores

Material	Taxa de geração média (kg/m ²)		
	Li <i>et al.</i> (2013)	Bakshan <i>et al.</i> (2015)	Presente pesquisa
Entulho	21,6	28,14	78,3
Gesso	3,4	0,31	6,53
Madeira	7,6	4,35	3,32
Papel/Papelão	-	-	0,41
Plástico	-	-	0,54
Metal	4,0	1,25	0,19
Sacos de cimento/argamassa	-	-	0,02
Resíduos perigosos	-	-	0,03

Fonte: Compilado pelo autor

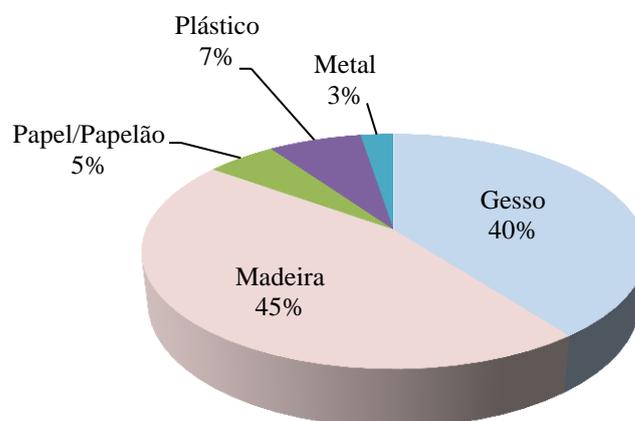
Como se pode observar, o entulho é o material mais predominante dentre os resíduos gerados na obra (com uma taxa de geração muito acima dos outros países pesquisados), considerado como classe A, de acordo com o que estabelece a Resolução CONAMA n° 307/2002. Costa (2012) obteve para o entulho uma taxa média de 86,27 kg/m². Os dados analisados diferem bastante dos dados obtidos em outros países, devido às diferenças no processo construtivo e indisponibilidade de dados referentes ao tipo de material gerado.

A Figura 78 apresenta a composição dos RCD de acordo com as classes da referida Resolução. Os resultados diferem dos obtidos por Bertol *et al.* (2013), que realizaram a análise em 10 obras de Curitiba/PR, obtendo-se 49% de Classe A, 46% de Classe B, 3% de Classe C e 2% de Classe D.

Figura 78 - Composição dos RCD de acordo com as classes da Resolução nº 307/2002

Fonte: Elaborado pelo autor

Foram considerados como resíduos Classe B os materiais recicláveis para outras destinações, como gesso, madeira, papel/papelão, plástico e metal (Figura 79). Considera-se como Classe C os resíduos misturados e os sacos de cimento/argamassa, que não são enviados para reciclagem e, como classe D, os resíduos perigosos, como Equipamentos de Proteção Individual (EPI) contaminados, lâmpadas e latas de tinta.

Figura 79 - Composição dos resíduos Classe B

Fonte: Elaborado pelo autor

Outro indicador importante de geração de RCD é o Índice de Perdas (IP) de materiais não incorporados aos produtos, calculado a partir da razão entre o volume total de resíduos gerados e a área total construída.

Para as obras analisadas, obteve-se um IP médio de $6,37 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$. Carneiro (2005), que também realizou um diagnóstico anterior na cidade do Recife com três obras, obteve um IP de $8,15 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$, enquanto que Bertol *et al.* (2013) obtiveram $5,10 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$, a partir de 10 obras em Curitiba/PR, e Pimentel (2013) obteve $6,00 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$, a partir de 18 obras em

João Pessoa/PB. A Tabela 46 apresenta o cálculo do IP para as fases de construção e classes de resíduos, em comparação com pesquisas anteriores.

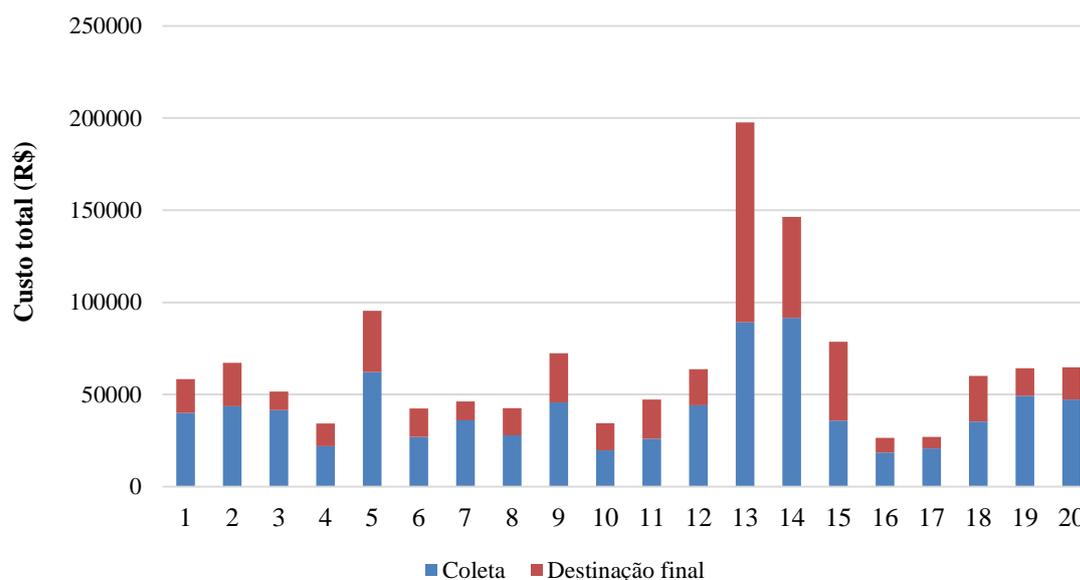
Tabela 46 - Volume e Índices de Perda (IP) para as fases de construção e classes de resíduos

Indicador	Carneiro (2005)	Bertol <i>et al.</i> (2013)	Presente pesquisa
Fundação (m ³)	30	-	56,2
IP Fundação (m ³ /m ²)	0,14	-	0,42
Estrutura (m ³)	535,5	-	212,1
IP Estrutura (m ³ /m ²)	2,45	-	1,72
Acabamento (m ³)	1176,5	-	443,2
IP Acabamento (m ³ /m ²)	5,48	-	3,62
Classe A (m ³)	-	448,3	722,2
IP Classe A (m ³ /100 m ²)	-	2,8	5,84
Classe B (m ³)	-	425,6	79,15
IP Classe B (m ³ /100 m ²)	-	2,8	0,53
Classe C (m ³)	-	26,71	4,37
IP Classe C (m ³ /100 m ²)	-	0,2	0,03
Classe D (m ³)	-	19,88	0,34
IP Classe D (m ³ /100 m ²)	-	0,1	0,002

Fonte: Compilado pelo autor

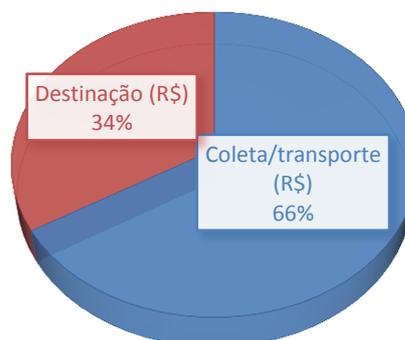
Em relação aos custos com o gerenciamento de RCD, que envolve as etapas de coleta/transporte e destinação final, verificou-se que varia de R\$ 26.000,00 a R\$ 150.000,00, com uma média de R\$ 61.935,00²⁷. A Figura 80 apresenta o custo total obtido para as 20 obras, enquanto a Figura 81 apresenta a percentagem de custos para cada etapa, onde se observa um maior gasto com a coleta e transporte de resíduos da obra até a destinação final.

Figura 80 - Custo total de gerenciamento de RCD



Fonte: Elaborado pelo autor

²⁷ Para fins de comparação com estudos posteriores, o salário mínimo no período da pesquisa é de R\$ 954,00; IPCA = 0,09; Taxa SELIC = 6,5%; Cotação do Dólar: R\$ 3,11 (Julho/2017)

Figura 81 - Composição dos custos de gerenciamento para as etapas de coleta e destinação final

Fonte: Elaborado pelo autor

Comparando-se os custos com a área total construída, obteve-se uma variação entre R\$ 1,45/m² e R\$ 12,64/m², sendo a média de R\$ 4,86/m² (\pm R\$ 2,77/m²). Zanna (2014) obteve um indicador de R\$ 2,50/m². Ao analisar os custos por faixas de área construída, verifica-se um custo por m² maior para as obras de menor porte, conforme a Tabela 47.

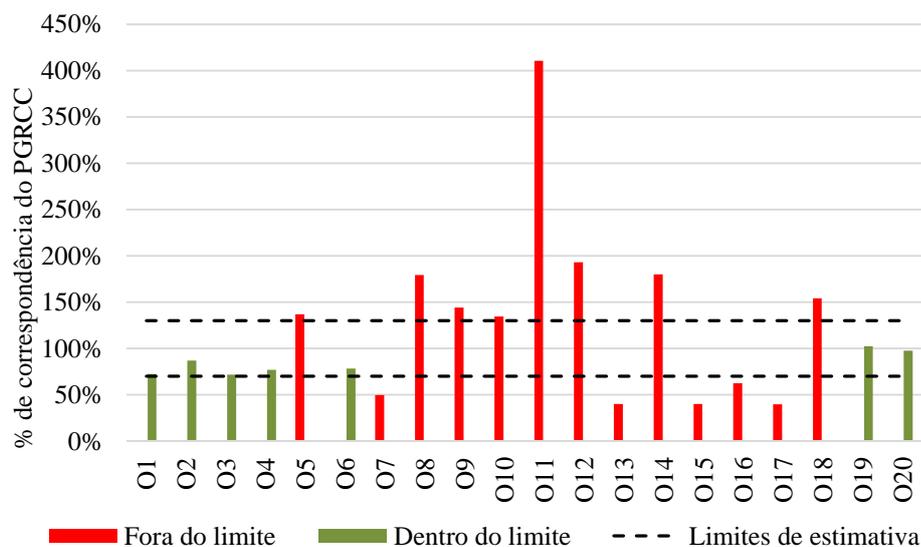
Tabela 47 - Custos de gerenciamento de RCD por faixa de área construída

Área construída	Custo da Coleta/Transporte (R\$)	Custo da destinação final (R\$)	Custo total (R\$)	Custo por m ² (R\$/m ²)
$A_t \leq 8.000 \text{ m}^2$	29.400,00	17.632,00	47.032,00	8,24
$8.000 \text{ m}^2 < A_t \leq 15.000 \text{ m}^2$	35.783,00	16.850,00	52.633,00	4,42
$15.000 \text{ m}^2 < A_t \leq 25.000 \text{ m}^2$	51.714,00	24.821,00	76.536,00	4,24
$A_t > 25.000 \text{ m}^2$	62.550,00	34.551,00	97.101,00	1,64

Fonte: Elaborado pelo autor

O custo médio de construção por m² em 2018, dado fornecido pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índice da Construção Civil – SINAPI (IBGE, 2019), foi de R\$ 1.130,67. Considerando o custo médio de gerenciamento de resíduos obtido, verifica-se que corresponde a apenas 0,42% do custo da obra, o que demonstra a viabilidade econômica da implantação de um sistema de gerenciamento de resíduos em uma obra. Porém, não são considerados os custos ambientais gerados pela quantidade de RCD descartado no meio ambiente.

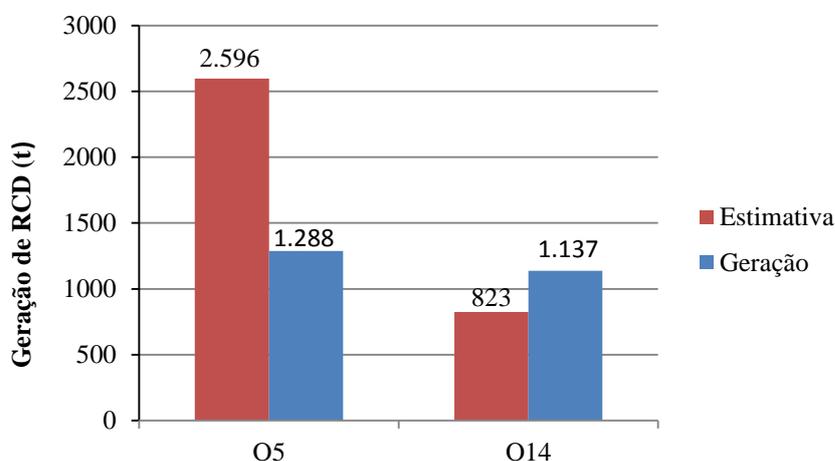
Foi analisada ainda a correspondência entre a quantidade de RCD estimada nos PGRCC entregues à EMLURB e a quantidade de RCD observada nas obras, considerando um limite mínimo e máximo de correspondência de 30% em relação ao valor estimado no PGRCC, conforme a Figura 82.

Figura 82 - Correspondência entre a quantidade de RCD estimada no PGRCC e real

Fonte: Elaborado pelo autor

Verificou-se que apenas 35% das obras analisadas geraram resíduos de acordo com o que foi estimado no PGRCC, o que pode ocasionar problemas financeiros relacionados ao orçamento previsto para coleta e destinação final dos RCD, e problemas de documentação junto ao órgão ambiental, quando do recebimento do relatório final da obra.

Quanto à geração de RCD na fase de demolição, 9 obras realizaram esta atividade, com uma média de 1.081 m² de área demolida. Porém, apenas 2 obras possuíam dados disponibilizados referentes ao volume de RCD gerado. A Figura 83 apresenta quantidade estimada e gerada de resíduos de demolição. Observou-se que a percentagem de correlação foi de 50% e 138%, respectivamente.

Figura 83 - Quantidade estimada e gerada de resíduos de demolição

Fonte: Elaborado pelo autor

A taxa de geração foi de 397 kg/m² para a Obra 5 e 1.105 kg/m² para a Obra 14. Comparando-se com o valor estipulado pela EMLURB de 800 kg/m², verifica-se que, assim como durante a construção, há uma grande heterogeneidade também na quantidade de resíduos de demolição.

Neste contexto, ressalta-se a necessidade de uma ferramenta que auxilie os gestores das obras na estimativa adequada da quantidade de resíduos a serem gerados no canteiro, considerando-se as diversas variáveis que influenciam na geração de resíduos.

5.2 MODELO PARA ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE RCD EM OBRAS

A etapa de modelo para estimativa da geração de RCD inclui a estatística descritiva dos dados coletados, análise de variância da variável dependente e análise de regressão.

5.2.1 Estatística descritiva dos dados

Para desenvolvimento do modelo matemático de estimativa de RCD em novas obras a serem executadas, utilizou-se o banco de dados de 34 obras cadastradas. Estas obras somam uma área total construída de 507.433,80 m², bem superior aos dados analisados por Costa *et al.* (2014), Kern *et al.* (2015) e Lima (2017).²⁸

Inicialmente, realizou-se a estatística descritiva dos dados a serem utilizados no modelo de geração de RCD. A Tabela 48 apresenta a análise descritiva dos dados referente as 34 obras do banco de dados, a serem utilizadas no tratamento estatístico. Foram calculadas as médias, desvio padrão e coeficiente de variação dos dados.

Tabela 48 - Estatística descritiva dos dados coletados

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
Geração total (t)	377,6	8.298,0	1.718,8	1.884,0	110%
Área total construída (m ²)	3.738,8	47.574,0	14.924,5	8.606,2	58%
Área do terreno (m ²)	564	9.039,1	2.857,5	1.686,7	75%
Duração da obra (meses)	21	52	35,6	7,8	51%
Nº de pavimentos ²⁹	12	85	33,5	17,2	59%
Nº de torres	1	5	1,5	1,1	22%

Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se, portanto, que a geração total de RCD das obras variou de 377,6 a 8.298 t, com um coeficiente de variação muito superior à variação de volume de RCD obtida por Kern

²⁸As obras monitoradas por Costa *et al.* (2014) totalizam 82.705,41 m², enquanto que as de Kern *et al.* (2015) totalizam 223.957,45 m², e as de Lima (2017) totalizam 58.758,1 m².

²⁹ Para obras com mais de uma torre, realizou-se a soma dos pavimentos.

et al. (2013), cujo coeficiente de variação foi de 49,9%, e o obtido por Lima (2017), que obteve um coeficiente de 99%.

A análise descritiva mostra ainda que a amplitude da área construída e nº de pavimentos são bem superiores aos observados pelos autores mencionados, o que comprova que o banco de dados incluiu obras de grande porte, não consideradas em pesquisas anteriores³⁰.

5.2.2 Análise de variância da variável dependente

A análise de variância através do Teste F, comparando a taxa média do grupo 1 (Obras Controle) e a taxa média do grupo 2 (Demais Obras), foi efetuada e os resultados estão sumarizados nas Tabelas 49 e 50.

Foi calculado o valor de F igual a 0,055 que, comparado ao valor de F_c igual a 0,428, permite concluir que não há diferença significativa entre as médias das taxas de geração de RCD das Obras Controle e das Demais Obras e, portanto, não há razão para se acreditar em informação imprecisa por parte das construtoras quanto aos dados de geração de RCD, mesmo observando que as Demais Obras são de porte maior e, conseqüentemente, maiores geradoras de resíduos.

Tabela 49 - Estatística descritiva da variável dependente (Geração de RCD) para as Obras Controle (Grupo 1) e as Demais Obras (Grupo 2)

Grupos	N	Soma	\bar{X} (Média)	Desvio padrão	Coefficiente de variação
Grupo 1	17	17.129	1.007,59	547,88	54%
Grupo 2	17	41.310	2.430,01	2.438,38	100%

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 50 - Análise de variância da variável dependente para os grupos 1 e 2 pelo Teste F

k	n_T	\bar{X}	S_w^2	S_s^2	F	v_1	v_2	F_c
2	34	1719,0	3122948	171979	0,055	1	32	0,428

k = número de grupos; n_T = número total de observações; \bar{X} = grande média; S_w^2 = Variância entre os grupos; S_s^2 = Variância dentro dos grupos; F = Estatística F; v_1 = grau de liberdade da variável do numerador; v_2 = grau de liberdade da variável do denominador; F_c = F crítico

Fonte: Elaborado pelo autor

Com a aplicação do teste de Kruskal-Wallis para comparar as médias entre os grupos de construtoras (Tabela 51), obteve-se um p-valor de 0,249, de modo que não se pode rejeitar a hipótese nula de que as amostras são provenientes de uma mesma população.

³⁰ Em relação à área construída, a pesquisa realizada por Dias (2013) limitou-se a área construída de no máximo 23.920,33 m², enquanto que a maior área construída na pesquisa de Lima (2017) foi de 18.160 m². Quanto ao nº de pavimentos, o máximo foi de 23 e 20 pavimentos, respectivamente.

Tabela 51 - Análise de Kruskal-Wallis para comparação das médias entre construtoras

Grupo	Obras	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
1	25	377,6	7478,0	1652,1	1709,3
2	3	1272,0	1428,0	1330,0	85,3
3	1	8298,0	8298,0	8298,0	0,0
4	2	1017,0	1304,0	1160,5	202,9
5	3	632,0	1183,0	842,7	297,5

Fonte: Elaborado pelo autor

Dessa forma, considerou-se a geração de RCD de todas as obras sem distinção, quanto à construtora e a forma de obtenção dos dados.

5.2.3 Análise de regressão

Para a definição do tipo de regressão a ser utilizado, realizou-se os testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk em relação à variável dependente, cujos resultados são apresentados na Tabela 52.

Tabela 52 - Testes de normalidade da variável dependente (Geração total de RCD)

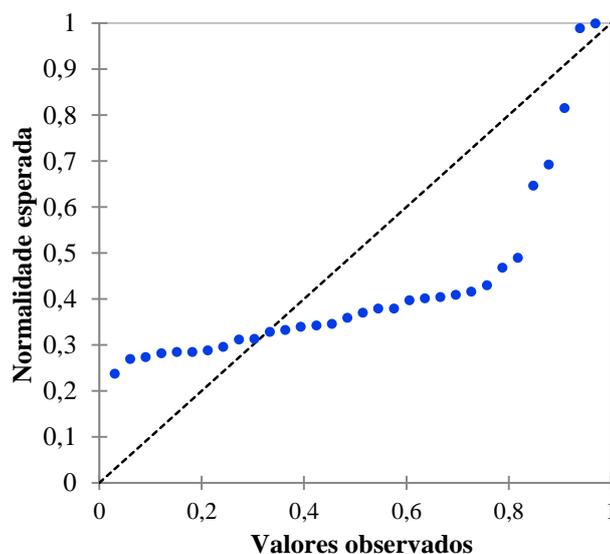
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	n	p-valor	Statistic	n	p-valor
Geração de RCD	0,326	34	0,000	0,598	34	0,000

n = número de amostras; p-valor = nível de significância

Fonte: Elaborado pelo autor

O resultado obtido tanto pela análise de Kolmogorov-Smirnov (amostras >30), quanto pela análise de Shapiro-Wilk (amostras <30) mostrou que se deve rejeitar a hipótese nula de normalidade para a variável dependente, diferente dos resultados obtidos por Kern *et al.* (2015) e Lima (2017), em que se aceitou a hipótese nula.

A diferença obtida entre a presente pesquisa e os referidos autores se explica pela maior amplitude da amostra de obras utilizada, visto que esta pesquisa utilizou obras maiores em termos de área construída e, conseqüentemente, maior geração de RCD. A análise destes dados mostrou que a geração de RCD nas obras cresce de modo não-linear. A Figura 84 comprova a distribuição não-normal da variável devido ao distanciamento da reta.

Figura 84 - Correspondência entre a quantidade de RCD estimada e observada

Fonte: Elaborado pelo autor

Nesse sentido, recomenda-se utilizar a análise de regressão não-linear. Para tanto, os dados foram analisados utilizando o coeficiente de correlação de Spearman, devido à distribuição não-normal das variáveis (MEDEIROS *et al.*, 2006). A Tabela 53 apresenta os resultados obtidos com a análise de correlação de Spearman entre as variáveis independentes.

Tabela 53 - Análise de correlação de Spearman

	A_c	A_t	N_p	D_o	N_t	G_t
Área total construída (A_c)	1	0,980	0,355	0,217	0,254	0,841
Área do terreno (A_t)	0,980	1	0,346	0,217	0,346	0,561
Nº de pavimentos (N_p)	0,355	0,346	1	0,045	0,759	0,463
Duração da obra (D_o)	0,217	0,217	0,045	1	-0,260	0,803
Nº de torres (N_t)	0,254	0,239	0,759	-0,260	1	-0,045
Geração total (G_t)	0,841	0,803	0,463	-0,045	0,463	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Observou-se uma boa correlação entre os dados de Área Total Construída e Área do Terreno (0,980), pelo fato de estarem relacionadas, assim como entre o nº de pavimentos e nº de torres (0,759), visto que quanto mais torres, se prevê uma maior quantidade de pavimentos no total do projeto. Obteve-se uma maior correlação positiva entre a geração total de RCD com a área de construção.

As variáveis independentes foram testadas por meio do uso da regressão não-linear polinomial, de ordem 2, a fim de buscar o melhor ajuste ao modelo, considerando um nível de significância de $\alpha = 0,05$.

A Tabela 54 apresenta os coeficientes da regressão não-linear gerada pelo tratamento estatístico, enquanto que a Equação (5.1) apresenta a equação gerada pelo ajuste do modelo, onde se obteve um R^2 de 0,969, ou seja, 96,9% dos dados são explicados pelo modelo.

Tabela 54 - Coeficientes da regressão não-linear

Coeficientes	Valor	Erro padrão
C1	3016,348	2096,937
C2	-0,144	0,130
C3	-171,435	493,025
C4	-101,092	27,879
C5	0,634	0,671
C6	-22,902	100,426
C7	0,000	0,000
C8	62,848	94,962
C9	1,335	0,325
C10	0,000	0,000
C11	0,248	1,345

Fonte: Elaborado pelo autor

$$G_t = 3016,36 - (0,14 * A_c) - (171,43 * N_t) - (101,09 * N_p) + (0,63 * A_t) - (22,90 * D_o) + (9,22 * 10^{-6} * A_c^2) + (62,85 * N_t^2) + (1,33 * N_p^2) - (1,50 * 10^{-4} * A_t^2) + (0,25 * D_o^2) \quad (5.1)$$

Onde:

A_c = Área total construída (m^2);

N_t = N° de torres;

N_p = N° de pavimentos

A_t = Área do terreno (m^2);

D_o = Duração da obra (meses).

Dessa forma, conhecendo-se a área total construída, área do terreno, n° de pavimentos, n° de torres e duração prevista da obra, é possível estimar a geração total de RCD, bem como as demais informações, a partir do modelo matemático.

5.2.4 Modelo matemático para estimativa da geração de RCD em obras de edificações

Para desenvolvimento do modelo matemático de RCD em canteiros de obras, desenvolveu-se uma planilha eletrônica, conforme a Figura 85.

Figura 85 - Planilha de modelagem matemática de geração de RCD em obras

MODELAGEM MATEMÁTICA DE GERAÇÃO DE RCD		
Autor: Diogo Henrique Fernandes da Paz		
Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Gestão Integrada de RCD		
DADOS DE ENTRADA DO MODELO		
INFORMAÇÕES DO EMPREENDIMENTO		
Construtora	Construtora 1	
Obra	Obra 1	
Tipologia do empreendimento	Edifício multipisos com estrutura em concreto	
INFORMAÇÕES DA OBRA		
	Símbolo	Valor
Área construída (m ²)	Ac	7176,08
Área do Terreno (m ²)	At	2.395,89
Prazo de construção (meses)	Pc	35
Nº de pavimentos TIPO	Np	18
Nº de torres	Nt	2
Data de início da Obra	Di	jul/10
Data de término da obra	Df	nov/12
Fundação		
Prazo da fundação (meses)	Pf	5
Estrutura		
Prazo da estrutura (meses)	Pe	10
Acabamento		
Prazo do acabamento (meses)	Pa	20

Fonte: Elaborado pelo autor

O modelo desenvolvido necessita dos seguintes dados de entrada para realizar a estimativa da geração de RCD:

- área total construída (m²);
- área do terreno (m²);
- prazo de execução da obra (meses);
- data de início e fim da obra;
- prazo de execução da fundação (meses);
- prazo de execução da alvenaria/estrutura (meses);
- prazo de execução do acabamento (meses);
- número de pavimentos;
- número de torres;
- área de demolição (m²);
- prazo de demolição (meses).

Os coeficientes do modelo foram determinados a partir da taxa de geração de cada tipo de resíduo, definidos como (Figura 86):

- coeficientes de geração de entulho (C_{en});
- coeficientes de geração de madeira (C_m);
- coeficientes de geração de papel/papelão (C_{pp});
- coeficientes de geração de plástico (C_{pl});
- coeficientes de geração de metal (C_{me});
- coeficientes de geração de gesso (C_g);
- coeficientes de geração de não recicláveis (C_{nr});

– coeficientes de geração de resíduos perigosos (C_{rp}).

Figura 86 - Coeficientes das equações utilizadas no modelo

COEFICIENTES DO MODELO			
Coeficientes de geração de resíduos			
		a	
	Ce1	3016.348	
	Ce2	-0.144	
	Ce3	-171.435	
	Ce4	-101.092	
	Ce5	0.634	
Coeficiente de geração de entulho (Td)	Ce6	-22.902	
	Ce7	0.000	
	Ce8	62.848	
	Ce9	1.335	
	Ce10	0.000	
	Ce11	0.248	
		a	b
Coeficiente de geração de madeira	Cma	0.000028	0.0201
Coeficiente de geração de papellapelão	Cpa	0.000007	-0.0011
Coeficiente de geração de plástico	Cpl	0.000008	0.0028
Coeficiente de geração de metal	Cme	0.0000031	0.00110
Coeficiente de geração de gesso	Cge	-0.00080	0.65520
Coeficiente de geração de não recicláveis	Cnr	0.00002	0.00500
Coeficiente de geração de resíduos perigosos	Crp	0.000003	0.001

Fonte: Elaborado pelo autor

Os coeficientes da Equação 5.1 da análise de regressão múltipla foram utilizados no modelo como os coeficientes de entulho (C_{en}). Para os demais tipos de resíduos, foram desenvolvidas equações polinomiais de grau 2, que calcula a geração diária de resíduos em função do tempo (Equação 5.2), conforme a Figura 87.

$$Y = at^2 + bt \quad (5.2)$$

Onde:

Y = geração de resíduo no tempo t (toneladas);

a e b = coeficientes da equação polinomial;

t = tempo de execução da obra (dias).

Figura 87 - Planilha de cálculo da geração diária e acumulada de resíduos no modelo

Tempo (d)	DATA	Fase da obra	GERAÇÃO TOTAL DE RCD		GERAÇÃO POR TIPO DE MATERIAL												
			No dia	Acumulado	Entulho		Madeira		Papellapelão		Plástico		Metal		Gesso		
			(ton)	(ton)	(t/dia)	(ton)	(t/dia)	(t)	(t/dia)	(t)	(t/dia)	(t)	(t/dia)	(t)	(t/dia)	(t)	(t/dia)
0			0.0		0		0	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	01/01/2013	Fundação	0.4	0.4	0.38	0.4	0.020	0.0	0.0	0.000	0.000	0.003	0.00	0.001	0.00	0.0	0.0
2	02/01/2013	Fundação	0.4	0.8	0.38	0.8	0.020	0.0	0.000	0.000	0.003	0.01	0.001	0.00	0.0	0.0	0.0
3	03/01/2013	Fundação	0.4	1.2	0.38	1.1	0.020	0.1	0.000	0.000	0.003	0.01	0.001	0.00	0.0	0.0	0.0
4	04/01/2013	Fundação	0.4	1.7	0.38	1.5	0.020	0.1	0.000	0.000	0.003	0.01	0.001	0.00	0.0	0.0	0.0
5	05/01/2013	Fundação	0.4	2.1	0.38	1.9	0.020	0.1	0.000	0.000	0.003	0.01	0.001	0.01	0.0	0.0	0.0
6	06/01/2013	Fundação	0.4	2.5	0.38	2.3	0.020	0.1	0.000	0.000	0.003	0.02	0.001	0.01	0.0	0.0	0.0
7	07/01/2013	Fundação	0.4	2.9	0.38	2.7	0.020	0.1	0.000	0.000	0.003	0.02	0.001	0.01	0.0	0.0	0.0
8	08/01/2013	Fundação	0.4	3.3	0.38	3.1	0.020	0.2	0.000	0.000	0.003	0.02	0.001	0.01	0.0	0.0	0.0
9	09/01/2013	Fundação	0.4	3.7	0.38	3.4	0.021	0.2	0.000	0.000	0.003	0.03	0.001	0.01	0.0	0.0	0.0
10	10/01/2013	Fundação	0.4	4.1	0.38	3.8	0.021	0.2	0.000	0.000	0.003	0.03	0.001	0.01	0.0	0.0	0.0
11	11/01/2013	Fundação	0.4	4.6	0.38	4.2	0.021	0.2	0.000	0.000	0.003	0.03	0.001	0.01	0.0	0.0	0.0
12	12/01/2013	Fundação	0.4	5.0	0.38	4.6	0.021	0.2	0.000	0.000	0.003	0.03	0.001	0.01	0.0	0.0	0.0
13	13/01/2013	Fundação	0.4	5.4	0.38	5.0	0.021	0.3	0.000	0.000	0.003	0.04	0.001	0.01	0.0	0.0	0.0
14	14/01/2013	Fundação	0.4	5.8	0.38	5.4	0.021	0.3	0.000	0.000	0.003	0.04	0.001	0.02	0.0	0.0	0.0
15	15/01/2013	Fundação	0.4	6.2	0.38	5.7	0.021	0.3	0.000	0.000	0.003	0.04	0.001	0.02	0.0	0.0	0.0
16	16/01/2013	Fundação	0.4	6.6	0.38	6.1	0.021	0.3	0.000	0.000	0.003	0.05	0.001	0.02	0.0	0.0	0.0
17	17/01/2013	Fundação	0.4	7.0	0.38	6.5	0.021	0.3	0.000	0.000	0.003	0.05	0.001	0.02	0.0	0.0	0.0
18	18/01/2013	Fundação	0.4	7.5	0.38	6.9	0.021	0.4	0.000	0.000	0.003	0.05	0.001	0.02	0.0	0.0	0.0
19	19/01/2013	Fundação	0.4	7.9	0.38	7.3	0.021	0.4	0.000	0.000	0.003	0.06	0.001	0.02	0.0	0.0	0.0
20	20/01/2013	Fundação	0.4	8.3	0.38	7.7	0.021	0.4	0.000	0.000	0.003	0.06	0.001	0.02	0.0	0.0	0.0
21	21/01/2013	Fundação	0.4	8.7	0.38	8.0	0.021	0.4	0.000	0.000	0.003	0.06	0.001	0.02	0.0	0.0	0.0
22	22/01/2013	Fundação	0.4	9.1	0.38	8.4	0.021	0.5	0.000	0.000	0.003	0.07	0.001	0.03	0.0	0.0	0.0
23	23/01/2013	Fundação	0.4	9.5	0.38	8.8	0.021	0.5	0.000	0.000	0.003	0.07	0.001	0.03	0.0	0.0	0.0
24	24/01/2013	Fundação	0.4	10.0	0.38	9.2	0.021	0.5	0.000	0.000	0.003	0.07	0.001	0.03	0.0	0.0	0.0
25	25/01/2013	Fundação	0.4	10.4	0.38	9.6	0.021	0.5	0.000	0.000	0.003	0.08	0.001	0.03	0.0	0.0	0.0
26	26/01/2013	Fundação	0.4	10.8	0.38	10.0	0.021	0.5	0.000	0.000	0.003	0.08	0.001	0.03	0.0	0.0	0.0
27	27/01/2013	Fundação	0.4	11.2	0.38	10.3	0.022	0.6	0.000	0.000	0.003	0.08	0.001	0.03	0.0	0.0	0.0
28	28/01/2013	Fundação	0.4	11.6	0.38	10.7	0.022	0.6	0.000	0.000	0.003	0.08	0.001	0.03	0.0	0.0	0.0
29	29/01/2013	Fundação	0.4	12.0	0.38	11.1	0.022	0.6	0.000	0.000	0.003	0.09	0.001	0.03	0.0	0.0	0.0
30	30/01/2013	Fundação	0.4	12.5	0.38	11.5	0.022	0.6	0.000	0.000	0.003	0.09	0.001	0.04	0.0	0.0	0.0
31	31/01/2013	Fundação	0.4	12.9	0.38	11.9	0.022	0.6	0.000	0.000	0.003	0.09	0.001	0.04	0.0	0.0	0.0
32	01/02/2013	Fundação	0.4	13.3	0.38	12.3	0.022	0.7	0.000	0.000	0.003	0.10	0.001	0.04	0.0	0.0	0.0
33	02/02/2013	Fundação	0.4	13.7	0.38	12.6	0.022	0.7	0.000	0.000	0.003	0.10	0.001	0.04	0.0	0.0	0.0

Fonte: Elaborado pelo autor

O resumo dos dados de saída obtidos pelo modelo é apresentado na Figura 88. O modelo informa qual será a geração total de RCD na obra ao fim de sua execução e qual a taxa de geração/km², que poderão ser utilizados como base para elaboração do PGRCC da obra.

Além disso, é possível observar qual geração de resíduos por tipo de material, por fase da obra e por classe. Por fim, apresenta-se uma estimativa dos custos com a coleta dos resíduos, destinação final destes e o valor a ser arrecadado pela venda dos resíduos recicláveis.

Figura 88 - Dados de saída do modelo

DADOS DE SAÍDA DO MODELO				
RESUMO GERAL				
Geração total de RCD(t)	Gt	1481,10		
Taxa de geração de RCD	Tx	94,9		
Duração da obra (dias)	Do	1095		
Geração média diária de RCD (t/dia)	Gd	1,35		
GERAÇÃO DE RCD POR MATERIAL				
		Toneladas	Taxa de geração (kg/m²)	
Geração de entulho	Gt	1241,88	79,53	
Geração de madeira	Gm	54,96	3,52	
Geração de papel/papelão	Gpa	8,09	0,52	
Geração de plástico	Gpl	12,09	0,77	
Geração de metal	Gm	4,86	0,31	
Geração de gesso	Gg	125,08	8,01	
Geração de não recicláveis	Gnr	29,46	1,89	
Geração de resíduos perigosos	Grp	4,69	0,30	
Total		1481,10	94,85	
GERAÇÃO DE RCD POR FASE				
		Toneladas	Entulho	Caçambas
Geração de RCD na Fundação (t)	Gf	93,1	86,9	9
Geração de RCD na Estrutura (t)	Ge	394,1	360,1	39
Geração de RCD no Acabamento (t)	Ga	993,9	794,8	74
TOTAL		1481,1	122	
GERAÇÃO DE RCD POR CLASSE				
		Toneladas		
Geração de resíduos Classe A	Ga	1241,9		
Geração de resíduos Classe B	Gb	205,1		
Geração de resíduos Classe C	Gc	29,5		
Geração de resíduos Classe D	Gd	4,7		
CUSTO DE GERENCIAMENTO				
	R\$/coleta	R\$		
Custo de coleta de resíduos Classe A	200	-R\$ 24.400,00		
Custo de coleta de resíduos Classe B, C e D	200	-R\$ 218.800,00		
Custo total Coleta		-R\$ 243.200,00		
	R\$/t			
Destinação de resíduos Classe A e gesso	32	-R\$ 43.742,57		
Destinação de resíduos Classe C	58	-R\$ 1.708,42		
Destinação de resíduos Classe D	70	-R\$ 328,45		
Receita de venda de recicláveis	-	R\$ 1.978,65		
Custo total destinação		-R\$ 290.958,09		
Custo total gerenciamento de resíduos		-R\$ 534.158,09		

Fonte: Elaborado pelo autor

Como forma de verificar se o modelo matemático pode ser utilizado para estimar a geração de RCD de forma eficiente, foi realizada a etapa de validação. Para tal, foram utilizadas 13 obras que não fizeram parte do banco de dados do diagnóstico da geração, onde foi criada uma planilha por obra e inseridos os dados de entrada apresentados na Tabela 55.

Tabela 55 - Dados de entrada das obras utilizadas na validação do modelo

Código da obra	Área construída (m ²)	Área do terreno (m ²)	Nº de pavimentos	Nº de torres	Duração da obra (meses)
V1	3.739	710	19	1	28
V2	7.176	2.395	18	1	35
V3	8.212	1.480	28	1	38
V4	8.734	1.514	20	1	36
V5	9.406	1.773	32	1	36
V6	10.847	2.085	30	1	37
V7	11.464	1.455	27	1	22
V8	14.984	1.660	21	1	42
V9	15.519	3.312	25	1	36
V10	18.276	4.591	34	2	29
V11	24.500	7.076	54	2	46
V12	28.493	5.353	22	1	42
V13	97.900	12.363	26	3	41

Fonte: Elaborado pelo autor

A amostra de obras utilizada para a validação possui uma grande amplitude de área construída e área do terreno, o que permitiu analisar a resposta do modelo a diferentes tipos de obra.

Após o preenchimento dos dados de entrada, verificou-se a soma dos erros de cada fase da construção, e o CD resultante de cada obra (Figura 89).

Figura 89 - Análise do Coeficiente de Determinação (CD) de cada obra

MODELAGEM DA GERAÇÃO DE RCD			
RCD estimado		RCD observado	
(t/dia)	Toneladas	Toneladas	(RCDobs-RCDest) ²
	0,0		
0,44	996,4		
0,44	996,9		
0,44	997,3		
0,44	997,7		
0,44	998,2		
0,44	998,6		
0,43	999,1		
0,43	999,5		
0,43	999,9		
0,43	1000,4		
0,43	1000,8		
0,43	1001,2		
0,43	1001,6		
0,42	1002,1		
0,42	1002,5		
	Acabamento	971,0	991,1
		Soma de (Yobs-Yest) ²	20363,2
		CD(RCD)=	0,961
		Geração total real	971,000
		Geração total estimada:	1004,0
		PERCENTAGEM(%)	103,40

Fonte: Elaborado pelo autor

Como pode ser observado na Tabela 56, foi possível validar o modelo em 9 das 13 obras utilizadas. O modelo foi validado em obras que possuem área construída entre 3.739 m² e 15.519 m² e área de terreno entre 710 m² e 3.312 m².

Tabela 56 - CD resultante de cada obra utilizada na validação

Código da obra	CD	Validação
V1	0.96	Sim
V2	0.98	Sim
V3	0.97	Sim
V4	0.80	Sim
V5	0.94	Sim
V6	0.96	Sim
V7	0.99	Sim
V8	0.93	Sim
V9	0.87	Sim
V10	0.09	Não
V11	-1.48	Não
V12	-46.31	Não
V13	-1155.70	Não

Fonte: Elaborado pelo autor

Realizou-se, portanto, uma análise de sensibilidade, alterando-se os coeficientes do modelo para mais e para menos, pois, segundo Sausen e Sausen (2010), é uma ferramenta essencial para construção de modelos matemáticos, pois permite uma melhor compreensão do comportamento dinâmico, e identificar qual coeficiente influencia mais nas variáveis do modelo.

Como resultado da análise de sensibilidade, obteve-se que o modelo matemático, desenvolvido com as 34 obras desta pesquisa, possui um limite de estimativa para obras de até 20.000 m² de área construída, e 3.500 m² de área do terreno. Estimativa para obras além deste limite poderá ser ineficaz, como ocorreu com as obras V10 a V13.

Isto se deve ao fato de que apenas 15% do banco de dados da pesquisa correspondeu a obras com área construída acima de 20.000 m², e 20% possuem área do terreno maior que 3.500 m², o que dificultou a modelagem. Das 35 obras pesquisadas por Costa (2012), apenas uma possui área construída acima de 20.000m², enquanto que 20% das obras utilizadas por Kern *et al.* (2015) são desse porte.

A inserção desse modelo matemático no SIGERCON favorece o aumento da eficácia da estimativa, visto que quanto mais obras forem cadastradas no sistema, melhor será a calibração, e mais real será a estimativa realizada pelo modelo.

6 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO (SIGERCON)

Este capítulo apresenta o sistema computacional desenvolvido para apoiar a gestão integrada de RCD em municípios. São descritas as etapas de modelo conceitual, instanciação do modelo, calibração e validação do *software*.

6.1 MODELO CONCEITUAL

A partir das informações coletadas no diagnóstico da gestão municipal e da geração de RCD em canteiros de obras, foi estabelecido o modelo conceitual do SIGERCON, abrangendo os 3 módulos do sistema, sendo um módulo para cada usuário que atua no gerenciamento de RCD, de modo a auxiliar na gestão integrada dos resíduos em municípios brasileiros, de acordo as atividades realizadas por cada um, conforme o Quadro 40.

Quadro 40 - Descrição das atividades realizadas pelos usuários dos módulos do SIGERCON

Módulos	Atividades
Módulo I – Geradores (PAZ, 2014)	Atua no controle da geração dos resíduos nas diversas etapas da obra; realiza atividades de segregação inicial nos pavimentos, transporte interno e armazenamento final no térreo em baias e caçambas; realiza ações de educação ambiental dos funcionários e rastreamento dos resíduos até a destinação final.
Módulo II – Órgãos Ambientais	Atua no controle dos RCD desde a geração até a destinação final; realiza atividades de coleta de resíduos proveniente de pequenos geradores, fiscalização, aprovação de PGRCC, licenciamento de obras e empresas de transporte e destinação, educação ambiental e estruturação de áreas adequadas para triagem de resíduos no município.
Módulo III – Transporte e destinação final	Atua na coleta e destinação final ambientalmente adequada dos RCD; controla a quantidade de caminhões utilizados na coleta e destinação final; elabora relatórios de movimentação de resíduos, e emite certificações de destinação final adequada para os geradores.

Fonte: Elaborado pelo autor

A definição do modelo conceitual partiu das dificuldades observadas pelos usuários que atuam na gestão de RCD, como a rastreabilidade dos resíduos, a emissão de relatórios periódicos, o conhecimento do volume de resíduos a ser gerado, controle dos gastos, e aumento da taxa de reciclagem de materiais.

O Quadro 41 apresenta as necessidades observadas no diagnóstico realizado, que compõem o modelo conceitual do SIGERCON.

Quadro 41 - Modelo conceitual com as necessidades observadas

Módulos	Necessidades dos usuários
Módulo I – Geradores (PAZ, 2014)	<ul style="list-style-type: none"> - Elaborar PGRCC baseado em indicadores de geração de RCD; - Registrar as coletas de RCD e gerar manifestos automatizados; - Registrar a reutilização de resíduos nas obras; - Registrar os treinamentos realizados nas obras; - Monitorar os custos com o gerenciamento de RCD; - Realizar análises estatísticas da geração e custos provenientes da gestão de RCD; - Receber os relatórios enviados pelos transportadores e empresas de destinação final.
Módulo II – Órgãos Ambientais	<ul style="list-style-type: none"> - Controlar a quantidade de resíduos coletados nos logradouros públicos; - Avaliar e aprovar dos PGRCC por meio de sistema informatizado; - Cadastrar e monitorar as licenças ambientais dos geradores, transportadores e destinação final de resíduos; - Mapear os pontos de deposição irregular de RCD no município; - Localizar áreas adequadas para estruturação de local para triagem dos resíduos coletados.
Módulo III – Transporte e Destinação final	<ul style="list-style-type: none"> - Cadastrar os caminhões utilizados na coleta de resíduos; - Registrar as coletas de RCD realizadas; - Elaborar relatórios de movimentação de resíduos automaticamente; - Elaborar certificações de destinação automaticamente.

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir das necessidades dos usuários, que dificultam a implementação de uma gestão integrada de RCD, foram definidas as ferramentas adequadas para suprir estas demandas, de modo que haja uma integração.

6.2 INSTANCIACÃO DO SISTEMA

Após a definição do modelo conceitual a ser utilizado no sistema, foram incluídos os dados obtidos na etapa de aquisição de conhecimentos. Esses conhecimentos foram estruturados na forma de fluxogramas, baseado na metodologia utilizada por Scremin (2007), que após a instanciação serviu de base para a codificação do sistema.

6.2.1 Módulo I – Geradores

A estruturação do Módulo I – Geradores, bem como a validação do sistema, foi realizado por Paz (2014), que dividiu o modelo conceitual do sistema em 3 fases:

- Fase 1: Descrição geral do empreendimento;
- Fase 2: Dimensionamento do Sistema de Gerenciamento de Resíduos;
- Fase 3: Gerenciamento da obra.

As fases 1 e 3 estão apresentadas no *menu* “Monitoramento” do sistema, enquanto que a fase 2, de dimensionamento do sistema, está apresentada no *menu* “Projeto”, conforme a Figura 90, que representa o esquema de ferramentas do Módulo I. São apresentadas também neste esquema as ferramentas acrescentadas ao Módulo I desenvolvidas pela presente pesquisa, a partir das solicitações e recomendações das construtoras parceiras que testaram o sistema.

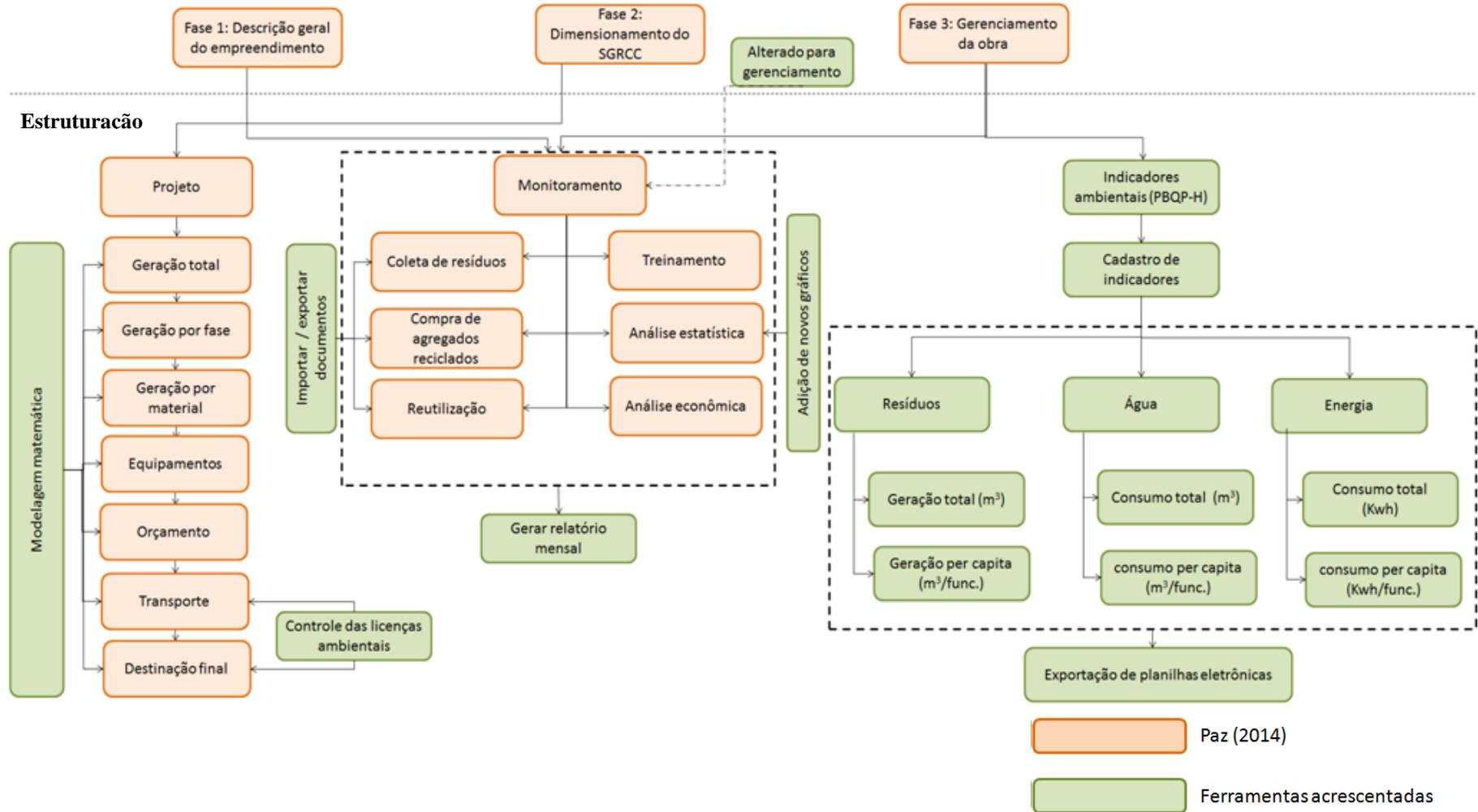
O *menu* “Projeto” realiza os cálculos de geração total de RCD, geração por fase e por material de forma automática, bem como realiza a estimativa da quantidade de equipamentos e dos custos com o gerenciamento de resíduos de cada obra (custo das coletas e destinação dos resíduos). Foi acrescentado a esta ferramenta o modelo matemático, após a ampliação do banco de dados do sistema e a realização do tratamento estatístico apresentado no Capítulo 5, de modo a aprimorar a ferramenta e reduzir os erros de estimativa.

Em relação ao cadastro de transportadores e destinação final, foi acrescentada ao sistema a ferramenta de monitoramento das licenças ambientais das empresas de gerenciamento de resíduos, que possui integração com o controle das licenças a ser realizado pelo Módulo II – Órgãos Ambientais.

Quanto ao *menu* “Monitoramento”, este foi alterado para “Gerenciamento”, e foram implementadas duas novas ferramentas. Foi desenvolvido um processo de importação e exportação de arquivos para as atividades de coleta de resíduos, compra de agregados reciclados e reutilização de material na obra. Dessa forma, tem-se um maior controle dos documentos, facilitando a geração de relatórios mensais e final de cada obra.

Figura 90 - Fluxograma geral do Módulo I - Geradores

Modelo conceitual



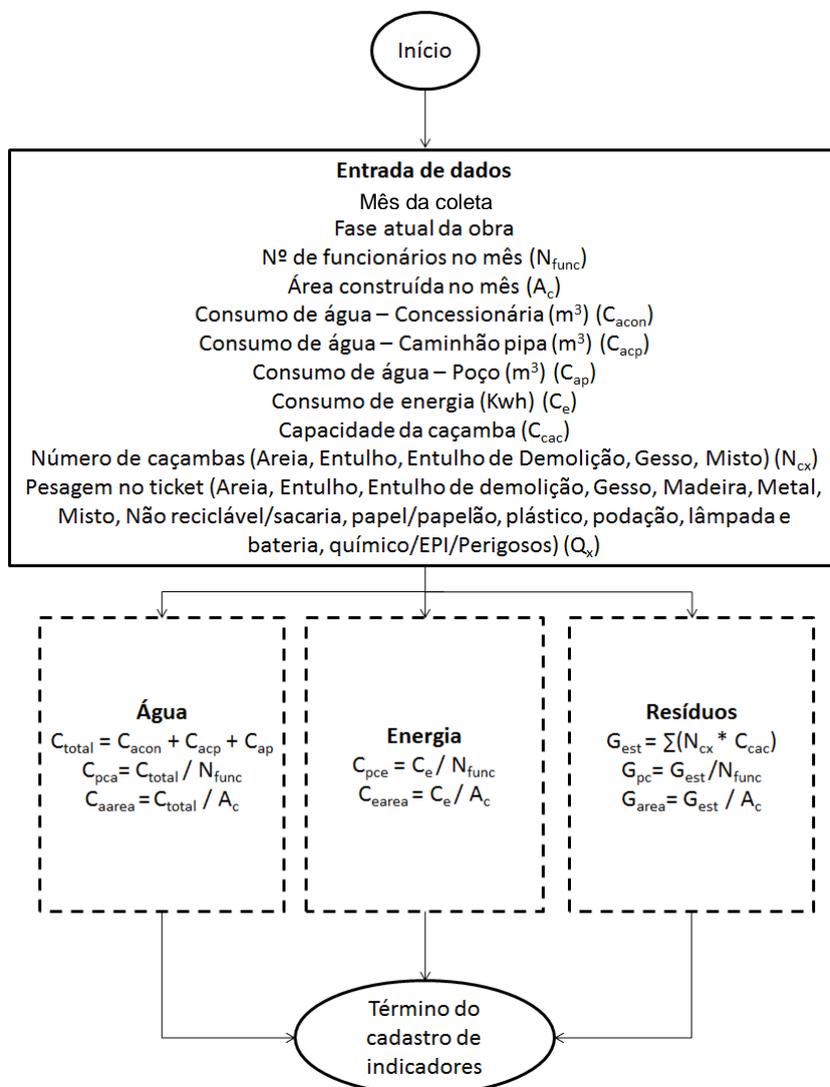
Fonte: Elaborado pelo autor

Além dos *menus* principais do sistema (Projeto e Gerenciamento), acrescentou-se o *menu* “Indicadores Ambientais”, que realiza o monitoramento dos indicadores de sustentabilidade dos canteiros de obras propostos pelo Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), instrumento do governo federal que tem como objetivo de melhorar a qualidade do habitat e da modernização produtiva do setor da construção civil (PBQP-H, 2016). Neste *menu*, foi implementada a ferramenta de registro dos seguintes indicadores:

- *geração de resíduos ao longo da obra*: volume total de resíduos descartados (excluído solo) por trabalhador por mês – medido mensalmente e de modo acumulado ao longo da obra em m^3 de resíduos descartados / trabalhador;
- *geração de resíduos ao final da obra*: volume total de resíduos descartados (excluído solo) por m^2 de área construída – medido de modo acumulado ao final da obra em m^3 de resíduos descartados/ m^2 de área construída;
- *consumo de água ao longo da obra*: consumo de água potável no canteiro de obras por trabalhador por mês – medido mensalmente e de modo acumulado ao longo da obra em m^3 de água/trabalhador;
- *consumo de água ao final da obra*: consumo de água potável no canteiro de obras por m^2 de área construída – medido de modo acumulado ao final da obra em m^3 de água/ m^2 de área construída;
- *consumo de energia ao longo da obra*: consumo de energia elétrica no canteiro de obras por trabalhador por mês – medido mensalmente e de modo acumulado ao longo da obra em kWh de energia elétrica/trabalhador;
- *consumo de energia ao final da obra*: consumo de energia no canteiro de obras por m^2 de área construída – medido de modo acumulado ao final da obra em kWh de energia elétrica/ m^2 de área construída.

Este *menu* foi desenvolvido pelo fato de que outros *softwares* utilizados pelas construtoras não realizam este monitoramento de forma satisfatória. A Figura 91 apresenta o fluxograma de cadastro de indicadores ambientais no Módulo I do SIGERCON³¹.

Figura 91 - Processo de registro dos indicadores ambientais no Módulo I



Fonte: Elaborado pelo autor

Após o registro dos indicadores, é possível exportar uma planilha eletrônica de forma mensal (por obra) e de forma anual (resumo de todas as obras) para acompanhamento das metas propostas para cada indicador. O *layout* da planilha proposta foi desenvolvido em um formato equivalente às planilhas já utilizadas pelas construtoras.

³¹ C_{total} é o consumo total de água no mês (m^3); C_{pa} é o consumo *per capita* de água ($m^3/func$); C_{aarea} é o consumo de água por área construída; C_{pce} é o consumo *per capita* de energia (Kwh/func); C_{earea} é o consumo de energia por área construída; G_{est} é a geração total estimada de resíduos no mês (m^3); G_{pc} é a geração *per capita* de resíduos e; G_{area} é a geração de resíduos por área construída (m^3/m^2).

6.2.2 Módulo II – Órgãos Ambientais

A partir dos resultados obtidos com a aplicação dos indicadores de sustentabilidade e mapeamento dos pontos de deposição irregular em Recife, foram identificadas as maiores dificuldades de órgãos ambientais em relação à gestão integrada de RCD, onde se definiu as ferramentas necessárias para melhoria do sistema de gestão, que compôs o modelo conceitual.

Para este módulo, foram desenvolvidos dois *menus* principais:

- *Gerenciamento*: *menu* utilizado para controle diário da gestão integrada de RCD. Permite aprovar cadastros de novos usuários (construtoras, empresas de transporte e destinação), visualizar documentos destas empresas, monitorar licenças ambientais, e cadastrar pontos de deposição irregular, ecopontos e ATT.
- *Projeto*: ferramenta SAD utilizada para dimensionamento da estrutura necessária para uma gestão adequada dos RCD no município, onde é realizada a caracterização dos resíduos gerados no município e dimensionamento das ecoestações e usinas de beneficiamento, que devem ser instaladas no município.

A instanciação do *Menu* de “Gerenciamento” foi realizada conforme esquema apresentado na Figura 92. Para este módulo, foram estabelecidas 8 ferramentas de gerenciamento: Município, Construtoras, Obras, Transporte, Destinação Final, Pontos Irregulares, Ecopontos e Áreas de Transbordo e Triagem.

Na ferramenta “Município” são cadastradas todas informações referentes ao município usuário do sistema, como dados de população, taxa de crescimento demográfico, área urbana, empresas responsáveis pela coleta de RCD, quantidade de resíduos coletados e área licenciada.

Na ferramenta “Construtoras” é possível aprovar o cadastro das empresas que solicitarem acesso ao sistema, analisar os documentos recebidos e enviar mensagens para as construtoras.

A ferramenta “Obras” tem o objetivo de monitorar o gerenciamento de RCD dos canteiros localizados na área urbana do município. Nesta ferramenta é possível analisar os PGRCC e relatórios parciais e finais enviados por cada obra, além de controlar as licenças ambientais e alvarás de demolição e construção, emitidos pelo órgão responsável por esta atividade.

Já na ferramenta “Pontos irregulares” é possível cadastrar todos os pontos de deposição irregular de RCD mapeados, onde se pode acompanhar a situação de cada ponto em relação à localização, topografia do terreno, classes de resíduos dispostos, tipo de via, tipo de pavimentação, ocupação da área e acessibilidade, sendo possível ainda anexar imagem do local. Dessa forma, identificam-se os pontos considerados mais críticos e, portanto, prioritários para coleta e recuperação da área.

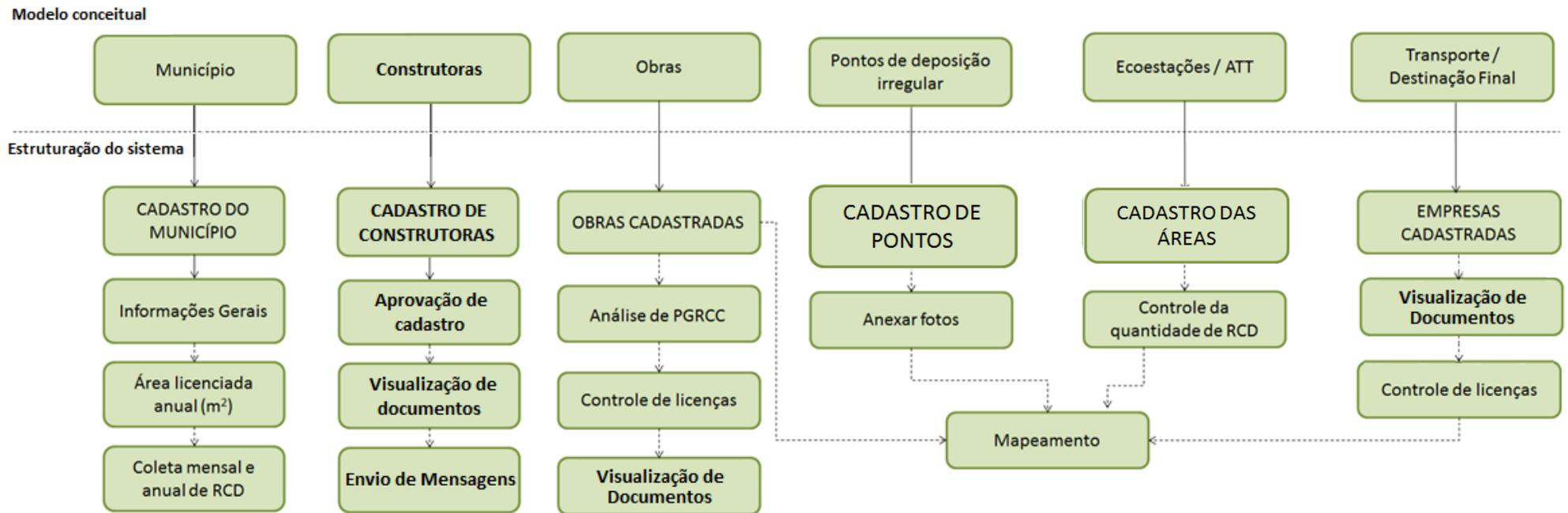
As ferramentas “Ecoestações” e “Áreas de Transbordo e Triagem” possuem a mesma estrutura, onde é possível cadastrar estes equipamentos (para triagem dos resíduos provenientes de pequenos e grandes geradores, respectivamente) em relação ao endereço, coordenadas geográficas, capacidade operacional diária e classes de resíduos recebidos, além de controlar o fluxo de entrada e saída de RCD de cada área.

Além disso, têm-se as ferramentas de “Transporte” e “Destinação Final”, onde é realizada a aprovação do cadastro destes usuários, bem como o controle das licenças e outros documentos das empresas.

O sistema apresenta ainda, em forma de mapa dinâmico, a localização de todos os dados cadastrados no sistema que possuem coordenadas geográficas (obras, pontos de deposição irregular, ecoestações/ATT, áreas de destinação).

Por fim, o módulo II possui a ferramenta de “Denúncias”, onde são registradas as informações acerca dos pontos de deposição irregular de RCD, enviadas pela população e fiscais do órgão ambiental, por meio do aplicativo *mobile* do SIGERCON, descrito no item 6.3.2.

Figura 92 - Fluxograma geral do *menu Gerenciamento* do Módulo II – Órgãos Ambientais



Fonte: Elaborado pelo autor

Além do *menu* “Gerenciamento”, o sistema possui o *menu* “Projeto”, SAD desenvolvido baseado em pesquisas anteriores como de Scremin (2007) e Marques Neto (2009), onde é dimensionada a estrutura da gestão integrada de RCD, a qual o município deve se adequar.

O *menu* “Projeto” possui as ferramentas de “Caracterização” dos resíduos, “Ecoestações” e “Usinas de beneficiamento”. A ferramenta de “Caracterização” dos resíduos realiza automaticamente a estimativa da população atual do município e a geração diária de RCD (t/dia) a partir dos dados inicialmente cadastrados no *menu* “Gerenciamento”.

A estimativa da população é realizada de acordo com a Equação (6.1).

$$\text{Pop}_{\text{atual}} = \text{Pop} * (1 + T_{\text{ca}}^{(\text{Ano}_{\text{atual}} - \text{A}_{\text{uc}})}) \quad (6.1)$$

Onde:

$\text{Pop}_{\text{atual}}$: população no ano presente;

Pop : população do último censo

T_{ca} : taxa de crescimento anual do município

A_{uc} : ano do último censo

A estimativa da geração diária atual de RCD no município pode ser realizada pelo SAD por meio de duas alternativas (Figura 93):

- Alternativa 1: Não se tem dados disponíveis acerca da quantidade de resíduos coletados nos ecopontos, ruas e pontos de deposição irregular de RCD;
- Alternativa 2: Há dados disponíveis acerca da quantidade de resíduos coletados nas ecoestações, ruas e pontos de deposição irregular.

No caso de não existirem dados disponíveis sobre a quantidade de resíduos coletados no município, o cálculo é realizado considerando-se apenas a taxa de geração *per capita* média municipal, conforme a Equação (6.2).

$$G_{\text{RCD}} = (\text{Pop}_{\text{atual}} * G_{\text{PC}})/1000 \quad (6.2)$$

Onde:

G_{RCD} : Geração diária de RCD no município (t/dia);

G_{PC} : Geração *per capita* de RCD (kg/hab.dia).

Por outro lado, quando são cadastrados no sistema os dados mensais referentes à coleta de RCD em ecopontos, ruas e pontos de deposição irregular, o sistema apenas realiza a soma dos dados, conforme a Equação (6.3).

$$G_{\text{RCD}} = Q_{\text{eco}} + Q_{\text{cm}} + Q_{\text{di}} \quad (6.3)$$

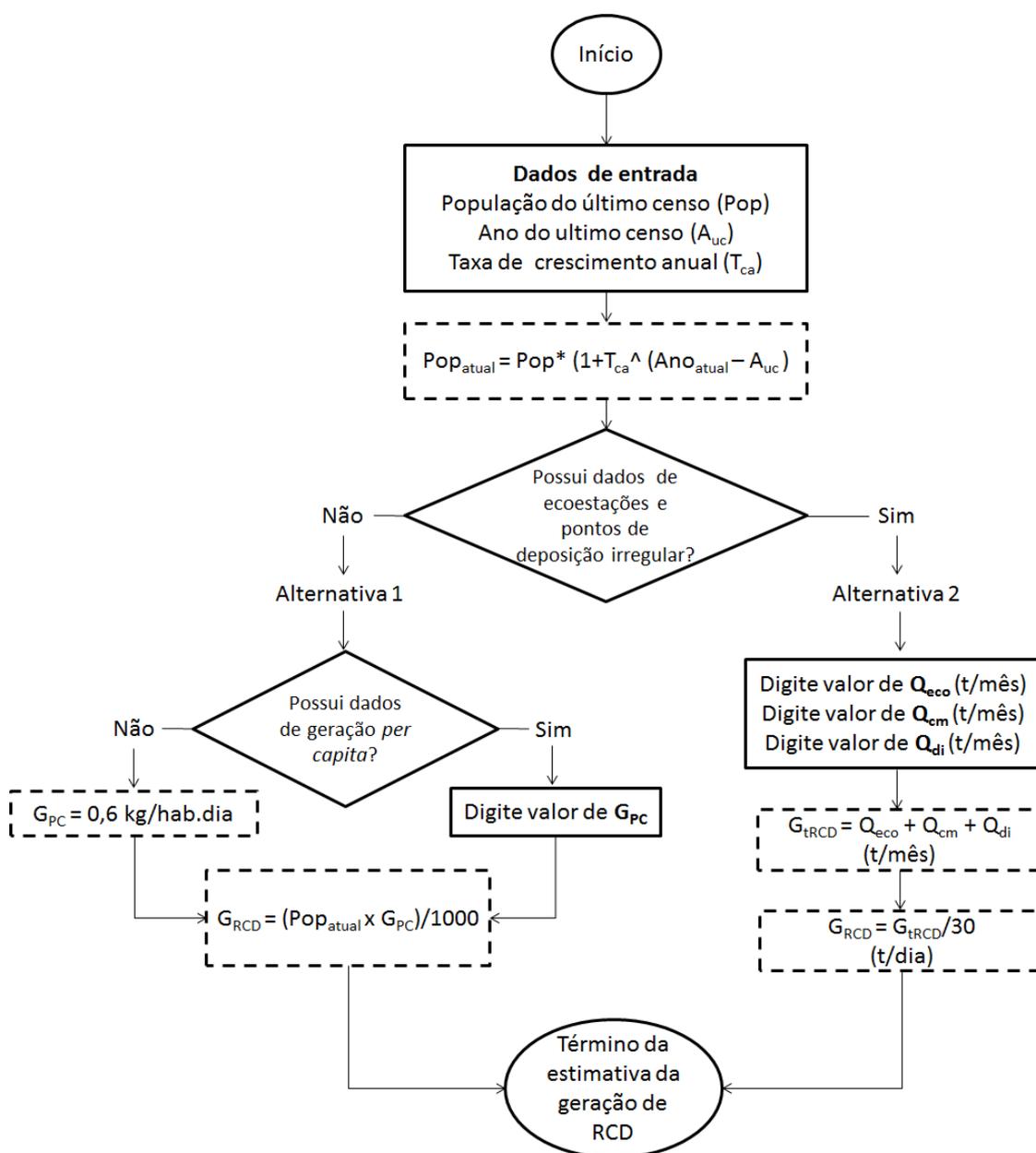
Onde:

Q_{eco} : Quantidade de resíduos coletados nos ecopontos (t/mês);

Q_{cm} : Quantidade de resíduos coletados nas ruas do município (t/mês);

Q_{di} : Quantidade de resíduos provenientes de pontos de deposição irregular (t/mês).

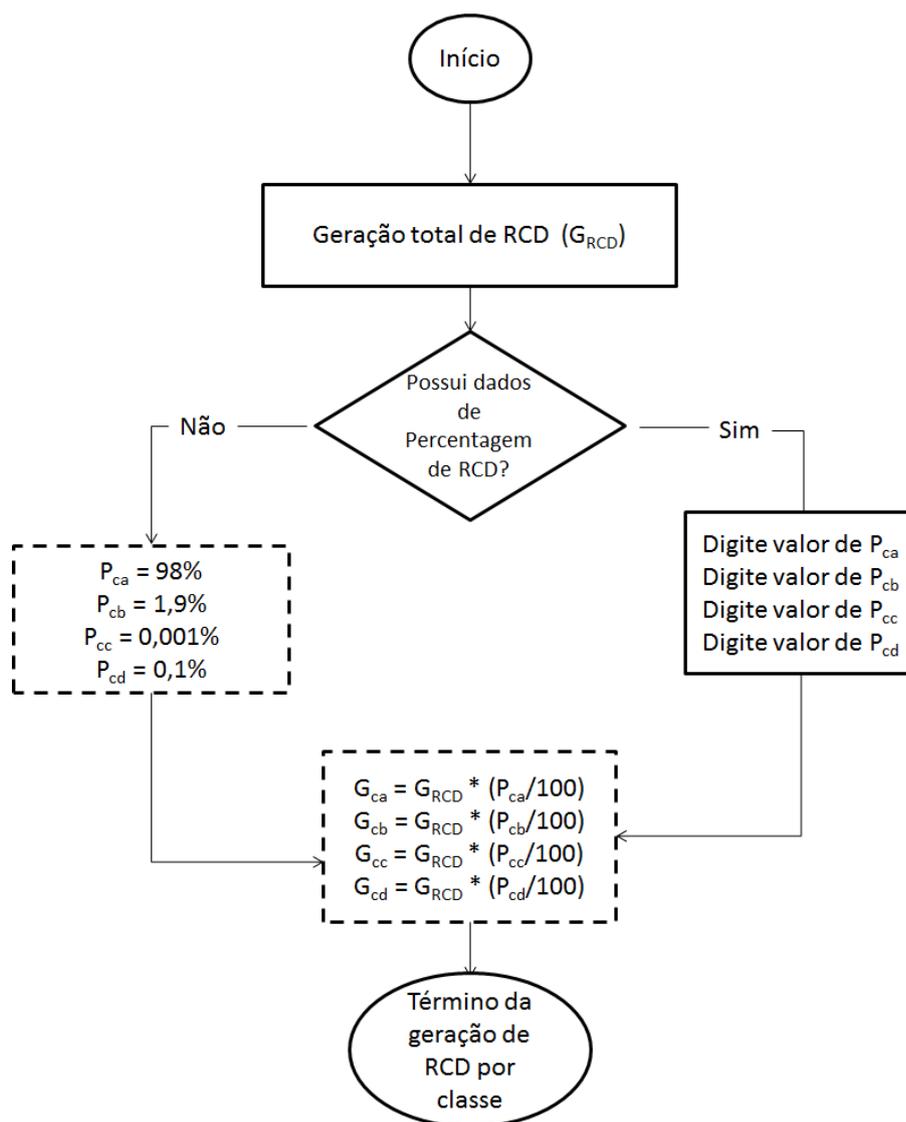
Figura 93 - Fluxograma do cálculo da estimativa de geração de RCD do município



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a estimativa da geração total de resíduos do município, o sistema irá calcular a quantidade de resíduos por classe, segundo a Resolução CONAMA nº 307/2002 (Figura 94) e a geração por tipo de material (Figura 95). A percentagem de cada classe e material utilizada no banco de dados do sistema foi baseada em pesquisas anteriores.

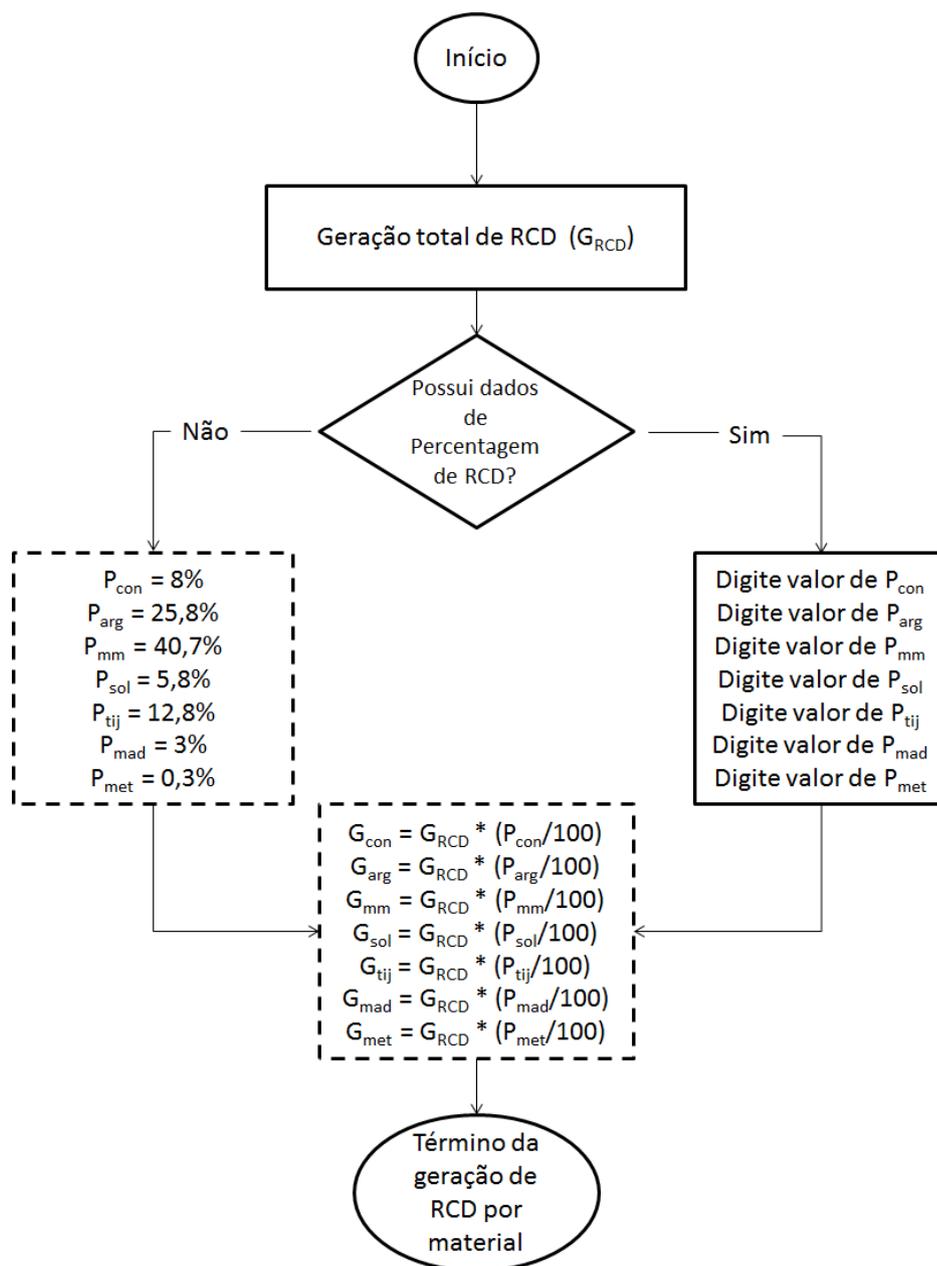
Figura 94 - Fluxograma do cálculo da geração de RCD por classe



Fonte: Elaborado pelo autor

Caso o usuário já possua dados referentes à composição de RCD do município, o sistema permite que sejam inseridos os dados para a estimativa. Caso o usuário não possua, o sistema utiliza os indicadores do banco de dados. Em relação aos materiais estimados, considerou-se o concreto, argamassa, material miúdo, solo, tijolo, madeira e metal.

Figura 95 - Fluxograma do cálculo da geração de RCD por material



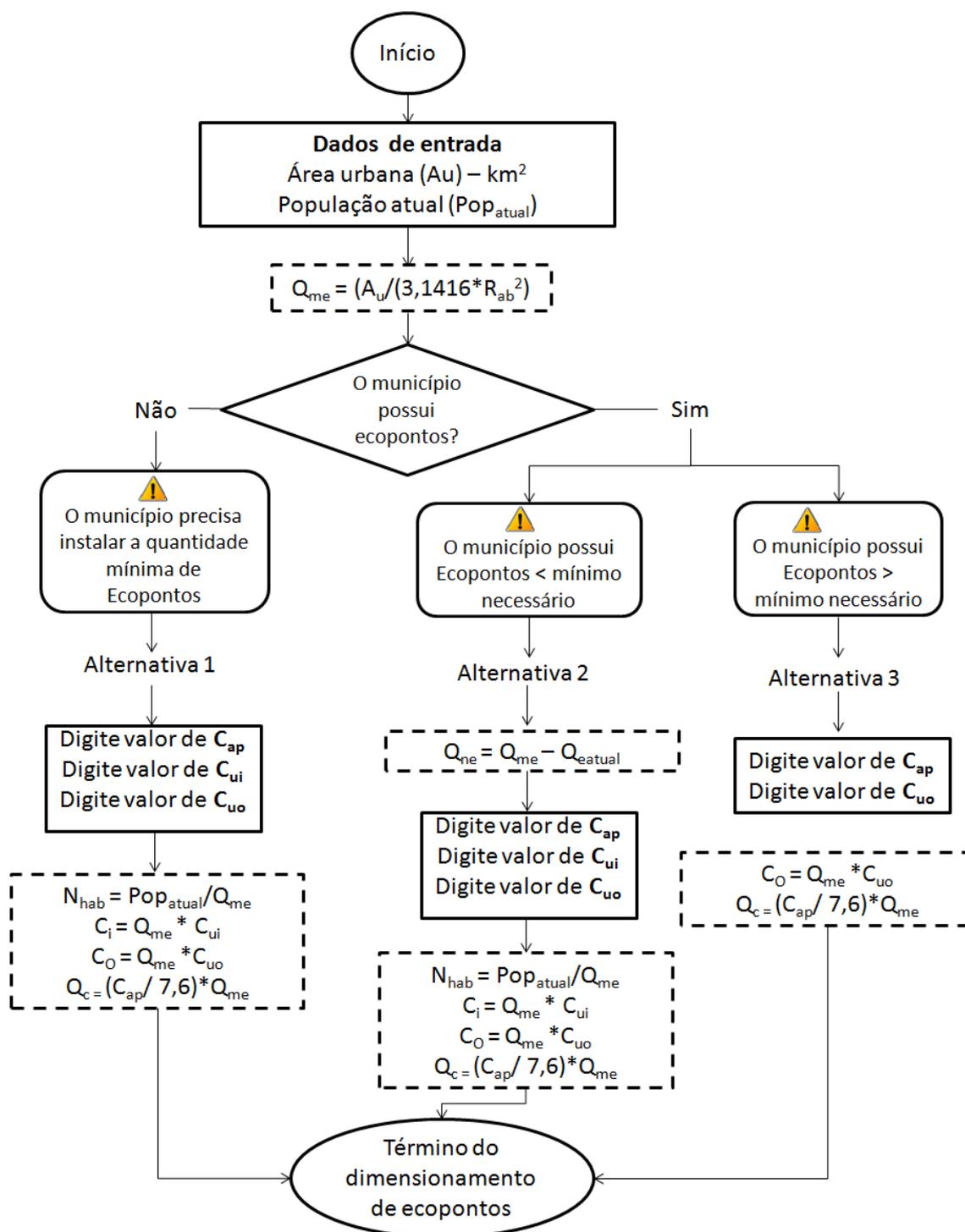
Fonte: Elaborado pelo autor

Após a estimativa da quantidade de resíduos gerados no município, o sistema realiza uma avaliação das ecoestações necessárias para a realização da triagem, coleta e destinação adequada dos RCD proveniente dos pequenos geradores (Figura 96).

Neste caso, consideram-se três alternativas:

- Alternativa 1: O município não possui ecoestações;
- Alternativa 2: O município possui ecoestações < mínimo necessário;
- Alternativa 3: O município possui ecoestações > mínimo necessário.

Figura 96 - Fluxograma do dimensionamento das ecoestações



Fonte: Elaborado pelo autor

O cálculo da quantidade mínima de ecoestações (Q_{me}) necessárias no município utilizado pelo sistema, baseia-se na Equação (6.4), proposta por Scremin (2007), que considera a área urbana do município (A_u) e o raio de abrangência da bacia de captação da ecoestação (R_{ab}):

$$Q_{me} = \frac{A_u}{(\pi \times R_{ab}^2)} \quad (6.4)$$

No caso da Alternativa 2, em que já existem ecoestações instaladas abaixo da quantidade mínima, o sistema calcula a quantidade de novas ecoestações (Q_{ne}) a serem instaladas por meio da Equação (6.5):

$$Q_{ne} = Q_{me} - Q_{eatural} \quad (6.5)$$

Onde:

$Q_{eatural}$: Quantidade atual de ecoestações

Após o cálculo da quantidade mínima, o sistema calcula o índice de N° de habitantes (N_{hab}) por ecoestação, conforme a Equação (6.6):

$$N_{hab} = Pop_{total}/Q_{me} \quad (6.6)$$

Em relação ao aspecto econômico, o sistema calcula o custo de instalação (C_i) e o custo de operação (C_o) das ecoestações. A Equação (6.7) apresenta o cálculo referente ao custo de instalação e a Equação (6.8) apresenta o cálculo do custo de operação:

$$C_i = Q_{me} * C_{ui} \quad (6.7)$$

$$C_o = Q_{me} * C_{uo} \quad (6.8)$$

Onde:

C_{ui} : Custo unitário de instalação (R\$/ecoestação)

C_{uo} : Custo unitário de operação (R\$/ecoestação)

Por fim, calcula-se a quantidade de caçambas (Q_c) necessárias para coletar e acondicionar todos os resíduos a serem entregues às ecoestações, de acordo com a Equação (6.9)³²:

$$Q_c = \left(\frac{Cap}{7,6}\right) * Q_{me} \quad (6.9)$$

Onde:

Cap: Capacidade de recebimento de RCD das ecoestações (t/dia)

³² Para o cálculo, considerou-se a capacidade média de acondicionamento de 7,6 t de RCD em uma caçamba, com volume de 6 m³, obtendo uma densidade de 1,26 t/m³, valor obtido pelas 2900 caçambas registradas nas 20 obras analisadas.

Para a destinação correta dos RCD Classe A, o sistema propõe a instalação de uma usina pública de beneficiamento de resíduos. Nesse caso, são previstas duas alternativas:

- Alternativa 1: O município não possui usina pública de RCD;
- Alternativa 2: O município possui no mínimo uma usina pública de RCD.

Para o dimensionamento da usina, calculou-se inicialmente a capacidade do britador, considerando 8 horas de funcionamento da usina, e 80% da quantidade de resíduos Classe A, enviados para a usina (considerando a contaminação de uma parcela dos RCD com outras classes e a deposição irregular), conforme a Equação (6.10):

$$C_b = \left(\frac{G_{ca}}{8} \right) * 0,8 \quad (6.10)$$

Onde:

C_b : Capacidade do britador (t/h);

G_{ca} : Geração de resíduos Classe A

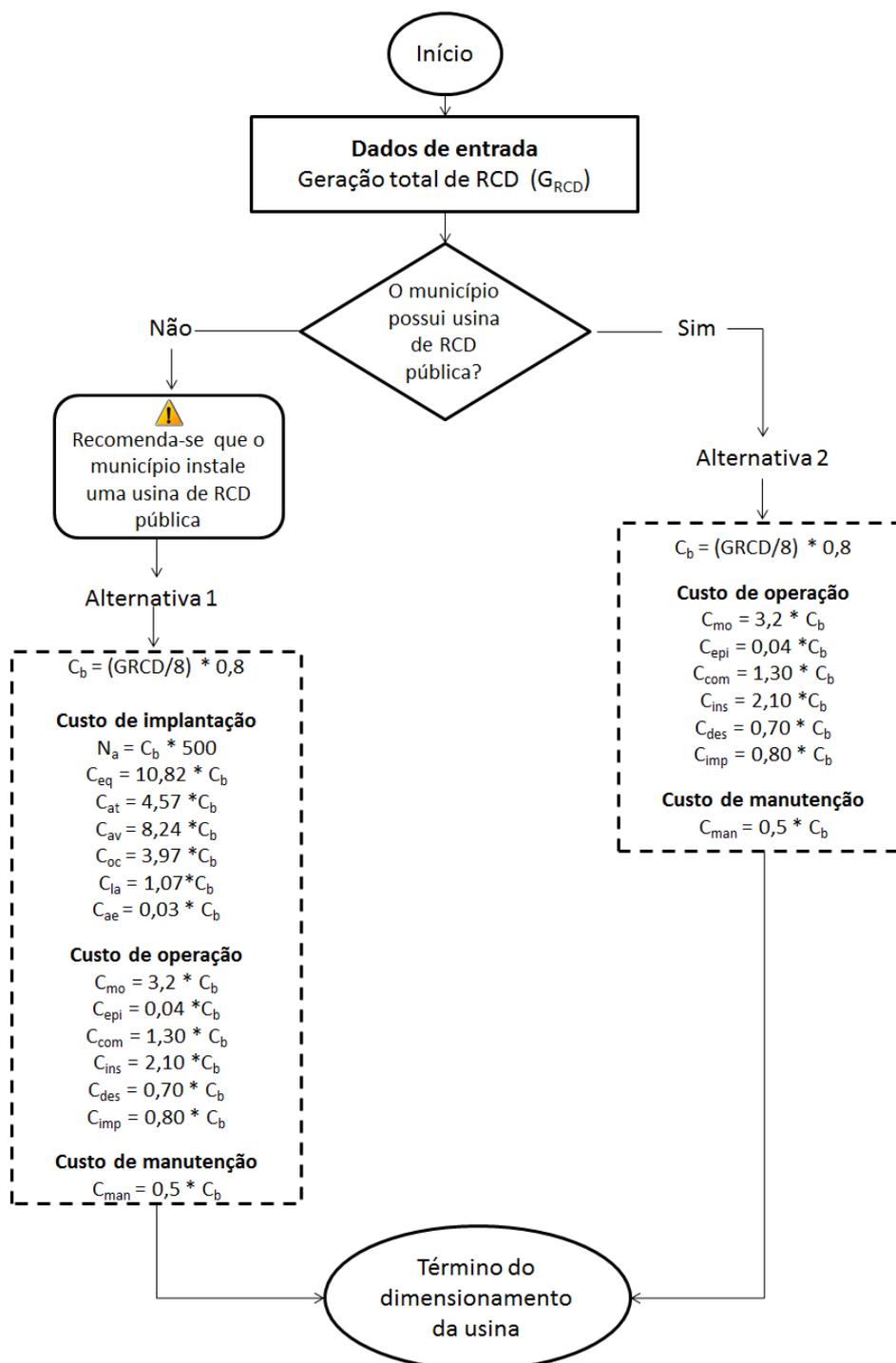
A Equação (6.11) apresenta o cálculo da área mínima necessária (A_n) para a instalação da usina, baseado em pesquisas anteriores (STOLZ, 2008; CORRÊA *et al.*, 2009; ESGUICERO, 2010; LEITE *et al.*, 2010; PORTO, 2011; CARDOSO, 2011; PAIVA *et al.*, 2012), onde se observou uma taxa de 500 m²/t.h de RCD britado na usina.

$$A_n = C_b * 500 \quad (6.11)$$

Em termos econômicos, foram utilizadas as composições de custo referente à implantação, operação e manutenção de usinas de RCD (Figura 97) apresentados no Capítulo 2³³, de acordo com a capacidade de britagem da usina. Para a alternativa 2, considerou-se apenas os custos de operação e manutenção da usina.

³³ Vide a Tabela 17, e Figuras 22 e 23, onde são apresentados os dados levantados na literatura referente aos custos de implantação e operação de usinas de beneficiamento de RCD.

Figura 97 - Fluxograma do dimensionamento da usina de RCD pública



Fonte: Elaborado pelo autor

Para esse dimensionamento, foram calculados os custos de implantação referente a:

- aquisição e instalação de equipamentos (C_{eq});
- aquisição de terreno (C_{at});
- aquisição de veículos (C_{av});

- terraplenagem, contenções e obras civis (C_{oc});
- licenciamento Ambiental (C_{la}); e
- abertura de empresa (C_{ae}).

Em relação à operação, considerou-se os custos de:

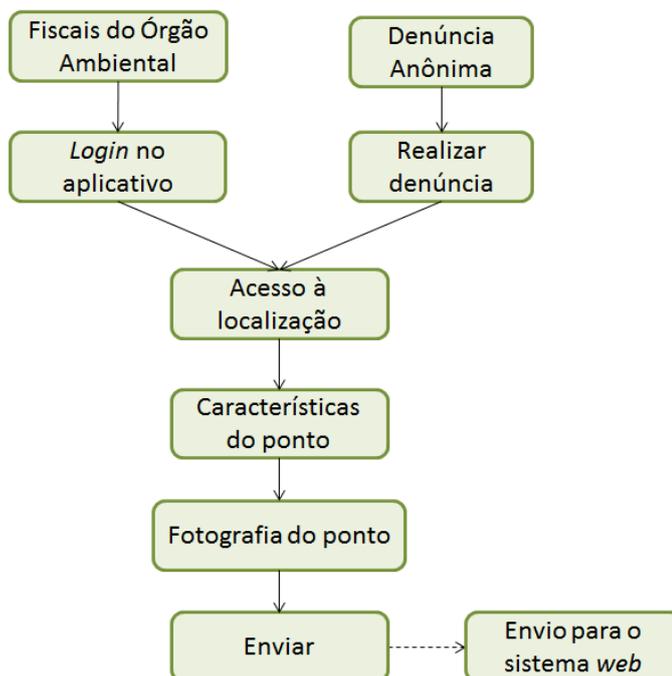
- mão de obra de produção (C_{mo});
- equipamentos de proteção individual (C_{ep});
- combustível (C_{com});
- insumos (C_{ins});
- despesas administrativas (C_{da}); e
- imposto sobre faturamento (C_{imp})

Considerou-se, ainda, os custos de manutenção (C_{man}). O banco de dados utilizado está descrito no item 2.7.4.

6.2.3 Sistema Mobile do SIGERCON

A instanciação do aplicativo mobile do SIGERCON está relacionada às necessidades dos órgãos ambientais de mapear os pontos de deposição irregular de RCD, visualizar as informações de forma dinâmica e atualizar sistematicamente o banco de dados, com a contribuição de toda a sociedade.

Neste sentido, a Figura 98 apresenta a estruturação do aplicativo, de acordo com o tipo de usuário.

Figura 98 - Fluxograma de funcionamento do sistema *mobile*

Fonte: Elaborado pelo autor

Com essa estrutura, o aplicativo possui duas ferramentas: uma para os fiscais, e outra para denúncias anônimas. Para a sociedade, é permitido realizar uma denúncia anônima, necessitando somente preencher os dados apresentados no Quadro 42.

Quadro 42 - Dados requeridos para denúncia no sistema *mobile*

Item	Descrição
Porte da pilha dos resíduos	- Saco (Pequeno Porte) - Caçamba (Médio Porte) - Terreno (Grande Porte)
Entorno	- Casa - Escola - Hospital - Comércio - Vegetação - Rio
Tipo de resíduos	- Entulho - Orgânico - Poda

Fonte: Elaborado pelo autor

Para que seja possível mapear os pontos de deposição irregular, é preciso ter acesso aos dados de localização do GPS do *smartphone*, para que as coordenadas sejam enviadas ao sistema *web*. O aplicativo permite também que os pontos sejam fotografados, para uma análise posterior do gestor do Módulo II. O mesmo processo ocorre para os fiscais dos órgãos ambientais, que além de cadastrar os pontos, também poderá visualizar as denúncias em um mapa no próprio aplicativo.

Os pontos de deposição enviados ao sistema *web* são classificados inicialmente como “pendentes”. O gestor deve então analisar cada denúncia e confirmar se é de fato um ponto de deposição irregular de RCD, para que apareça no mapa. Caso não seja um ponto de deposição, aquela denúncia é descartada.

6.2.4 Módulo III– Transporte e destinação final de resíduos

A instanciação do Módulo III, voltado para as empresas de transporte e destinação final de RCD, foi realizado considerando apenas o *menu* de “Gerenciamento”, visto que não foi identificada a necessidade de implementação de uma ferramenta de projeto.

Foram implementadas as seguintes ferramentas do Módulo III (Figura 99): Dados da empresa, obras; destinação; coleta de resíduos; relatórios; análise estatística e análise econômica.

Na ferramenta “Dados da Empresa” é possível editar os dados que já foram preenchidos na solicitação de cadastro ao Órgão Ambiental, bem como anexar os documentos da empresa solicitados pelo órgão ambiental, em especial, as licenças ambientais.

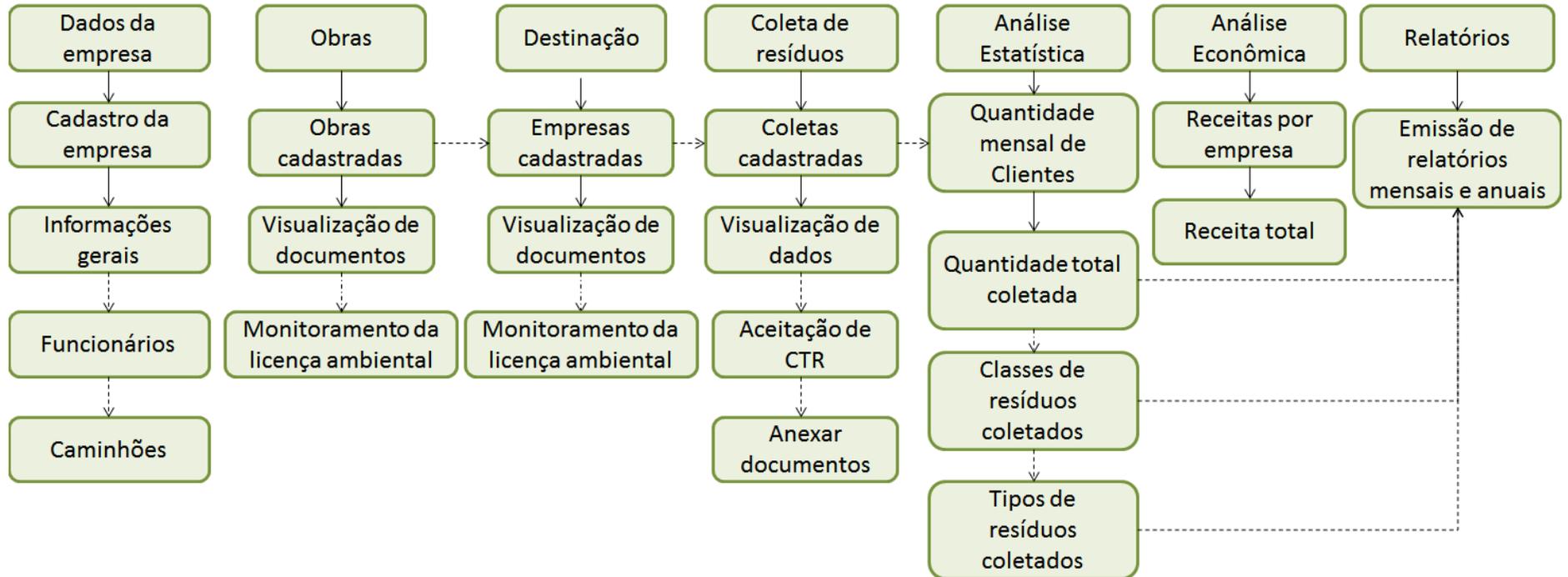
A ferramenta de “Obras” permite que sejam visualizadas as obras que solicitaram coleta de resíduos e destinação ao usuário. Nesta ferramenta, podem ser visualizados os documentos anexados por cada obra (alvará de construção, licenças ambientais, etc.). Quanto à ferramenta de destinação, é possível que o transportador visualize também os documentos da empresa em que são destinados os resíduos coletados.

A “Coleta de Resíduos” é utilizada para acompanhar as solicitações de coleta das obras. Quando a obra cadastra uma saída de caçamba, o transportador recebe uma notificação desta coleta, pode visualizar os dados e gerar um Controle de Transporte de Resíduos (CTR), caso seja necessário.

A ferramenta de relatórios é utilizada pelas empresas de transporte e destinação final para gerar os relatórios mensais e anuais necessários aos clientes e órgão ambiental. Os relatórios são gerados de forma automática, de acordo com os dados cadastrados na “Coleta de Resíduos”.

Nas ferramentas de “Análise Estatística” e “Análise Econômica” o usuário pode acompanhar as informações relativas aos resíduos coletados/tratados, bem como a receita obtida por esta atividade. É possível gerar também um relatório dessas ferramentas para controle interno do usuário.

Figura 99 - Fluxograma geral do Módulo III – Transporte e destinação final



Fonte: Elaborado pelo autor

6.2.5 Integração dos módulos do SIGERCON

Os três módulos do SIGERCON foram integrados após a codificação, de acordo com o estabelecido no Modelo Conceitual (Figura 100). O Quadro 43 apresenta os dados que são enviados entre os módulos

Quadro 43 - Resumo das informações integradas do SIGERCON

Recebe / Envia	Módulo I – Construtora	Módulo II – Órgãos Ambientais	Módulo III – Transportadora
Módulo I – Gerador		<ul style="list-style-type: none"> - Solicita acesso (Tela principal) - Envia as obras que foram cadastradas (Gerenciar Obras) - Envia licenças e relatórios 	<ul style="list-style-type: none"> - Envia cadastro de cada coleta de resíduos (Coleta de Resíduos)
Módulo II – Órgãos Ambientais	<ul style="list-style-type: none"> - Aprova cadastro - Envia mensagens - Aprova PGRCC - Aprova Relatórios Parciais - Aprova Relatórios Finais 		<ul style="list-style-type: none"> - Aprova Cadastro - Aprova relatórios
Módulo III – Transportadora	<ul style="list-style-type: none"> - Envia relatórios mensais (Relatórios) 	<ul style="list-style-type: none"> - Solicita acesso (Tela principal) - Envia documentos (Dados da empresa) - Envia relatórios mensais e anuais (Relatórios) 	

Fonte: Elaborado pelo autor

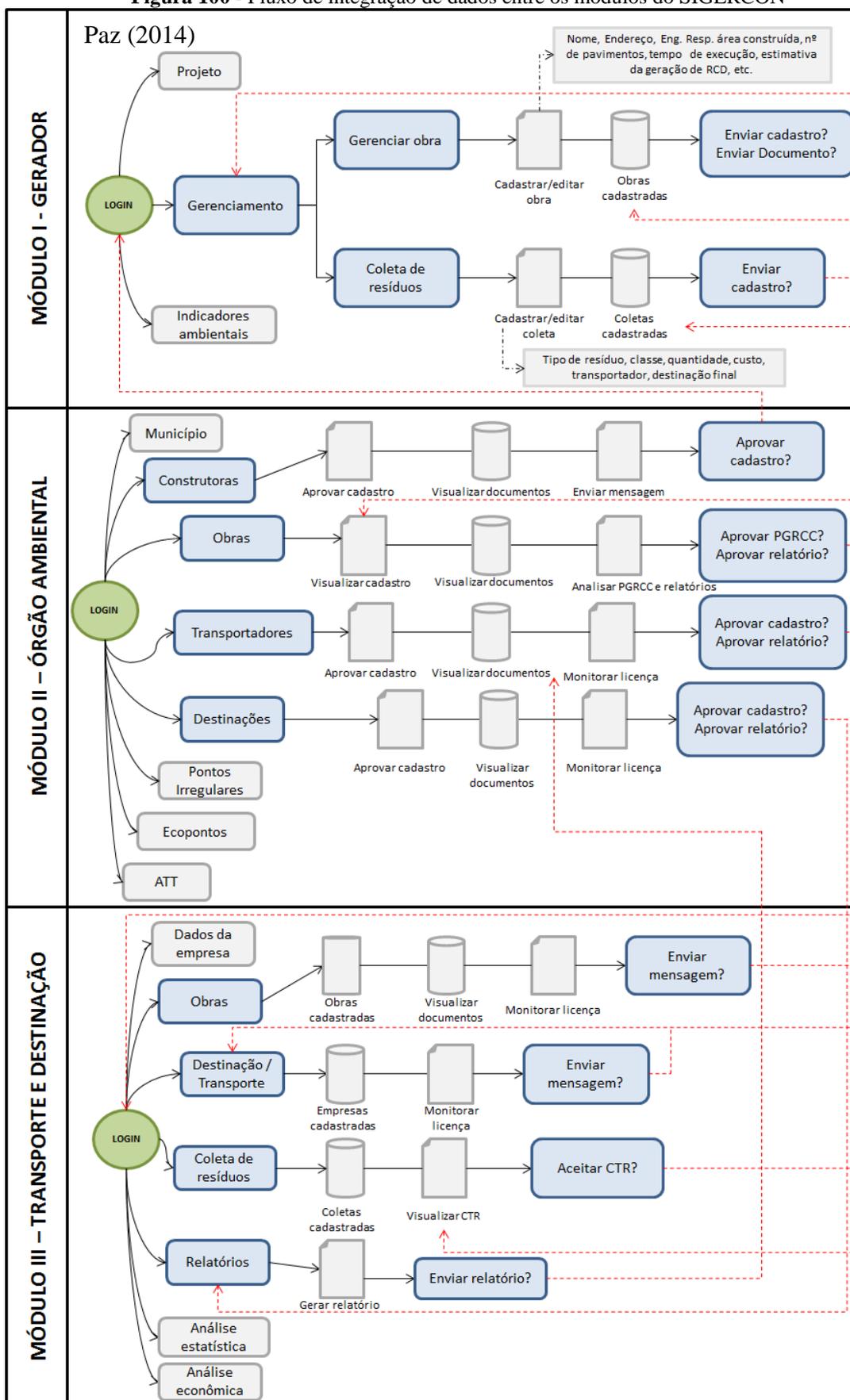
Para que os geradores e empresas de transporte e destinação possam utilizar o sistema, precisam solicitar acesso ao órgão ambiental, por meio do preenchimento de um formulário com os dados da empresa, disponibilizado no sistema.

Com o acesso aprovado pelo órgão ambiental, o usuário receberá por email o *login* e senha provisórios. Ao entrar no sistema, será possível alterar os dados de cadastro, bem como os dados de acesso.

Cada cadastro de obra realizado pelo gerador é enviado ao órgão ambiental para monitoramento. O órgão ambiental deverá inicialmente analisar e aprovar o PGRCC das obras, para que as ferramentas de cadastro de coleta, compra de agregados reciclados e reutilização de resíduos sejam liberados. Ao fim da obra, o órgão ambiental deverá aprovar o relatório final, para que o gerenciamento da obra seja concluído.

As empresas de transporte e destinação de resíduos receberão no sistema todas as coletas que forem cadastradas pelo gerador, com o respectivo CTR. O cadastro deverá ser analisado e o CTR aprovado, para que se possa realizar a coleta dos resíduos. Mensalmente, essas empresas deverão enviar relatórios para o órgão ambiental.

Figura 100 - Fluxo de integração de dados entre os módulos do SIGERCON



Fonte: Elaborado pelo autor

6.3 CODIFICAÇÃO DO SISTEMA

Na etapa de codificação do sistema, são apresentadas as telas desenvolvidas para o sistema *web* (que inclui os módulos do *software*), e o sistema *mobile* (Aplicativo do SIGERCON).

6.3.1 Sistema Web

A partir da estruturação dos módulos do SIGERCON, realizou-se a codificação dos *menus* e ferramentas do sistema *web*. São apresentadas a seguir as telas desenvolvidas nesta pesquisa.

A Figura 101 apresenta a ferramenta de indicadores ambientais, acrescentada ao Módulo I – Geradores. Os dados podem ser exportados em planilha eletrônica para elaboração dos relatórios por parte das construtoras.

Figura 101 - Ferramenta de cadastro de indicadores ambientais no Módulo I

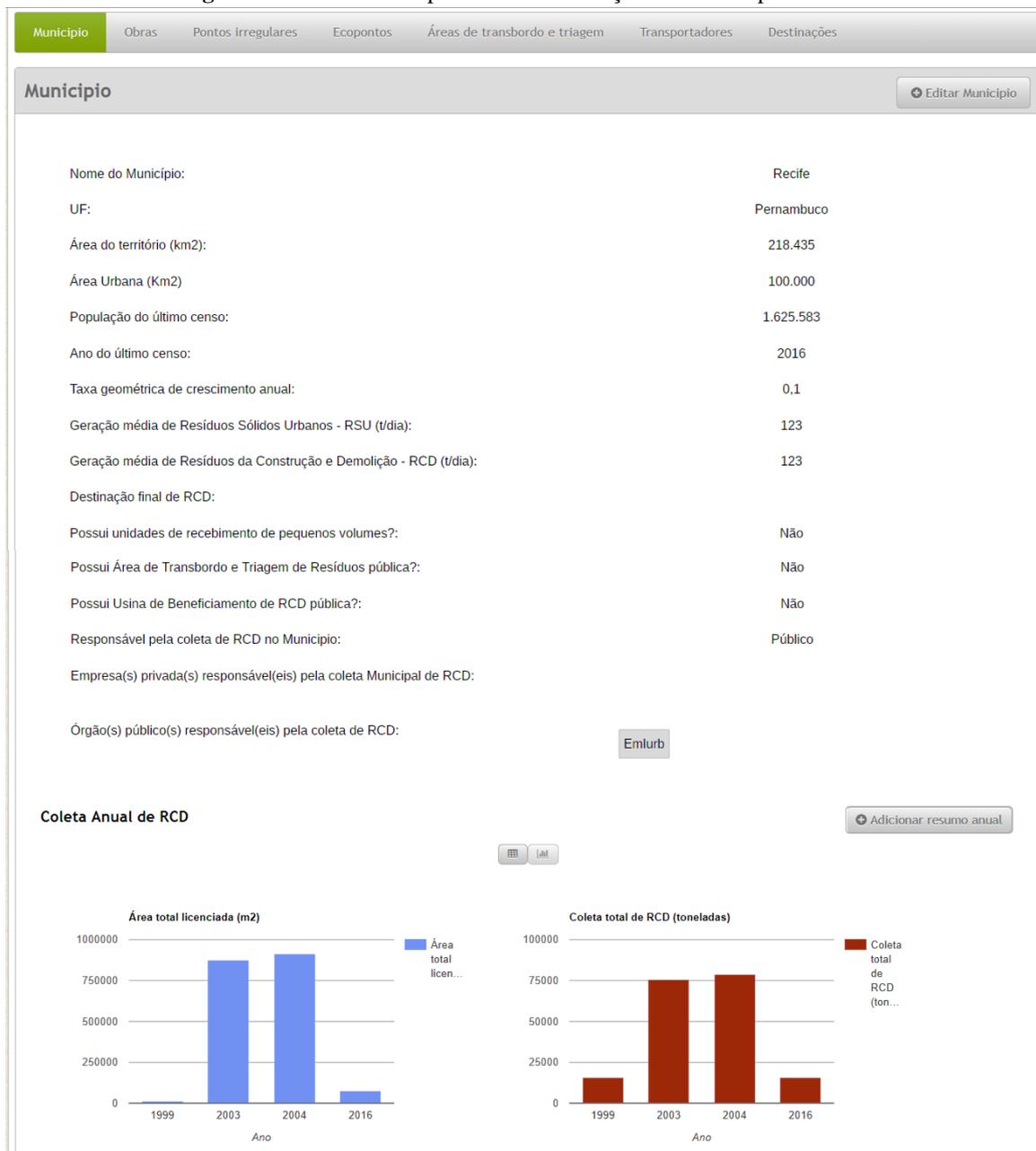
✓	Mês	Funcionários	Área construída (m ²)	Geração estimada (m ³)	Geração per capita (m ³ /func)	Consumo total de água (m ³)	Consumo per capita (m ³ /func)	Consumo Total de energia (kwh)	Consumo per capita (kwh/func)	Data Criação	Ação
<input type="checkbox"/>	7/2016	96	0,00	12,00	0,13	170,00	1,77	300,00	3,13	28/09/2016	
<input type="checkbox"/>	6/2016	31	0,00	15,00	0,48	507,00	16,35	3.802,00	122,65	05/09/2016	
<input type="checkbox"/>	5/2016	31	0,00	15,00	0,48	254,00	8,19	3.470,00	111,94	05/09/2016	
<input type="checkbox"/>	4/2016	38	0,00	0,00	0,00	20,00	0,53	338,00	8,89	13/06/2016	
<input type="checkbox"/>	3/2016	51	0,00	0,00	0,20	175,00	3,43	2.461,00	48,25	09/06/2016	
<input type="checkbox"/>	2/2016	47	0,00	0,00	0,00	132,00	2,81	2.065,00	43,94	09/06/2016	
<input type="checkbox"/>	1/2016	48	0,00	20,00	0,42	115,00	2,40	2.129,00	44,35	09/06/2016	
<input type="checkbox"/>	12/2015	48	0,00	24,00	0,50	151,00	3,15	2.917,00	60,77	31/10/2016	

Fonte: Elaborado pelo autor

Quanto ao Módulo II, para que seja criado um perfil de um órgão ambiental, é preciso que este seja cadastrado inicialmente no *menu* do administrador do sistema, onde é gerado um *login* e uma senha para acesso do gestor do órgão.

Após o acesso, o gestor deve editar e atualizar as informações contidas no Módulo II, conforme a Figura 102.

Figura 102 - Ferramenta para editar informações do município no Módulo II



Fonte: Elaborado pelo autor

Para que os geradores, transportadores e empresas de destinação final possam ter acesso ao SIGERCON, devem realizar a solicitação na tela principal do SIGERCON, conforme a Figura 103. A Figura 104 apresenta os dados necessários para a solicitação de cadastro.

Figura 103 - Solicitação de acesso na tela principal do SIGERCON



E-mail

Senha

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 104 - Cadastro de usuários – Tela principal do SIGERCON

Cadastro de usuários

Tipo de usuário
 Construtora Transportador Destinação

Dados do empreendedor

Empresa <input type="text"/>	Fone (RL) <input type="text"/>
E-mail <input type="text"/>	Fax (RL) <input type="text"/>
Imagem <input type="button" value="Escolher arquivo"/> Nenhum arquivo selecionado	Pessoa de Contato (PC) <input type="text"/>
CNPJ <input type="text"/>	CPF (PC) <input type="text"/>
Endereço <input type="text"/>	E-mail (PC) <input type="text"/>
Telefone <input type="text"/>	Fax (PC) <input type="text"/>
Representante Legal (RL) <input type="text"/>	Documentos <input type="button" value="Adicionar documentos"/>
Endereço (RL) <input type="text"/>	• Sem documentos selecionados

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 105 apresenta a ferramenta de “Obras”, onde são disponibilizados os dados de cada obra cadastrados pela construtora. As seguintes ferramentas estão disponíveis:

- *Visualizar dados da obra*: visualiza-se os dados da obra que foram cadastrados pela construtora, mas não será permitido alterar;
- *Analisar documentos*: ferramenta para aprovação de PGRCC e relatórios parciais e finais das obras (Figura 106);
- *Verificar licença ambiental*: ferramenta para os órgãos ambientais acompanharem a situação documental da obra. Caso a licença esteja vencida, o órgão ambiental poderá bloquear o acesso e a construtora receberá um email informando que aquela obra está bloqueada.

A Figura 107 apresenta a tela referente às empresas de transporte que atuam no município, e que solicitaram acesso. Nesta ferramenta, é possível também visualizar os documentos das empresas e acompanhar a situação da licença ambiental.

As construtoras, portanto, só poderão emitir o Controle de Transporte de Resíduos (CTR) após identificar qual empresa licenciada irá coletar e qual empresa irá receber os resíduos, facilitando a rastreabilidade das caçambas.

Figura 105 - Ferramenta de monitoramento de obras – Módulo II



✓	Nome	Endereço	Construtora	Início da obra	Término da obra	Estimativa geração(t)	Ação
<input type="checkbox"/>	Obra 1	Av. Inácio Monteiro, nº 958, Cordeiro	Construtora 1	05/2017	12/2019	1257,00	  
<input type="checkbox"/>	Obra 2	Rua Demócrito de Souza Filho, 156, Madalena	Construtora 2	04/2018	05/2020	4.567,00	  

© Copyright 2018 - v 1.12.02

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 106 - Ferramenta de análise dos PGRCC das obras

The screenshot shows a web application interface for SIGERCON. A modal window titled "Adicionar novo documento" is open over a background page. The modal contains the following fields and controls:

- Obra:** Obra Teste
- Data de protocolo:** [Empty text box]
- Nº de protocolo:** [Empty text box]
- Tipo de documento:** PGRCC (dropdown menu)
- Situação do documento:** Em aberto (dropdown menu)
- Observações:** [Empty text area]
- Arquivo:** Escolher arquivo | Nenhum arquivo selecionado
- Buttons:** salvar (green), cancelar (red)

The background page shows a navigation menu with "Obras" selected, a table with one row (28/03/2017, Obra Teste), and a "Destinações" section with an "Anexar novo documento" button.

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 107 - Ferramenta de monitoramento de empresas de transporte

The screenshot displays the "Transportadores" section of the SIGERCON system. It features a navigation bar with "Transportadores" highlighted. Below the navigation bar, there is a "Cadastrar Transportador" button and a table listing registered transport companies.

Nome	Telefone	Pessoa contato	Telefone contato	Cadastrado na EMLURB	Situação cadastro EMLURB	Ação
Empresa 1		Eduardo		Sim	Atualizada	[Edit] [Delete]
Empresa 2		Luís Carlos		Sim	Atualizada	[Edit] [Delete]

At the bottom of the page, there is a copyright notice: "© Copyright 2018 - v 1.12.02".

Fonte: Elaborado pelo autor

A ferramenta de cadastro de pontos de deposição irregular de RCD é apresentada na Figura 108, onde é possível classificar os pontos de acordo com o tipo de material encontrado, porte, e características do entorno. Após o cadastro, os pontos são enviados automaticamente para o mapa de monitoramento, presente no sistema para facilitar a visualização dos pontos.

O cadastro dos pontos pode ser realizado diretamente pelo gestor por meio do sistema, ou através de análise e aprovação das denúncias enviadas pelos fiscais e população em geral por meio do aplicativo *mobile*.

Figura 108 - Ferramenta de cadastro de pontos de deposição irregular de RCD

Bem-vindo,

Município Obras **Pontos irregulares** Ecopontos Áreas de transbordo e triagem Transportadores Destinações

Pontos irregulares Cadastrar Ponto irregular

Remover selecionados

✓	Data	Código	Endereço	Bairro	Área (m ²)	Classes	Tipos de resíduos	Ação
<input type="checkbox"/>	01/01/2016	PC1		Encruzilhada	0	A	Concreto	
<input type="checkbox"/>	01/01/2016	PC2		Hipódromo	0	A B	Concreto; Cerâmico; Poda	
<input type="checkbox"/>	01/01/2016	PC3		Arruda	0			

© Copyright 2018 - v 1.12.02

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 109 apresenta a ferramenta de cadastro de ecopontos (URPV) existentes no município (o cadastro de ATT é idêntico). Após o cadastro dos locais e suas coordenadas, os dados também são enviados para o mapa de monitoramento, para que seja possível comparar os dados das áreas de triagem com os pontos de deposição irregular e obras cadastradas.

Figura 109 - Ferramenta de cadastro de ecopontos

Município Obras Pontos irregulares **Ecopontos** Áreas de transbordo e triagem Transportadores Destinações

Ecopontos Cadastrar Ecoponto

Remover selecionados

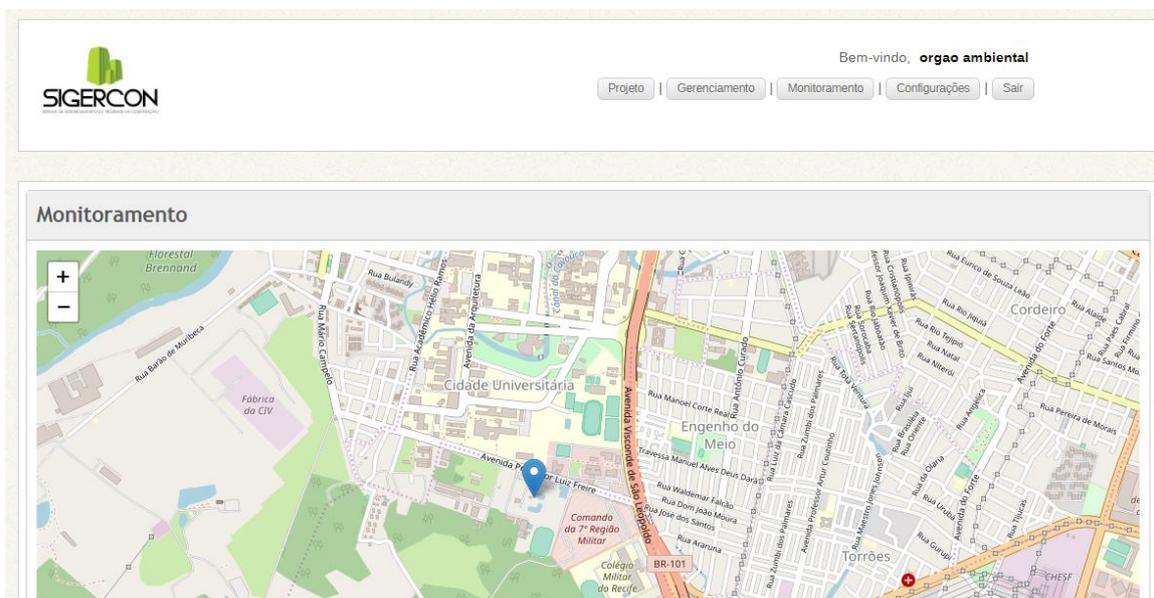
✓	Nome	Classes de Resíduos	Endereço do Ecoponto	Bairro	Capacidade Operacional(m3)	Área(m2)	Ação
<input type="checkbox"/>	EE Campo Grande	A B	Av. Agamenon Magalhães com a Rua Odor...	Campo Grande	30	1.047	
<input type="checkbox"/>	EE Arruda	A B	Av. Prof. José dos Anjos, S/N - Arruda.	Arruda	30	783	
<input type="checkbox"/>	EE Torre	A B	Rua Ciclovía República da Argélia com...	Torre	30	726	
<input type="checkbox"/>	EE Torrões	A B	Rua Maestro Jones Jhonsson	Torrões	30	293	
<input type="checkbox"/>	EE Totó	A B	Rua Onze de Agosto com a Rua Nelson d...	Totó	30	386	
<input type="checkbox"/>	EE COHAB	A B	Av. Rio Largo com Avenida Santos	Cohab	30	282	
<input type="checkbox"/>	EE Ibura	A B	Rua Rio Tapado com a BR 101	Ibura	30	564	
<input type="checkbox"/>	EE Imbiribeira	A B	Av. Mascarenhas de Moraes, ao lado do...	Imbiribeira	30	534	

© Copyright 2018 - v 1.12.02

Fonte: Elaborado pelo autor

Todos os dados cadastrados que possuem localização geográfica (obras, pontos de deposição irregular, ecopontos e ATT) são enviados ao *menu* “Monitoramento”, onde é possível realizar análises espaciais, conforme a Figura 110.

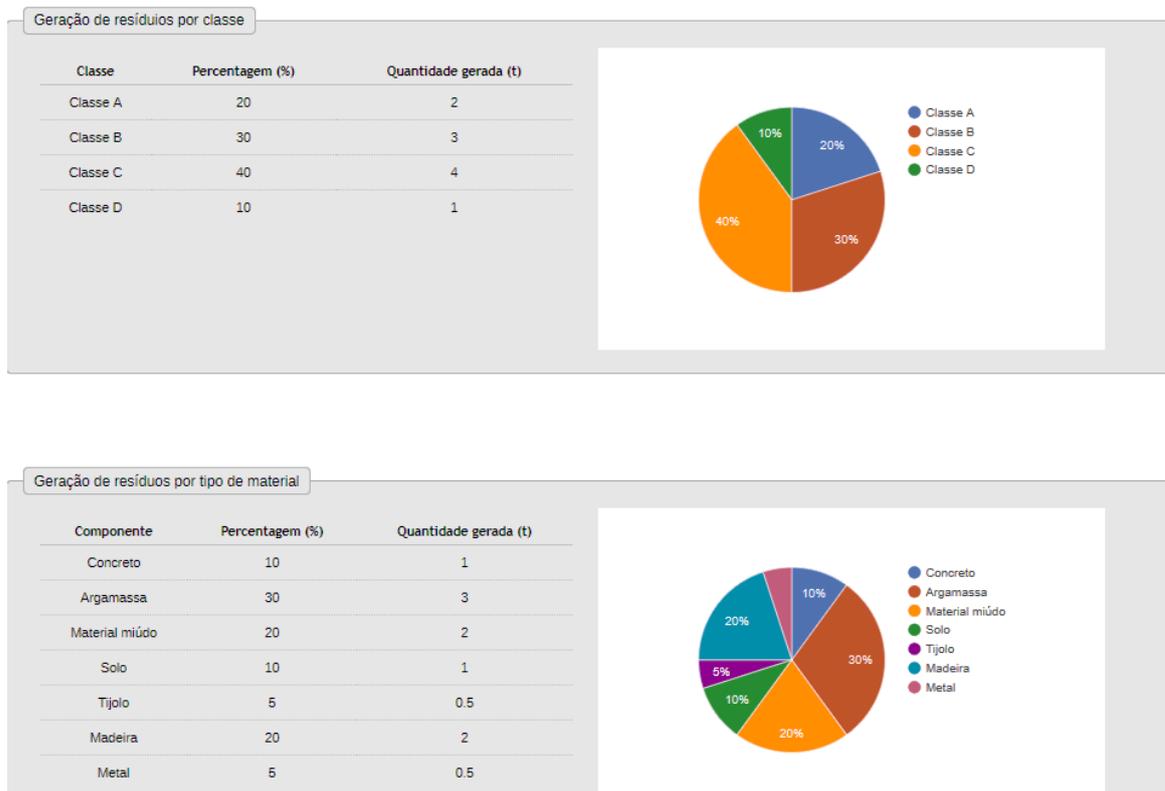
Figura 110 - Menu de Monitoramento – Módulo II



São apresentados a seguir as telas referentes ao *menu* de “Projeto”, que contém o SAD do Módulo II, para auxiliar na caracterização atual do município e propor soluções voltadas à gestão integrada de RCD.

A Figura 111 apresenta a ferramenta de caracterização dos resíduos, onde o sistema estima a população atual, a geração total de RCD, a geração por classe e por material.

Figura 111 - Ferramenta de caracterização dos resíduos do *menu* “Projeto”



Fonte: Elaborado pelo autor

As ferramentas de dimensionamento de ecoestações e usinas de RCD públicas são apresentadas nas Figuras 112 e 113, respectivamente, onde o sistema verifica a necessidade de instalação desses equipamentos no município e fornece dados relacionados aos custos de instalação e operação.

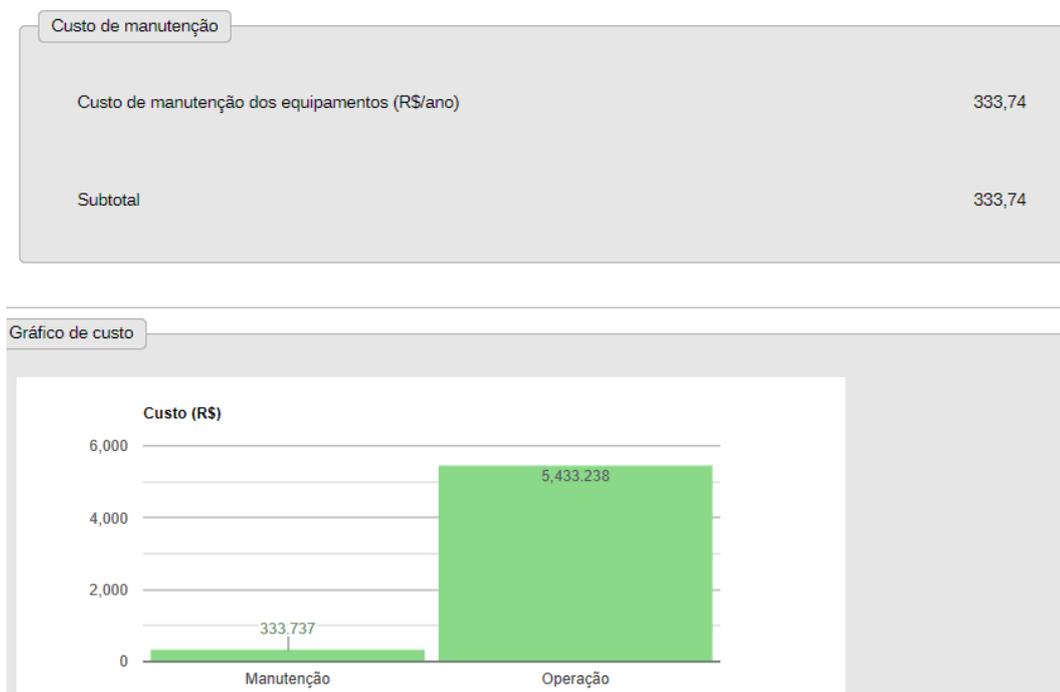
As alternativas de dimensionamento são utilizadas de acordo com os dados do município cadastrados e a ferramenta de caracterização dos resíduos.

Figura 112 - Parte da ferramenta de dimensionamento de ecoestações – Módulo II

Dimensionamento da rede de ecoestações	
Raio de abrangência:	1.5
Quantidade mínima de ecoestações:	49
Situação do município:	Alternativa 1
O município não possui ecoestações	O município precisa instalar a quantidade mínima de ecoestações
Capacidade de recebimento de RCD das ecoestações (m ³ /dia)	
Nº de habitantes / ecoestação	4056
Custo unitário de instalação de uma ecoestação (R\$/und.)	500.000
Custo de instalação das ecoestações (R\$)	24.724.781,26

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 113 - Parte da ferramenta de caracterização dos resíduos do *menu* “Usina de beneficiamento de RCD”



Fonte: Elaborado pelo autor

Realizou-se ainda a codificação do Módulo III – Transporte e destinação. A tela principal deste módulo é apresentada na Figura 114, onde é permitido editar os dados cadastrados anteriormente, e anexar os documentos necessários para análise do órgão ambiental.

Figura 114 - Tela principal do Módulo III – Transporte e destinação

Bem-vindo, **Transportadora**

Projeto | Gerenciamento | Configurações | Sair

Dados da empresa | Gerenciar obras | Destinação final | Coleta de resíduos | Relatório | Análise estatística | Análise econômica

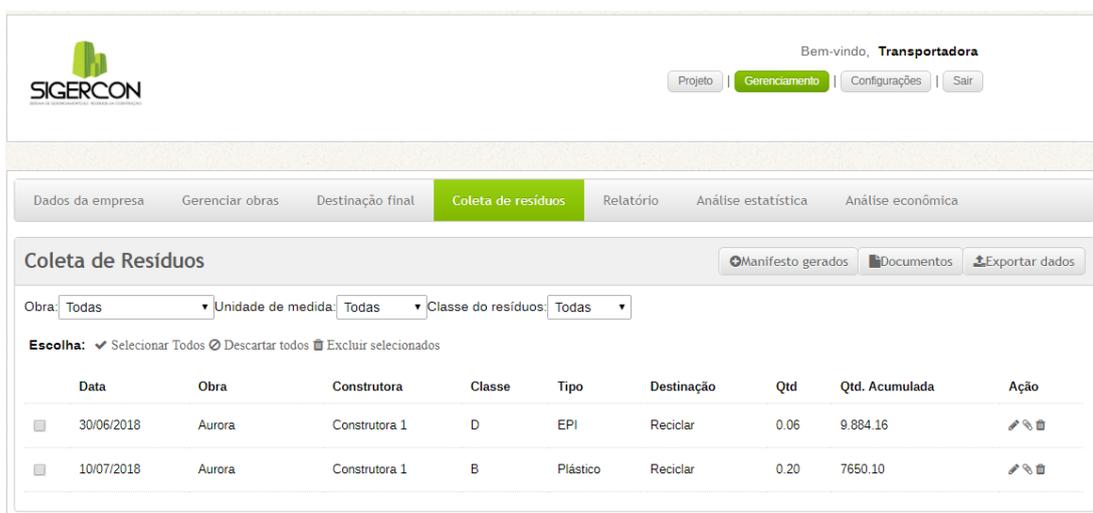
Transportadora [Editar dados] [Anexar Documentos] [Documentos]

Nome Fantasia	Transportadora
Razão Social	Transportadora
Endereço	Av. Prof Luis Freire
Município	Recife
UF	
Telefone	
Fax	
CNPJ	
Nº de licença ambiental	
Representante Legal (RL)	
Telefone(RL)	
CPF(RL)	

Fonte: Elaborado pelo autor

A principal funcionalidade deste módulo é a ferramenta “Coleta de Resíduos”, integrada à ferramenta de mesmo nome do Módulo I (Figura 115). O gerador preenche os dados da coleta, gera o manifesto (CTR), e envia para o transportador, para que este aceite ou não a solicitação de coleta dos resíduos.

Figura 115 - Ferramenta de coleta de resíduos – Módulo III



Coleta de Resíduos

Manifesto gerados | Documentos | Exportar dados

Obra: Todas | Unidade de medida: Todas | Classe do resíduos: Todas

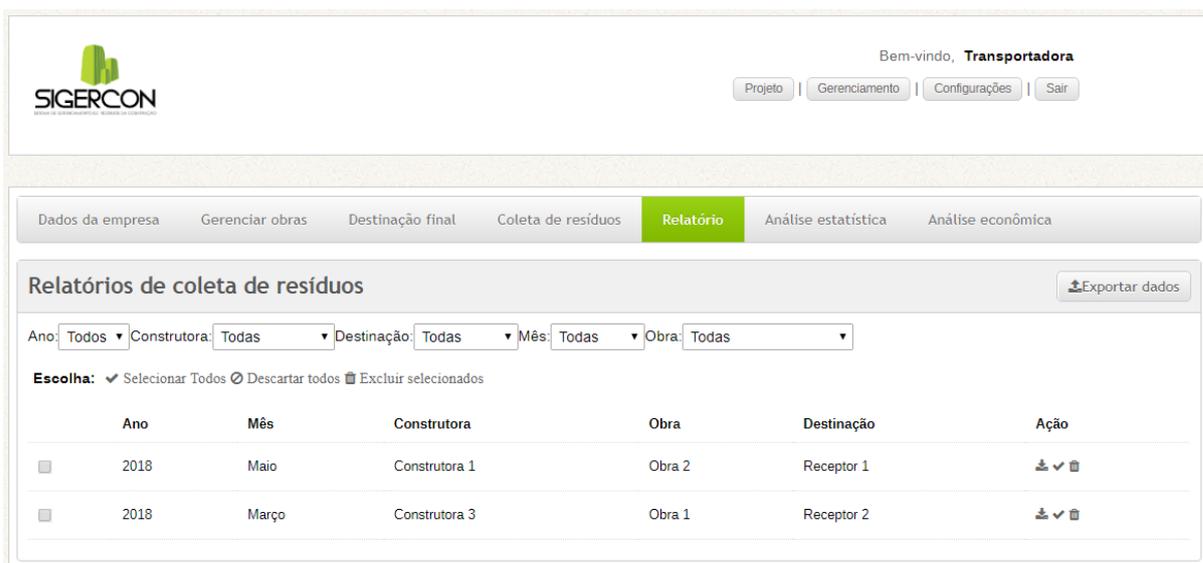
Escolha: Selecionar Todos Descartar todos Excluir selecionados

Data	Obra	Construtora	Classe	Tipo	Destinação	Qtd	Qtd. Acumulada	Ação
<input type="checkbox"/> 30/06/2018	Aurora	Construtora 1	D	EPI	Reciclar	0.06	9.884.16	
<input type="checkbox"/> 10/07/2018	Aurora	Construtora 1	B	Plástico	Reciclar	0.20	7650.10	

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao final de cada mês, o transportador deve enviar um relatório ao gerador e ao órgão ambiental. Com o auxílio da ferramenta de “Relatórios” (Figura 116), agiliza-se o processo de elaboração dos relatórios, que são gerados automaticamente, e enviados ao usuário selecionado.

Figura 116 - Ferramenta de envio de relatórios – Módulo III



Relatórios de coleta de resíduos

Exportar dados

Ano: Todos | Construtora: Todas | Destinação: Todas | Mês: Todas | Obra: Todas

Escolha: Selecionar Todos Descartar todos Excluir selecionados

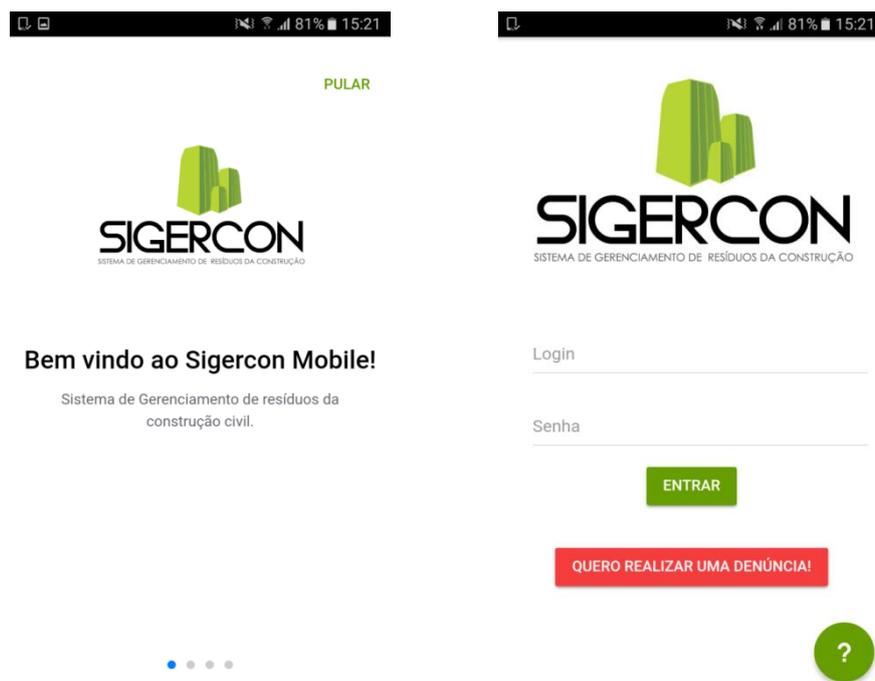
Ano	Mês	Construtora	Obra	Destinação	Ação
<input type="checkbox"/> 2018	Maio	Construtora 1	Obra 2	Receptor 1	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> 2018	Março	Construtora 3	Obra 1	Receptor 2	<input checked="" type="checkbox"/>

Fonte: Elaborado pelo autor

6.3.2 Sistema mobile do SIGERCON

Para auxiliar no monitoramento da deposição irregular de RCD, foi desenvolvido um aplicativo *mobile* do SIGERCON, compatível com os sistemas operacionais *Android* e *iOS* dos *smartphones*. A Figura 117 apresenta as telas iniciais de tutorial e *login* no sistema, no caso dos fiscais.

Figura 117 - Telas iniciais do SIGERCON *mobile*

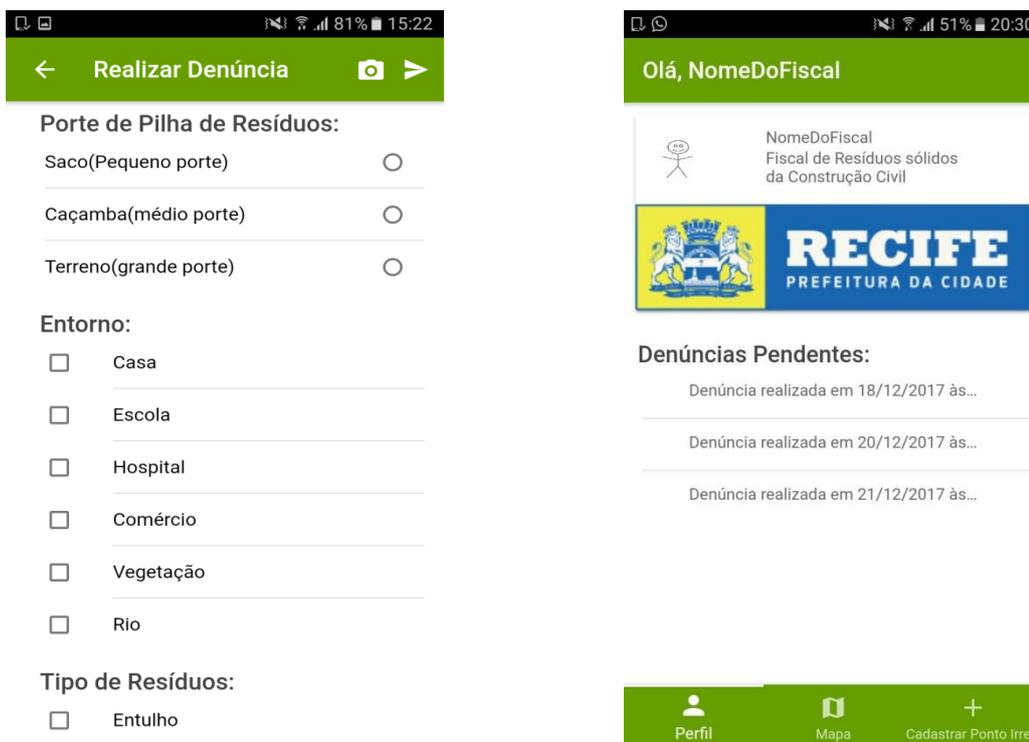


Fonte: Elaborado pelo autor

Para a população em geral, basta clicar em “Quero realizar uma denúncia”, para realizar um cadastro provisório de pontos de deposição irregular. O aplicativo irá solicitar acesso à câmera do *Smartphone* e à localização atual.

O cadastro dos pontos (Figura 118) envolve a descrição do porte da pilha de resíduos (pequeno, médio e grande), das características do entorno (casa, escola, hospital, comércio, vegetação, rio), e dos tipos de resíduos observados (entulho, orgânico, poda). Com a realização do cadastro, a denúncia é disponibilizada no *login* do fiscal e no sistema *web*, para que seja confirmada a deposição irregular (Figura 119). Após a confirmação, os dados são enviados para o mapa de monitoramento (Módulo II), para registro.

Figura 118 - Telas de realização de denúncia e *login* do fiscal.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 119 - Mapa de localização de um ponto de deposição irregular cadastrado no SIGERCON *mobile*.



Fonte: Elaborado pelo autor

6.4 VALIDAÇÃO DO SISTEMA

A primeira etapa da validação do SIGERCON foi realizada durante a codificação do *software*, onde foram realizadas as revisões e as correções dos *bugs*. Ao final da programação, foram testadas a funcionalidade do fluxo de informações entre os módulos do sistema, bem como do aplicativo.

Como forma de verificar a aplicabilidade do SIGERCON com a realidade dos usuários da cidade do Recife, realizou-se uma comparação das ferramentas do sistema com as diretrizes estabelecidas pelo Projeto de Lei Municipal nº 10/2016, que institui o Código de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos do Município do Recife. Este projeto, que se encontra em discussão na Câmara dos Vereadores, regulamenta os instrumentos já existentes e traz novos instrumentos de controle e fiscalização dos RCD, e uma série de exigências aos geradores, transportadores e empresas de destinação final.

O Quadro 44 apresenta a relação entre os itens estabelecidos pelo Código de Limpeza Urbana e as ferramentas desenvolvidas pelo SIGERCON que suprem a demanda.

Quadro 44 - Relação entre os itens estabelecidos pelo Código de Limpeza Urbana e ferramentas do SIGERCON.

Item	Ferramenta do SIGERCON
Art. 40. Todo gerador deve submeter à aprovação da Entidade Gestora o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil – PGRCC do empreendimento.	Anexar e submeter documentos da obra (Módulo I) Análise de documentos (Módulo II)
Art. 40. §2º Ao grande gerador deverá compor a documentação do Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, além dos previsto pela Resolução CONAMA nº 307/2002 ou sucedânea, os seguintes documentos: Projeto de arquitetura devidamente aprovado pela órgão responsável pelo licenciamento urbano, Comprovação de Responsabilidade Técnica do Autor do Projeto, Carta de Intenção para Transporte e Destinação final dos resíduos sólidos da Construção Civil.	Anexar e submeter documentos da obra (Módulo I) Análise de documentos (Módulo II)
Art. 40. § 4º Será de 01 (um) ano a validade do documento de aprovação do PGRCC emitido pela Entidade Gestora. § 5º Para obras com duração de mais de um ano, a renovação do PGRCC se dará através da apresentação de relatórios parciais que comprovem a apresentação do plano	Anexar documentos (Módulo I) Análise de documentos (Módulo II)
Art. 41. Os resíduos gerados na atividade de construção civil deverão ser classificados e separados no local de origem em obediência ao que determinam as resoluções do CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente.	Ferramentas de Projeto (Módulo I)
Art. 42. A execução dos serviços de coleta, transporte, tratamento e destino final dos resíduos oriundos da construção civil somente poderá ser realizada por empresas cadastradas e autorizadas pela Entidade Gestora, ressalvado o caso de transportador dos resíduos em volume inferior a 1,0 m ³ .	Aprovação de cadastro de usuários (Módulo II)

<p>Art. 43. As empresas cadastradas e autorizadas somente poderão destinar os resíduos sólidos coletados à unidade de tratamento e destinação final licenciada pelo órgão competente e cadastradas e autorizadas pela Entidade Gestora.</p> <p>§ 1º As empresas deverão informar à Entidade Gestora o local de destinação final destes resíduos, ainda que fora do território municipal.</p> <p>§ 2º A Entidade Gestora disponibilizará a relação das empresas cadastradas e autorizadas, bem como os endereços das localidades de destino dos resíduos da construção civil.</p>	<p>Aprovação de cadastro de usuários (Módulo II)</p> <p>Coleta de resíduos (Módulo I e III)</p>
<p>Art. 44 É proibido o depósito de resíduos da construção, em qualquer quantidade, em vias, passeios, canteiros, jardins, áreas e logradouros públicos e corpos d'água.</p> <p>§ 1º Os equipamentos que transportem os resíduos da construção civil e os depositarem em desacordo com o estabelecido no caput serão multados, apreendidos e removidos para o depósito da Prefeitura do Recife e liberados somente após o pagamento das despesas de remoção, destinação, diárias e multas devidas.</p>	<p>Pontos irregulares (Módulo II)</p>
<p>Art. 45. Os grande geradores de RCC deverão, ao final da obra, no prazo de até 90 dias, apresentar Relatório Final da Obra (em meio físico e magnético), comprovando o estipulado no PGRCC.</p> <p>§ 2º Os tickets de pesagens terão validade de 18 (dezoito) meses..</p> <p>§ 3º Os comprovantes de entrega dos materiais recicláveis a Associações devem compor o Relatório final do PGCC</p>	<p>Coleta de resíduos (Módulo I)</p>
<p>Art. 46. A Entidade Gestora deverá manter instalações, para recebimento dos resíduos, denominadas Postos de Recebimento de Resíduos Sólidos, a fim de atender aos pequenos geradores de RCC, com facilidade de acesso e boas condições de tráfego.</p>	<p>Ecopontos (Módulo II)</p>
<p>Art. 48. Os Aterros de Resíduos da Construção Civil e as áreas de destinação final de resíduos deverão ser submetidos a processo de licenciamento ambiental e apresentar acessibilidade e boas condições de tráfego, bem como dispor de infraestrutura física para atendimento, tratamento e armazenamento dos resíduos recebidos.</p> <p>§ 1º A empresa contratada para administrar e operar estas unidades deverá ser devidamente cadastrada junto à Entidade Gestora.</p>	<p>Aprovação de Cadastro (Módulo II)</p> <p>Licença Ambiental (Módulo II)</p>
<p>Art. 49. Permite-se a reutilização dos Resíduos Classe A, oriundos de obras desde que:...</p> <p>a comprovação do quantitativo reutilizado, deverá conter também registro fotográfico das áreas em questão.</p>	<p>Reutilização de resíduos (Módulo I)</p>
<p>Art. 51. As empresas cadastradas e autorizadas a executar os serviços de coleta, transporte e destinação final de resíduos sólidos oriundos da construção civil deverão entregar à Entidade Gestora, até o 5º (quinto) dia útil de cada mês, relatório global de serviços executados</p>	<p>Emissão de relatórios (Módulo III)</p> <p>Análise de documentos (Módulo II)</p>

Fonte: Elaborado pelo autor

Dentre as novidades estabelecidas pelo código, destaca-se a exigência de envio de relatórios parciais pelas construtoras para as obras que tenham duração maior que um ano, para que haja renovação do PGRCC. O relatório deve conter as atividades realizadas para cumprir ao que foi definido no PGRCC da obra. Com a utilização do sistema, será gerado um

relatório de geração de RCD automaticamente, bem como será possível anexar e submeter ao órgão ambiental os relatórios para serem aprovados.

Verificou-se também a determinação do prazo de validade dos *tickets* de pesagem, e a exigência dos comprovantes de entrega dos materiais recicláveis no relatório final do PGRCC. A ferramenta de anexar documentos também favorece o controle dos comprovantes e *tickets* de pesagem.

Além disso, foram estabelecidas mais exigências para comprovação dos resíduos que forem reutilizados na obra, de modo que é preciso registrar por fotos a reutilização do material, e apresentar projetos que comprovem a necessidade da utilização. Neste sentido, o sistema favorece o controle e organização dos documentos relacionadas à reutilização de resíduos.

Para validação do banco de dados do sistema, utilizou-se a ferramenta de projeto para o município de Jaboatão dos Guararapes/PE, de modo a comparar os dados estimados do modelo com a realidade do município. A Tabela 57 apresenta os dados de entrada cadastrados no Módulo II do SIGERCON.

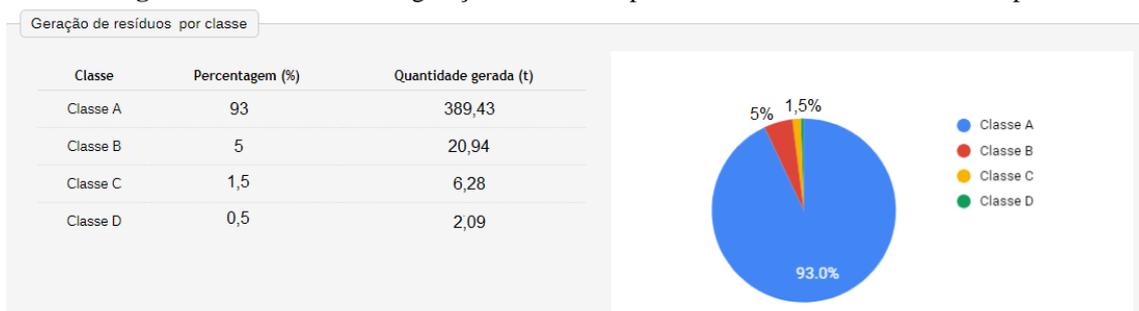
Tabela 57 - Dados de entrada do município de Jaboatão dos Guararapes cadastrados no SIGERCON

Dados de entrada	Descrição
Nome do município:	Jaboatão dos Guararapes
UF:	Pernambuco
Área do território (km ²)	258,8
Área urbana (km ²)	96,3
População do último censo (IBGE)	2010
Taxa geométrica de crescimento anual	0,66
Geração média de Resíduos Sólidos Urbanos – RSU	421
Geração média de Resíduos da Construção e Demolição – RCD (t/dia)	200
Destinação final de RCD	CTR Candeias
Responsável pela coleta de RCD no município	Secretaria Executiva de Serviços Urbanos

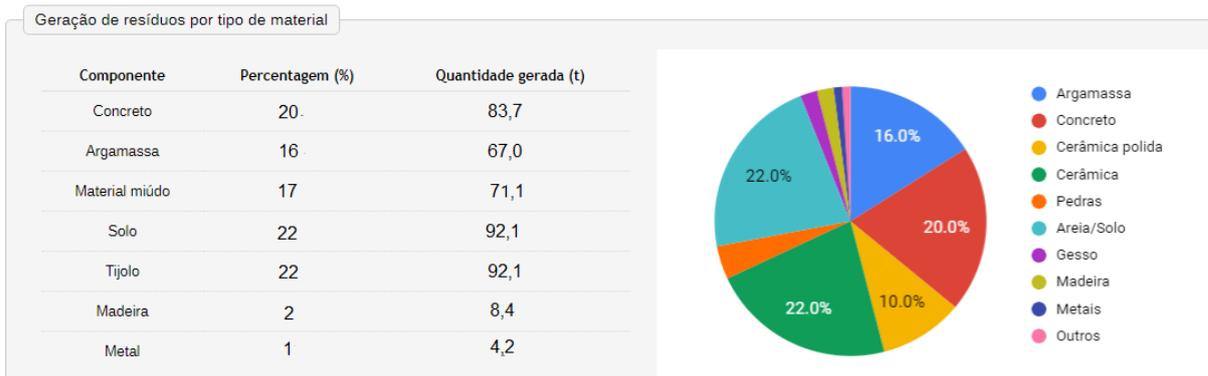
Fonte: Elaborado pelo autor

A partir dos dados cadastrados, o sistema realizou a estimativa da geração de resíduos no município por classe (Figura 120) e por material (Figura 121).

Figura 120 - Estimativa de geração de resíduos por classe em Jaboatão dos Guararapes



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 121 - Estimativa de geração de resíduos por tipo de material em Jaboatão dos Guararapes

Considerando que o município não dispõe de ecoestações para triagem dos resíduos proveniente de pequenos geradores nem usina de beneficiamento, o SAD realizou o dimensionamento da quantidade e custo das ecoestações (Figura 122) e dimensionamento e custo das usinas de beneficiamento (Figura 123).

Figura 122 - Dimensionamento das ecoestações para o município do Jaboatão dos Guararapes

Dimensionamento da rede de ecoestações

Raio de abrangência:	1.5
Quantidade mínima de ecoestações:	14
Situação do município:	Alternativa 1
O município não possui ecoestações	O município precisa instalar a quantidade mínima de ecoestações
Capacidade de recebimento de RCD das ecoestações (m ³ /dia)	30
Nº de habitantes / ecoestação	51227
Custo unitário de instalação de uma ecoestação (R\$/und.)	500.000
Custo de instalação das ecoestações (R\$)	6811816
Custo unitário de manutenção de uma ecoestação (R\$/und.)	50.000
Custo de manutenção mensal (R\$/mês)	681.182
Dimensionamento da quantidade de caçambas por dia	58

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 123 - Dimensionamento da usina de beneficiamento para o município do Jabotão dos Guararapes

Caracterização	Ecoestações	Usina de beneficiamento
Usina Beneficiamento		
Custo de implantação		
Capacidade de produção do britador(t/h)		24,66
Área necessária (m2)		12.328,77
Custo de aquisição e instalação de equipamentos (R\$)		12.328,77
Custo de aquisição de terreno (R\$)		1.009.341,47
Custo de aquisição de veículos (R\$)		398.229,04
Custo de terraplanagem, contenções e obras civis (R\$)		191.865,21
Licenciamento Ambiental (R\$)		51.711,78
Abertura da empresa (R\$)		1.449,86
Subtotal (R\$)		2.187.868,04
Custo de operação		
Custo de mão de obra de produção (R\$/ano)		262.634
Custo de Equipamentos de Proteção Individual (R\$/ano)		3.283
Custo de combustível (R\$/ano)		106.695
Custo com insumos (R\$/ano)		172.353
Custo com despesas administrativas (R\$/ano)		57.451
Imposto sobre faturamento (R\$/ano)		65.658
Subtotal (R\$)		668.075

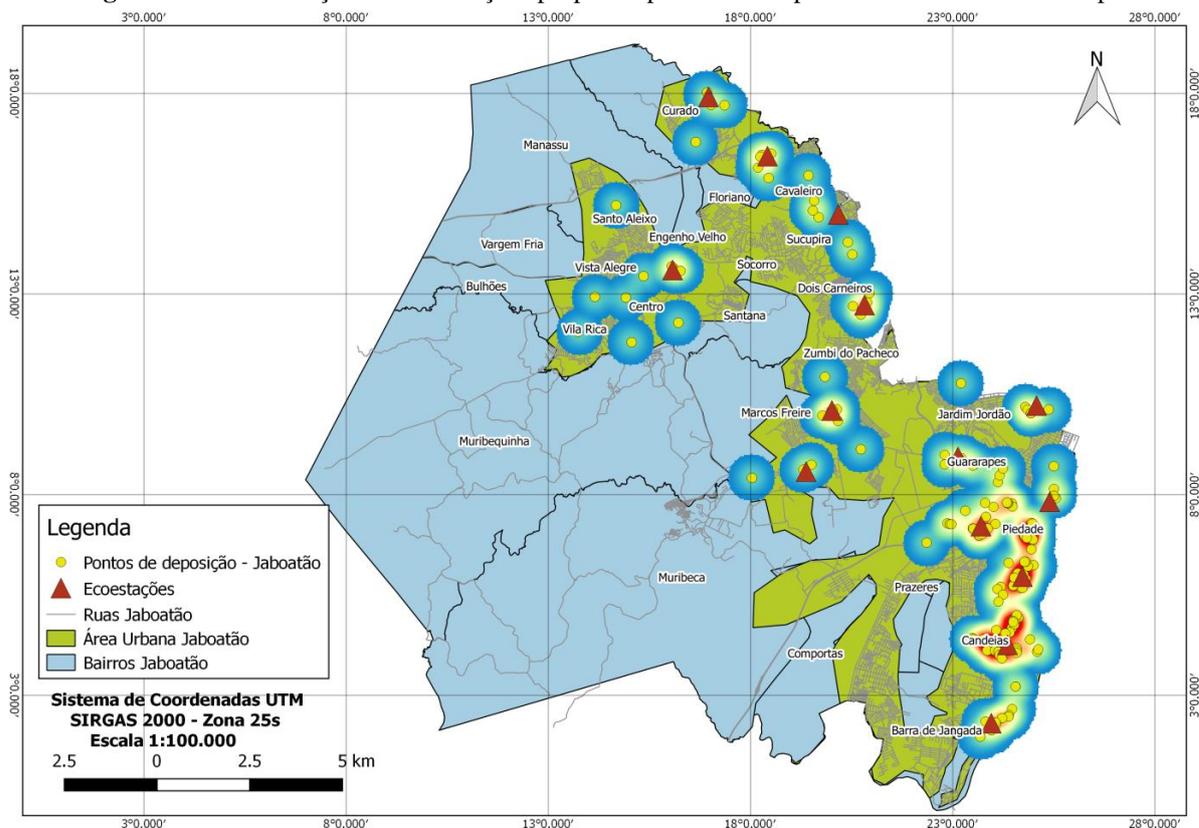
Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando uma capacidade de recebimento de 30 t/dia de resíduos, e com uma área de abrangência de 1,5 km, estimou-se a necessidade de instalação de 14 ecoestações no município de Jabotão dos Guararapes, com um custo de instalação de quase 8 milhões de reais (2,1 milhões de dólares).

Quanto à destinação final de RCD, foi estimado pelo sistema uma usina com um britador de 25 t/h, a um custo de instalação de pouco mais de 2 milhões de reais (530 mil dólares), e custo de manutenção de 670 mil reais/ano (177 mil dólares/ano).

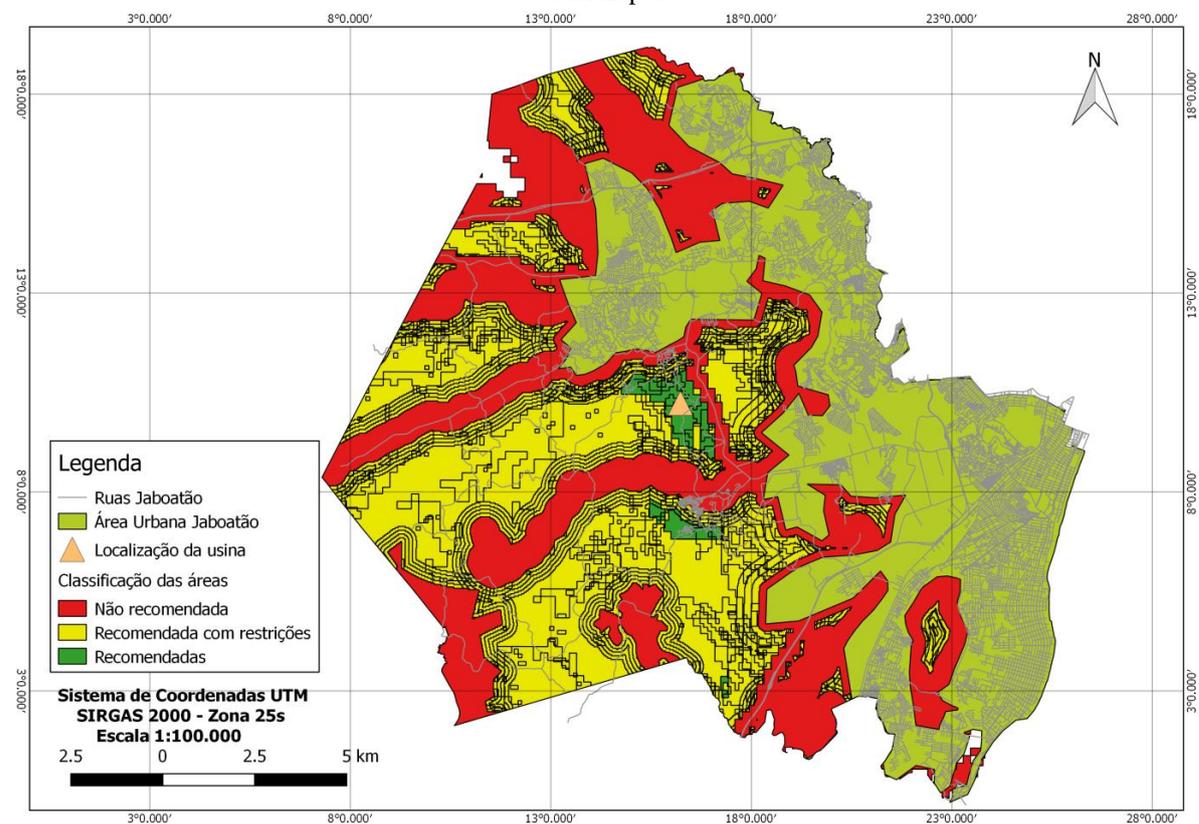
A partir dos dados obtidos pelo SAD, desenvolveu-se um projeto em SIG para planejamento da gestão integrada dos RCD em Jabotão dos Guararapes. A Figura 124 apresenta a localização das 14 ecoestações propostas, baseado nos 101 pontos de deposição irregular de RCD mapeados por Santos (2014), enquanto que a Figura 125 apresenta a proposta de localização da usina de beneficiamento de RCD, considerando os critérios estabelecidos nesta pesquisa.

Figura 124 - Localização das ecoestações propostas para o município de Jaboatão dos Guararapes



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 125 - Classificação das áreas e localização da usina proposta para o município de Jaboatão dos Guararapes.



Fonte: Elaborado pelo autor

Verificou-se que existem apenas duas áreas recomendadas em Jaboatão, sendo uma no bairro da Muribeca, com 95 ha, e outra no bairro de Muribequinha, com 240 ha. Considerando que o SAD propôs uma área mínima de 12,3 ha, ambas as áreas são favoráveis. Porém, propôs-se a implantação da usina na Muribequinha, pela maior proximidade aos pontos de deposição irregular de RCD.

Dessa forma, observou-se que os dados de saída do SAD do Módulo II favoreceu o planejamento da gestão integrada de RCD no município, ao apresentar alternativas viáveis para a coleta, transporte e destinação final dos resíduos.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 CONCLUSÕES

O SIGERCON, a partir dos testes e validação dos seus módulos e aplicativo, favorece a implementação do sistema de gestão integrada de RCD em municípios brasileiros, considerando a especificidade de cada município e cada região, visto que foram incluídas no banco de dados do sistema informações de diversos municípios e pesquisas já realizadas no país.

O sistema favorece a gestão integrada considerando a dimensão política, pois auxilia no cumprimento das leis e normas, bem como na implementação de boas práticas e soluções viáveis para os resíduos (dimensão econômica). Nas questões culturais e sociais, reduz-se os impactos socioambientais pela deposição irregular dos RCD, e auxilia na implementação de programas de educação ambiental, permitindo ainda que a sociedade participe de forma mais efetiva da gestão dos RCD, na fiscalização e na destinação de resíduos em ecoestações.

Os resultados obtidos por meio do diagnóstico da gestão municipal na cidade do Recife, bem como da geração de resíduos nos canteiros de obras, permitiu avaliar de forma mais aprofundada os desafios da gestão integrada nos municípios brasileiros, em especial as grandes metrópoles.

Verificou-se, por meio do diagnóstico realizado na cidade do Recife, que a estrutura existente para triagem, coleta e destinação final dos RCD no município ainda é incipiente, pois as falhas no sistema e falta de investimento favorecem a ocorrência de uma série de impactos ambientais, ocasionados pela deposição irregular destes resíduos nas áreas urbanas.

A quantidade de pontos de deposição irregular de RCD cadastrados (565 pontos), e a identificação de 53 pontos com risco ambiental alto, foi suficiente para analisar a dinâmica desta atividade na cidade do Recife, identificando os bairros mais críticos e os tipos de resíduos mais descartados. Um programa de educação ambiental efetiva se torna necessário para redução dessa prática proveniente dos pequenos e grandes geradores.

A definição e utilização de 20 indicadores de sustentabilidade favoreceu uma análise mais eficaz da questão, pois foram identificados os pontos fortes e fracos da gestão pública de RCD na cidade, apresentando a necessidade de implementação de uma gestão integrada entre os diversos atores que participam do processo, desde a geração até a destinação final ambientalmente adequada.

Dentre as mudanças necessárias, tem-se a regulamentação da lei municipal nº 17.075/2005, que estabelece as diretrizes para o gerenciamento de RCD, de forma a aprimorar

os procedimentos de fiscalização e controle dos pequenos e grandes geradores. Tem-se ainda a necessidade de instalar e incentivar a implantação de ATT, sejam públicas ou privadas, e demais alternativas de destinação final, sempre buscando a solução consorciada.

Com aplicação dos indicadores de sustentabilidade desenvolvidos em outros municípios brasileiros, será possível realizar análises comparativas e estabelecer estratégias de melhorias e incentivos por parte dos órgãos públicos.

A metodologia desenvolvida para quantificação dos riscos ambientais provenientes da deposição irregular de RCD, mostrou-se fundamental para o mapeamento das áreas mais críticas, e facilita a atuação dos fiscais das empresas de limpeza urbana, a coleta dos resíduos dispostos em áreas inadequadas, e a recuperação das áreas.

O diagnóstico da gestão municipal favoreceu ainda a definição das ferramentas necessárias para o Módulo II do SIGERCON – Órgãos Ambientais, que servem para subsidiar o mapeamento e controle dos pontos de deposição e rastreabilidade dos resíduos gerados nas áreas urbanas.

Em relação ao diagnóstico da geração de RCD em canteiros de obras, os resultados obtidos pela análise das 34 obras, apontam para a necessidade de obtenção de novos indicadores de geração de resíduos, por fase construtiva e por faixas de área construída, para que se possa estimar de forma adequada quanto será gerado e os custos do gerenciamento. A variação da taxa de geração de 29 a 157 kg/m² demonstra falha nas diretrizes da EMLURB quanto ao modo de estimar a geração de RCD.

Por meio da modelagem matemática desenvolvida nesta pesquisa, as construtoras poderão ser mais eficazes na quantificação dos resíduos gerados e planejar melhor o gerenciamento e os custos provenientes da coleta e destinação final dos RCD. Apesar da limitação apresentada em termos de área construída e área do terreno, a utilização da ferramenta ao longo do tempo possibilitará o aperfeiçoamento do modelo e serão obtidos dados ainda mais condizentes com a realidade das obras.

Com a realização do tratamento estatístico e do modelo matemático de geração de RCD para as obras, os dados foram instanciados e codificados para incremento da fase de projeto do Módulo 1 – Geradores, cujo modelo será utilizado para realizar as projeções de cada obra que estiver cadastrada no sistema.

A ampliação do SIGERCON para três módulos, envolvendo a gestão municipal e os transportadores junto à gestão nos canteiros de obras, favoreceu a integração dos dados, e o controle das documentações necessárias ao cumprimento do que estabelece as leis federais e municipais de gestão de RCD. O sistema permite realizar com mais agilidade as atividades

que atualmente são manuais, como análise e aprovação de PGRCC, cadastro e controle de obras, transportadores e empresas de destinação final, elaboração de relatórios de coleta e preenchimento de manifesto de transporte de resíduos.

Além disso, o sistema é de grande potencial para prefeituras que possuem uma quantidade limitada de profissionais e poucos gestores com conhecimento técnico acerca da gestão de resíduos da construção civil, pois o *software* permite a automação de diversos processos que demandariam uma maior equipe.

A implementação do aplicativo de monitoramento da deposição irregular também agilizou as atividades de fiscalização e coleta dos RCD dispostos ilegalmente. Foi possível incluir também a sociedade em geral, como atores no processo de gerenciamento dos resíduos, ampliando a capacidade de fiscalização e mapeamento dos resíduos.

Sendo postas em prática as medidas previstas no Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos, baseadas na Lei Federal nº 12.305/2010, a gestão integrada de RCD na Região Metropolitana do Recife pode se tornar realidade, alcançando os diversos atores que atuam no sistema, como os geradores, transportadores, órgãos de limpeza urbana e a sociedade.

Conclui-se, portanto, que a ferramenta computacional desenvolvida, testada com um banco de dados robusto, acerca da gestão de RCD em municípios, possibilita identificar uma melhor alternativa de gestão, considerando as diferentes realidades de cada município e de cada obra. Porém, é preciso ampliar o banco de dados do sistema, para que seja calibrado e considere as diversas realidades dos municípios brasileiros.

7.2 RECOMENDAÇÕES

Apesar da grande quantidade de informações que compuseram o banco de dados do SIGERCON, nota-se que ainda existem lacunas no estado da arte da gestão de RCD, em especial em relação à geração de resíduos em obras.

Recomenda-se que sejam realizadas análises comparativas entre a geração de RCD em edifícios multifamiliares e empresariais, visto que o processo construtivo é distinto, gerando resíduos diferenciados, o que altera o valor da taxa de geração de RCD.

Além disso, são necessárias pesquisas relacionadas à geração de resíduos por fase de construção, para que se possa validar os dados levantados nesta tese, bem como realizar análises por atividade na obra, de modo a identificar em quais etapas há uma maior geração de resíduos. Propõe-se pesquisas de geração de resíduos por tipo de fundação, tipo de estrutura e tipo de acabamento sejam realizadas, para que o modelo proposto possa ser ampliado e incluir estas variáveis.

Aponta-se também para a necessidade de pesquisas voltadas à geração de resíduos na fase de demolição, em especial na quantidade de resíduos que poderão ser reutilizados com uma demolição seletiva.

Como recomendações à gestão municipal de RCD, propõe-se a realização de estudos de avaliação de viabilidade econômica de implantação de ecoestações e ATT, visto que já existem vários estudos voltados para usinas de beneficiamento. Além disso, necessitam-se de dados mais atualizados, acerca dos custos da gestão diferenciada de resíduos, em contraponto com a gestão corretiva.

Sugere-se ainda o estudo de novos métodos de quantificação dos resíduos gerados nos municípios, em diversas faixas populacionais, cujos resíduos sejam caracterizados de forma a identificar o potencial econômico de reciclagem.

Em relação ao SIGERCON, recomenda-se aos órgãos ambientais que busquem alternativas viáveis para a implementação da gestão integrada de RCD nos municípios. Para a utilização da ferramenta, é necessário realizar capacitações com a equipe de fiscalização e analistas, de modo a possibilitar o uso adequado do sistema. Deve-se ainda realizar programas de educação ambiental junto à sociedade e construtoras.

É preciso cobrar das construtoras uma posição diferenciada em relação aos RCD. A coleta de dados e o controle de documentação é essencial para supervisionar as diversas etapas da obra.

Para as construtoras, recomenda-se o planejamento adequado do gerenciamento de RCD, do ponto de geração dos resíduos dentro do canteiro até o armazenamento final. A utilização de ferramentas de estimativa da geração de RCD favorecerá o conhecimento da quantidade de resíduos e dos custos referentes à coleta e destinação final.

Às empresas de transporte e destinação final, recomenda-se um maior controle da quantidade de resíduos coletados/destinados, e uma maior agilidade na emissão de relatórios e certificados de destinação. As usinas de beneficiamento devem investir em programas de sensibilização junto às construtoras, de forma a reduzir a quantidade de rejeitos recebidos.

Recomenda-se, por fim, que o Sistema de Gerenciamento de Resíduos da Construção – SIGERCON, seja utilizado em outros municípios de forma integrada, por meio de parceria com outros pesquisadores, construtoras e órgãos municipais, de modo que haja uma melhoria contínua no sistema, e que este seja calibrado continuamente, para que esta ferramenta possa contribuir para a ampliação dos conhecimentos referentes à gestão integrada de RCD.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004a.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.112**: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004e.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.113**: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004f.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.114**: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004g.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004h.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004i.
- ABRECON – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Relatório de Pesquisa Setorial 2014/2015**. São Paulo, 2015.
- ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2018.
- AJAYI, S.O.; OYEDELE, L.O.; BILAL; M.; AKINADE, O.O.; ALAKA, H.A.; OWOLABI, H.A. Critical management practices influencing on-site waste minimization in construction projects. **Waste Management**, Oxford, v. 59, p. 330-339, 2017.
- ALBUQUERQUE, A.S.O. **Avaliação da influência das mudanças climáticas na operação ótima de sistema de reservatórios com múltiplos fins**. 2008. 181 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.
- ALBUQUERQUE, D.M.S. **Impacto socioambiental da disposição irregular dos resíduos da construção e demolição na cidade do Recife**. 2015. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2015.
- ALENCAR, L.H.; MOTA, C.M.M.; ALENCAR, M.H. The problem of disposing of plaster waste from building sites: problem structuring based on value focus thinking methodology. **Waste Management**, Oxford, v. 31, p. 2512-2521, 2011.

ALMEIDA, R. **Os Efeitos Assimétricos da Crise no Setor de Construção Civil**. Brasil Debate. 2 de fev de 2016. Disponível em: <http://brasildebate.com.br/osefeitosassimetricosdacrisenosetordeconstrucaocivil>. Acesso em: 05 nov. 2017.

AL-SARI, M.I., AL-KHATIB, I.A., AVRAAMIDES, M.; FATTA-KASSINOS, D. A study on the attitudes and behavioural influence of construction waste management in occupied Palestinian territory. **Waste Management and Research**, London, v. 30, n. 2, p. 122-136, 2012.

ALVES, F.R.F. **Estimativa da geração de resíduos da construção civil no município de Campo Mourão – PR**. 2015. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2015.

ALVES, L.A.; ROMIO, B.S.; SILVA, A.R.P.; SANTOS, G.R. Uma breve discussão do papel da gestão integrada dos resíduos da construção e demolição (RCD) para transformá-los em recursos. **Para onde?**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 123-136, ago./dez. 2014.

AMORIM, A.S. **Análise Crítica da viabilidade econômica e ambiental do processo de reciclagem de resíduos de construção civil no âmbito de um município**. 2016. 164 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2016.

ANDRADE, A.J.B.; BARBOSA, N.P.P. Combinação do método AHP e SIG na seleção de áreas com potenciais para instalação de aterro sanitário: caso da Ilha do Fogo, na República do Cabo Verde. **Revista de Geografia (UFPE)**, Recife, v. 32, n. 2, p. 248-266, 2015.

ANGULO, S.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características nos comportamentos de concretos**. 2005. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ANGULO, S.C.; TEIXEIRA, C.E.; CASTRO, A.L.; NOGUEIRA, T.P. Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, p. 299-306, jul./set. 2011.

ARRUDA, M.F.A. **Análise da aplicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos nos municípios do Litoral Pernambucano pertencentes à Região Metropolitana do Recife**. 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

AYRES, P.H.F. **Etapas iniciais e fundamentais para desenvolvimento de um software de gestão de resíduos sólidos da construção civil**. 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) - Instituto de Engenharia do Paraná, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2014.

AZEVEDO, A.M.; MELO, L.P.L.; BARBOSA, I.M.B.R.; PAZ, D.H.F. Indicação de possíveis áreas aptas à implantação de aterro de RCD na RMR utilizando SIG. *In: ENCONTRO PERNAMBUCANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS*, 6., 2017, Recife. **Anais [...]**. Recife: UFRPE, 2017.

BAKSHAN, A.; SROUR, I.; CHEHAB, G.; EL-FADEL, M. A field based methodology for estimating waste generation rates at various stages of construction projects. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 100, p. 70-80, 2015.

BAKCHAN, A.; FAUST, K.M. Construction waste generation estimates of institutional building projects: leveraging waste hauling tickets. **Waste management**, Oxford, v. 87, p. 301-312, 2019.

- BAKCHAN, A.; FAUST, K.M.; LEITE, F. Seven-dimensional automated construction waste quantification and management framework: integration with project and site planning. **Resources, conservation and recycling**, Amsterdam, v. 146, p. 462-474, 2019.
- BANIAS, G.; ACHILLAS, C.; VLACHOKOSTAS, C.; MOUSSIOPOULOS, N.; PAPAIOANNOU, I. A web-based Decision Support System for the optimal management of construction and demolition waste. **Waste Management**, Oxford, v. 31, n. 12, p. 2497–2502, 2011.
- BANIAS, G.; ACHILLAS, C.; VLACHOKOSTAS, C.; MOUSSIOPOULOS, N.; TARSENIS, S. Assessing multiple criteria for the optimal location of a construction and demolition waste management facility. **Building and Environment**, Oxford, v. 45, n. 10, p. 2317–2326, 2010.
- BARRETO, I.M.C.B.N. **Gestão de resíduos na construção civil**. Aracaju: SENAI/SE; SENAI/DN; COMPETIR; SEBRAE/CE; SINDUSCON/SE, 2005. 28 p.
- BASSANEZI, R.C. **Modelagem matemática: teoria e prática**. São Paulo: Contexto, 2015.
- BEIRIZ, F.A.S.; **Um modelo de aplicação da logística reversa na sustentabilidade da indústria da construção**. 2010. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2010.
- BELO HORIZONTE. **Plano Municipal de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos do Município de Belo Horizonte (PMGIRS BH)**. Belo Horizonte, 2014.
- BERGSDAL, H., BOHNE, R.A.; BRATTEBO, H. Projection of construction and demolition waste in Norway. **Journal of Industrial Ecology**, Hoboken, v. 11, n. 3, p. 27-39. 2007.
- BERNARDES, A.; THOMÉ, A.; PRIETTO, P.D.M.; ABREU, A.G. Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 65-76, jul./out. 2006.
- BERTOL, A.C.; RAFFLER, A.; DOS SANTOS, J.P. **Análise da correlação entre a geração de resíduos da construção civil e as características das obras**. 2013. 77 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção Civil) – Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- BESSEN, G.R.; RIBEIRO, H.; JACOBI, P.R.; GUNTHER, W.M.R.; DEMAJOROVIC, J. Evaluation of sustainability of municipal programs of selective waste collection of recyclables in partnership with scavengers organizations in metropolitan São Paulo. *In*: KURIAN, K.; NAGENDRAN, R.; THANASEKARAN, K. (org). **Sustainable Solid Waste Management**. 1ª edição. Allied Publishers Pvt. Ltd, Chennai, p. 90-96, 2007.
- BEZERRA, R.P.L.; SILVA, R.C.P.; ACIOLI, N.T.B.; DOS ANJOS, R.C. Avaliação do desperdício de materiais em obras de edificações. *In*: ENCONTRO PERNAMBUCANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 5., 2016, Recife. **Anais [...]**. Recife: UFRPE, 2016.
- BIJU, B.P. **Utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) na indicação de possíveis áreas aptas à disposição de resíduos de construção e de demolição**. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- BIZCOCHO, N.; LLATAS, C. Inclusion of prevention scenarios in LCA of construction waste management. **International Journal of Life Cycle Assessment**, Heidelberg, v. 24, n. 3, p. 468-484, 2019.

BOHNENBERGER, J.C.; PIMENTA, J.F.P.; ABREU, M.V.S.; COMINI, U.B.; CALIJURI, M.L.; MORAES, A.P.; PEREIRA, I.S. Identificação de áreas para implantação de usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição com uso de análise multicritério. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 299-311, jan./mar. 2018.

BORGES, J.B.G.; BERTICELLI, R.; KALIL, R.M.L.; BRUM, E.M.; GOMES, A.P. Usinas de reciclagem de resíduos da construção civil atuando no desenvolvimento sustentável dos municípios. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 4., 2015, Passo Fundo. **Anais [...]**. Passo Fundo: IMED, 2015.

BRANDÃO, F.F. **Caracterização de resíduos sólidos da construção civil para sua utilização em camadas drenantes de aterros sanitários**. 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2010a.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2010b.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de Julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2001.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, altera a Lei nº 6.766, de 19 de Dezembro de 1979^a Lei nº 8.036, de 11 de maio de 1990, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e a Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2007.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n^{os} 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n^{os} 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2012.

BRASIL. Lei nº 9.985/2000, de 18 de Julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2000.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil**, 2002.

BRASIL. Resolução CONAMA 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 Republica Federativa do Brasil**, 2004.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 431, de 24 de maio de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. **Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil**, 2002.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 469, de 30 de julho de 2015. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos

para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil**, 2002.

BRASILEIRO, L.L.; MATOS, J.M.E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, São Paulo, v. 61, p. 178-189, 2015.

BRIOZO, R.A.; MUSETTI, M.A. Método multicritério de tomada de decisão: aplicação ao caso da localização especial de uma Unidade de Pronto Atendimento – UPA 24 h. **Gestão e produção**, São Carlos, v. 22, n. 4, p. 805-819, 2015.

BRUM, E.M. **Aspectos econômico, social e ambiental da sustentabilidade de uma usina de reciclagem de resíduos de construção civil**. 2017. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Infraestrutura e Meio Ambiente, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

BRUM, F.M.; HIPPERT, M.A.S. Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil: Uma análise das propostas existentes. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 8., 2012, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: INOVARSE, 2012.

BUSELLI, A.A.P.T. **Proposta de gestão dos resíduos da construção e demolição (RCD) no município de Viçosa, MG**. 2012. 171 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

CABRAL, A.E.B.; MOREIRA, K.M.V. **Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Programa Qualidade de Vida na Construção. Fortaleza: SINDUSCON/CE, 2011.

CAETANO, M.O.; FAGUNDES, A.B.; GOMES, L.P. Modelo de regressão linear para estimativa de geração de RCD em obras de alvenaria estrutural. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 309-324, abr./jun. 2018.

CALDAS, A.H.M. **Análise da disposição final dos resíduos de construção e demolição na cidade de João Pessoa**. 2016. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro de Tecnologia – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

CALIJURI, M.C.; CUNHA, D.G.F. **Engenharia Ambiental: Conceitos, tecnologia e gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CAPELINI, M.; MANSOR, M.T.C.; CARVALHO, C.T.; FILET, M.; CAMARÃO, T.C.R.C. Estudo de um Índice de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos para o Estado de São Paulo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife. **Anais [...]**. Recife: ABES, 2009.

CARDOSO, A.C.F. **Estimativa de geração de resíduos da construção civil nos municípios de Criciúma e Içara e estudo de viabilidade de usinas de triagem e reciclagem**. 2011. 107 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011.

CARELLI, E.; MIRANDA, L. **Apostila do curso de Gestão Integrada de Resíduos da Construção Civil e operação de usina de reciclagem de entulho**. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição e Instituto Nova Ágora. São Paulo, 2013.

CARNASCIALI, A.M.S.; DELAZARI, L.S. A localização geográfica como recurso organizacional: utilização de sistemas especialistas para subsidiar a tomada de decisão locacional do setor bancário. **Revista de Administração Contemporânea**, Maringá, v. 15, n. 1, p. 103-125, jan./fev. 2011.

- CARNEIRO, F.P. **Diagnóstico e ações da atual situação dos resíduos de construção e demolição na cidade do Recife**. 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.
- CARVALHO, M.S.; PINA, M.F.; SANTOS, S. M. **Conceitos Básicos de Sistemas de Informação Geográfica Aplicados à Saúde**. Brasília: Organização Panamericana da Saúde/Ministério da Saúde, 2000.
- CASTRO, P.M.R. **Apoio à decisão em recursos hídricos com sistemas de informação geográfica e algoritmos genéticos**. 2000. 290 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2000.
- CBIC – CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Disponível em: www.cbic.org.br. Acesso em: 28 out. 2016.
- CETESB. **Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/sigor/>. Acesso em: 04 fev. 2016.
- CHANAKYA, H.N.; SHWETMALA, K.; RAMACHANDRA, T.V. Nature and extent of unauthorized waste dump sites in and around Bangalore city. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, New York, v. 19, p. 342-250, 2017.
- CHAVES, A.C.Z. **Viabilidade econômica de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil em Araçatuba, SP**. 2015. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Economia e Meio Ambiente) – Departamento de Economia Rural e Extensão, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- CHE HASAN, A.B.; YUSOF, Z.B.; MOHD RIDZUAN, A.R.B.; ATAN, I.B.; NOORDIN, B.B., ABDUL GHANI, A.H.B. Estimation model of construction waste materials in Malaysia. *In: IEEE BUSINESS ENGINEERING AND INDUSTRIAL APPLICATIONS COLLOQUIUM*, 2013, Langkawi. **Anais [...]**. Langkawi: IEEE Computer Society, 2013.
- CHEN, Z.; LI, J.; WONG, C.T.C. An application of bar code system for reducing construction wastes. **Automation in Construction**, Amsterdam, n. 11. p. 521-533, 2002.
- CHENG, J.C.P., MA, L.Y.H. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. **Waste Management**, Oxford, v. 33, n. 6, p. 1539-1551, 2013.
- COCHRAN, K.; TOWNSEND, T.; REINHART, D.; HECK, H. Estimation of regional building-related C&D debris generation and composition: Case study for Florida, US. **Waste Management**, Oxford, v. 27, n. 7, p. 921-931, 2007.
- COELHO, A., BRITO, J. **Análise da viabilidade de implantação de centrais de reciclagem de resíduos de construção e demolição em Portugal: Parte I – Estimativa da geração de resíduos de construção e demolição**. Relatório ICIST. DTC nº 04/2010. Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2010.
- COELHO, A., BRITO, J. Distribution of materials in construction and demolition waste in Portugal. **Waste Management & Research**, London, v. 29, n. 8, p. 843-853, 2011a.
- COELHO, A., BRITO, J. Generation of construction and demolition waste in Portugal. **Waste Management & Research**, London, v. 29, n. 7, p. 739-750, 2011b.
- CÓRDOBA, R.E. **Estudo do Sistema de Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção e Demolição do Município de São Carlos-SP**. 2010. 372 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

CORRÊA, B.C.; CURSINO, D.; SILVA, G. Viabilidade de implantação de uma usina de reciclagem da construção civil na cidade de São José dos Campos/SP. *In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 13., 2009, São José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos: UNIVAP, 2009.

COSTA, R.J.Z. **Sistema de indicadores de sustentabilidade para gestão e planejamento de recursos hídricos de bacias hidrográficas: O caso da Bacia Hidrográfica do Rio Almada/BA**. 2013. 292 f. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) – Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

COSTA, R.V.G.; JÚNIOR, G.B.A.; OLIVEIRA, M.M. Taxa de geração de resíduos da construção civil em edificações na cidade de João Pessoa. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 127-137, jan./mar. 2014.

COSTA, U.; URSELLA, P. Construction and demolition waste recycling in Italy. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE ENVIRONMENTAL AND TECHNICAL IMPLICATIONS OF CONSTRUCTION WITH ALTERNATIVE MATERIALS*, 5., 2003. San Sebastian. **Anais [...]**. San Sebastian: Building Ecology Research Group, 2003.

CRISTO, A.F.I.; JUNIOR, N.I.F.; PAULA, M.F.; PICCININ, Y. Parâmetros operacionais para implantação de uma recicladora de resíduos da construção civil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS*, 21., 2014, Natal. **Anais [...]**. Natal: ABC, 2014.

CUNHA, G.N.M.; MICELI, V.M. **Análise da viabilidade econômica de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil a partir de sistemas dinâmicos**. 2013. 66 f. Projeto de Graduação – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

D'OLIVEIRA, M.C.P.E. **Sistema de apoio à decisão aplicado ao gerenciamento dos resíduos de construção civil – Ferramenta GIR@SSOL**. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Fundação Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2015.

DADOS ABERTOS RECIFE. **Pesagem de coletas de resíduos**. Disponível em: <http://dados.recife.pe.gov.br/dataset?organization=empresa-de-manutencao-e-limpeza-urbana-emlurb>. Acesso em: 05 set. 2017.

DE CASTRO, A.P.V; DA SILVA, F.C.F; NAZÁRIO, P.L.; CERRI, J.A.; NAGALLI, A. Sistema informatizado de gerenciamento de resíduos da construção civil. **Techne: Revista de Tecnologia da Construção**, São Paulo, v. 186, p. 50-53, 2012.

DE MELO, A.B.; GONÇALVES, A.F.; MARTINS, I.M. Construction and demolition waste generation and management in Lisbon (Portugal). **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 55, n. 12, p. 1252-1264, 2011.

DING, Z.; ZHU, M.; WU, Z.; FU, Y.; LIU, X. Combining AHP-Entropy approach with GIS for construction waste landfill selection – a case study of Shenzhen. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 15, n. 10, 2254, 2018.

DORDI, L. **Quantificação dos resíduos da construção e demolição do município de Constantina/RS e elaboração de diretrizes para um Plano Integrado de Gerenciamento**. 2013. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2013.

DOSAL, E.; CORONADO, M.; MUÑOZ, I.; VIGURI, J.R.; ANDRÉS, A. A GIS-based methodology for sustainable spatial planning for Construction and Demolition Waste (C&DW) management facilities in a Spanish coastal regional. *In: INTERNATIONAL*

CONFERENCE ON ENGINEERING FOR WASTE AND BIOMASS VALORISATION, 4., 2012, Porto. **Anais** [...]. Porto: WasteEng, 2012.

DOSAL, E.; VIGURI, J.R.; ANDRÉS, A. Multi-criteria decision-making methods for the optimal location of construction and demolition waste (C&DW) recycling facilities. *In*: PACHECO-TORGAL, F.; TAM, V.W.Y.; LABRINCHA, J.A.; DING, Y.; DE BRITO, J. **Handbook of recycled concrete and demolition waste**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2013. 663 p.

DUAN, H.; MILLER, T.R.; LIU, G.; TAM, V.W.Y. Construction debris become growing concern of growing cities. **Waste management**, Oxford, v. 83, p. 1-5, 2019.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.

EMLURB – EMPRESA DE MANUTENÇÃO E LIMPEZA URBANA. **Diretrizes para elaboração dos Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC)**. 2006. Disponível em: <http://www2.recife.pe.gov.br/wp-content/uploads/DIRETRIZES-PGRCC.pdf>. Acesso em: 24 out. 2016.

ESA, M.R.; HALOGA, A.; RIGAMONTI, L. Strategies for minimizing construction and demolition wastes in Malaysia. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 120, p. 219-229, 2017.

ESGUICERO, F. J. **Análise econômica e ambiental na implantação de uma usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição**: Estudo de caso no município de Lençóis Paulista. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2010.

ESIN, T.; COSGUN, N. A study conducted to reduce construction waste generation in Turkey. **Building and Environment**, Oxford, v. 42, n. 4, p. 1667-1674, 2007.

FALCÃO, N.C.B. **Diagnóstico da situação atual dos resíduos da construção civil no município de Olinda**. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2011.

FARIAS, A.B.; FUCALE, S.P.; GUSMÃO, A.D. Diagnóstico da gestão de resíduos da construção civil no município de Olinda. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, Recife, v.2, n. 1, 2016.

FARIAS, I.P. **Proposta de modelo de gestão de resíduos da construção civil para a zona Leste da cidade de Teresina/PI**. 2014. 229 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2014.

FATTA, D; PAPADOPOULOS, A.; KOURMOUSSIS, F.; MENTZIS, A.; SGOUROU, E.; MOUSTAKAS, K.; LOIZIDOU, M.; SIOUTA, N. Estimation methods for the generation of construction and demolition waste in Greece. *In*: SUSTAINABLE WASTE MANAGEMENT AND RECYCLING: CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE, 2004, Londres. **Anais** [...]. Londres: CMRG, 2004.

FEIJÃO NETO, F.G. **Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de Parnaíba/PI**. 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.

FERNANDES, M.P.M. **Apreciação de boas práticas visando a geração de um modelo para a gestão municipal dos resíduos da construção civil**. 2013. 266 f. Tese (Doutorado em

Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

FILHO, J.A.P.; FARIA, A.C.; PIRES, G.W.M.O. Custos de implantação de usinas para reciclagem de resíduos de construção civil no Estado de São Paulo. *In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS*, 18., 2015, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: SIMPOI, 2015.

FILHO, N.M. **Resíduos da construção civil na cidade de Londrina**: Análise da política de gerenciamento de resíduos da construção civil adotada pelo município e estudo de caso utilizando uma proposta de reciclagem baseada na técnica de estabilização por solidificação à base de cimento Portland. 2015. 274 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

FONSECA, T.D.S.; JUNIOR, L.U.R. Avaliação da viabilidade de implantação técnica e econômica de uma usina de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil em Itajubá/MG. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 133-144, 2018.

FREITAS, W.C. **Análise da geração de resíduos da construção civil no município de Batatais-SP para implantação de gerenciamento integrado**. 2009. 126 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2009.

GEHRKE, A.E.B. **Indicadores de Sustentabilidade como Ferramenta de Apoio a Gestão Pública de Resíduos da Construção Civil em Municípios de Pequeno Porte**. 2012. 222 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

GERD. Informe sobre gestión y control de la producción de los RCD em España período 2008-2011. *In: Spanish Report on CDW Production, Management and Control Periodo 2008-2011*. Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición (Spanish Association of CDW Managers). Madrid, 2013.

GOÉS, A.R.T.; GOÉS, H.C. **Modelagem matemática**: teoria, pesquisas e práticas pedagógicas. Curitiba: Intersaberes, 2016.

GOMES, C.F.S. Modelagem analítica aplicada a negociação e decisão em grupo. **Revista Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 3, p. 537-566, 2006.

GONÇALVES, P.H. **Planejamento e gerenciamento do resíduo sólido de construção e demolição**: Estudo de casos Goianos. 2013. 127 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

GRADVOHL, R. F.; FREITAS, A. A. F.; HEINECK, L. F. Desenvolvimento de um modelo para análise de capacidades tecnológicas na indústria da construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 41-51, jan./mar. 2011.

GREGÓRIO, B.; AZEVEDO, G.M.; SOUZA, J.L.; SANTOS, P.S. Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário no município de Barreiras, Bahia. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: INPE, 2013.

GUEDES, A.L.P.G. **Avaliação da geração de resíduos da construção civil e suas implicações em bairros populares**: O caso do bairro de Gramame em João Pessoa/PB. 2014. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

- GUERRA, J.S. **Gestão de resíduos da construção civil em obras de edificações**. 2009. 104 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2009.
- GUERRERO, L. A.; MAAS, G.; HOGLAND, W. Solid waste management challenges for cities in developing countries. **Waste Management**, Oxford, v. 33, n. 1, p. 220–232, 2013.
- GULARTE, L.C.P.; LIMA, J.D.; OLIVEIRA, G.A.; TRENTIN, M.G.; SETTI, D. Estudo de viabilidade econômica da implantação de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil no município de Pato Branco (PR), utilizando a metodologia multi-índice ampliada. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, v. 22, n. 5, p. 985-992, set./out. 2017.
- GUSMÃO, A.D. **Manual de Gestão de Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Camaragibe: CCS Gráfica Editora, 2008. 140 p.
- HEINZLE, R. **Um modelo de engenharia do conhecimento para sistemas de apoio à decisão com recursos para raciocínio abduutivo**. 2011. 247 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- HEINZLE, R.; GAUTHIER, F.A.O.; FIALHO, F.A.P. Semântica nos sistemas de apoio à decisão: O estado da arte. **Revista da Unifebe (Online)**, Brusque, v. 8, p. 1-20, 2010.
- HOGLMEIER, K.; WEBER-BLASCHKE, G.; RICHTER, K. Potentials for cascading of recovered Wood from building deconstruction: a case study for south-east Germany. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 78, p. 81-91, 2013.
- HOLANDA, M.J.O. **Desenvolvimento de ferramenta de apoio à gestão municipal de resíduos da construção e demolição na Região Metropolitana do Recife**. 2018. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2018.
- HUYNH, M.; GHIMIRE, P.; TRUONG, D. Hybrid app approach: could it mark the end of native app domination? **Issues in Informing Science and Information Technology**, Califórnia, v. 14, p. 049–065, 2017.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 18 Abr. 2018.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Anual da Construção Civil**. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/menu/estudos-especificos-da-construcao-civil/pesquisa-anual-da-industria-da-construcao-paicibge>. Acesso em: 10 Jun. 2018.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9270-sistema-nacional-de-pesquisa-de-custos-e-indices-da-construcao-civil.html?=&t=destaques>. Acesso em: 28 Mai. 2019.
- IKAU, R.; JOSEPH, C.; TAWIE, R. Factors influencing waste generation in the construction industry in Malaysia. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON QUALITY OF LIFE*, 2016, Medan. **Anais [...]**. Medan: CQM, 2016.
- INOJOSA, F.C.P. **Gestão de resíduos de construção e demolição: a resolução CONAMA 307/2002 no Distrito Federal**. 2010. 225 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

- JADOVSKI, I. **Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição**. 2005. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- JAILLON, L.; POON, C.S.; CHIANG, Y.H. Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. **Waste Management**, Oxford, v. 29, n. 1, p. 309-320, 2009.
- JARDIM, A.; YOSHIDA, C.; FILHO, J.V.M (org.). **Política Nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. Coleção Ambiental. Barueri, SP: Manole, 2012.
- JINGKUANG, L.; YOUSONG, W.; YIYONG, L. a model for quantification of construction waste in new residential buildings in Pearl River Delta of china. **The open construction and building technology journal**, Sharjah, v. 6, p. 398-403, 2012.
- JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos da construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo: USP, 2000.
- JUCÁ, J.F.T. *et al.* **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. 1. Ed. Recife: CCS Gráfica Editora Ltda., 2013. 186 p.
- JÚNIOR, F.H.C.; CARNEIRO, F.R.; GONÇALVES, S.C. **Resíduos sólidos urbanos: coleta e destino final**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES. 2003.
- JÚNIOR, N.B.C. (Coord.). **Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil**. SINDUSCON-MG, 2005, 38 p.
- KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. **Choice, values and frames**. Cambridge: Universtity Press, 2000. 860 p.
- KARPINSKI, L.A.; PANDOLFO, A.; REINEHR, R.; KUREK, J.; PANDOLFO, L.; GUIMARÃES, J. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil**: uma abordagem ambiental. Porto Alegre: Edipucrs, 2009. 163 p.
- KARTAM, N.; AL-MUTAIRI, N.; AL-GHUSAIN, I.; AL-HUMOUD, J. Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait. **Waste management**, Oxford, v. 24, n. 10, p. 1049-1059, 2004.
- KATZ, A.; BAUM, H. A novel methodology to estimate the evolution of construction waste in construction sites. **Waste management**, Oxford, v. 31, n. 2, p. 353–358, 2011.
- KAWATOKO, I.E.S. **Ferramentas de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos para os planos municipais de saneamento básico, aplicadas ao estudo de caso de Campinas/SP**. 2015. 295 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- KERN, A.P.; DIAS, M.F.; KULAKOWSKI, M.P.; GOMES, L.P. Waste generated in high-rise buildings construction: a quantification model based on statistical multiple regression. **Waste management**, Oxford, v. 39, p. 35-44, 2015.
- KLEIN, F.B.; GONÇALVES-DIAS, S.L.F. A deposição irregular de resíduos da construção civil no município de São Paulo: um estudo a partir dos instrumentos de políticas públicas ambientais. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 40, p. 483-506, 2017.
- KOFOWOROLA, O.; GHEEWALA, S.H. Estimation of construcion waste generation and management in Thailand. **Waste Management**, Oxford, v. 29, n. 2, p. 731-738, 2009.

KOURMPANIS, B., PAPADOPOULOS, A., MOUSTAKAS, K., KOURMOUSSIS, F., STYLIANOU, M., LOIZIDOU, M. An integrated approach for the management of demolition waste in Cyprus. **Waste Management & Research**, London, v. 26, n. 6, p. 573-581, 2008.

KROETZ, C.E. **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio ao Dimensionamento e Estimativa de Custos de Aterros Sanitários em Trincheiras para Municípios de Pequeno Porte**. 2003. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

LAFAYETTE, K.P.V. **Análise dos impactos ambientais e dos indicadores de sustentabilidade como subsídio para a gestão de resíduos da construção civil (RCC) na Região Metropolitana do Recife**. 2016 145 f. Seleção de Professor Adjunto. Escola Politécnica de Pernambuco, Recife, 2016.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística Aplicada**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

LEITE, I.C.A.; DAMASCENO, J.L.C.; REIS, A.M.; ALVIM, M. Gestão de resíduos na construção civil: um estudo em Belo Horizonte e Região Metropolitana. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 14, n. 1, p. 159-175, 2018.

LEITE, R.A.; PANDOLFO, A.; GOMES, A.P.; CORRÊA, R.; PANDOLFO, L.M.; MARTINS, M.S. Usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição do município de Passo Fundo (RS): Avaliação da viabilidade econômica. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 12, n. 1, p. 107-129, jan./jun. 2010.

LI, J.R.; DING, Z.K.; MI, X.M., WANG, J.Y. A model for estimating construction waste generation index for building project in China. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 74, p. 20-26, 2013.

LI, Y.; ZHANG, X. Automation in Construction Web-based construction waste estimation system for building construction projects. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 35, p. 142-156, 2013.

LIEBOWITZ, J. **Introduction to Expert Systems**. Santa Cruz: Mitchell Publishing Inc., 1988.

LIMA, A.C.L. **Uso da tecnologia da informação e mídia social para gestão do resíduo da construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2015.

LIMA, A.S.; CABRAL, A.E.B. Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 169-176, abr./jun. 2013.

LIMA, C.H. **Proposta de método para obtenção de índice da qualidade de segregação de resíduos da construção civil**. 2016. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Londrina, 2016.

LIMA, G.B. **Modelo para estimar a geração de resíduos na construção de obras comerciais verticais**. 2017. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2017.

LIMA, J.A.R. *et al.* **Manual Resíduos de Construção: da geração à destinação final responsável**. Salvador: SENAI-BA, 2007. 20 p.

- LIMA, R.M.S.R. **Sistema de avaliação da gestão integrada de resíduos da construção civil na esfera municipal**. 2012. 173 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- LIMA, R.S.; LIMA, R.R.R. **Guia para elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil**. Série de Publicações Temáticas do CREA- PR. Curitiba: CREA, 2009.
- LLATAS, C. A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. **Waste Management**, Oxford, v. 31, n. 6, p. 1261–1276, 2011.
- LORENA, E.M.G.; BEZERRA, A.P.X.G.; GABRIEL, F.A.; SILVA, M.C.; MARINHO, G.P.A.; HOLANDA, R.M. Diagnosis of the inadequate disposal of construction and demolition waste in Vitória de Santo Antão, Pernambuco. **Revista Geama**, Recife, v. 8, n. 1, jan./mar. 2017.
- LORENTZ, J.F.; CALIJURI, M.L.; MARQUES, E.G.; BAPTISTA, A.C. Multicriteria analysis applied to Landslide susceptibility mapping. **Natural Hazards**, New York, v. 1, p. 12-27, 2016.
- LOURENÇO, R.W.; SILVA, D.C.; SALES, J.C.A.; MEDEIROS, G.A.; OTERO, R.A.P. Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. **Ciências e Natura**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 122-140, 2015.
- LU, W., YUAN, H.; Li, J.; HAO, J.J.; MI, X.; DING, Z. An empirical investigation of construction and demolition waste generation rates in Shenzhen city, South China. **Waste Management**, Oxford, v. 31, n. 4, p. 680–687, 2011.
- LU, W.; WEBSTER, C.; PENG, Y.; CHEN, X.; ZHANG, X. Estimating and calibrating the amount of building-related construction and demolition waste in urban China. **International Journal of Construction Management**, Abingdon, v. 17, p. 13-24, 2017.
- LU, W.; YUAN, H. Off-site sorting of construction waste: What can we learn from Hong Kong? **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 69, p. 100–108, 2012.
- LU, W.S., YUAN, H.P. Investigating waste reduction potential in the upstream processes of offshore prefabrication construction. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 28, p. 804-811, 2013.
- LÚCIO, R.F. **Diagnóstico do sistema de gerenciamento de resíduos de construção e demolição no município de Belo Horizonte/MG**. 2013. 121 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- LÚCIO, R.F.; SIMÕES, G.F. Proposta de metodologia para definição de locais propensos à implantação de áreas de triagem e transbordo de resíduos da construção e demolição com aplicação para o município de Belo Horizonte/MG. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 11., 2014, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: ABES, 2014.
- LUPATINI, G. **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à decisão em Escolha de Áreas para aterros sanitários**. 2002. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- MACEDO, T.F. **Análise do desempenho mecânico da mistura agregado reciclado-solamento para pavimentação**. 2013. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2013.

- MAH, C. M, FUJIWARA, T.; HO, C.S. Construction and demolition waste generation rates for high-rise buildings in Malaysia. **Waste Management & Research**, London, v. 34, n. 12, p. 1224-1230, 2016.
- MAIA, A.L.; MACHADO, F.M.; FREITAS, F.A.M.; SILVA, L.M.C.; SANTOS, R.R.D.; FERREIRA, R.H. **Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção Civil – PGIRCC**. 44 p. Belo Horizonte: FEAM e FIP, 2009.
- MÁLIA, M.; PINHEIRO, M.D.; DE BRITO, J.; BRAVO, M. Construction and demolition waste indicators. **Waste management & research**, London, v. 31, n. 3, p. 241–55, 2013.
- MAÑÀ I REIXACH, F.; GONZÀLEZ I BARROSO, J.; SAGRERA I CUSCÓ, A. **Plan de Gestión de Residuos en las obras de construcción y Demolición**. Catalunya: Institut de Tecnologia de la Construcción de Catalunya (ITec), 2000.
- MARQUES NETO, J.C. **Estudo da gestão municipal dos resíduos de construção e demolição na bacia hidrográfica do Turvo Grande (UGRHI-15)**. 2009. 669 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- MARQUES NETO, J.C.; SCHALCH, V. Diagnóstico ambiental para gestão sustentável dos resíduos de construção e demolição. *In*: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 13., 2010, Figueira da Foz. **Anais [...]**. Figueira da Foz: ABES, 2010.
- MARTINEZ LAGE, I.; MARTINEZ ABELLA, F.; VAZQUEZ HERRERO, C.; PEREZ ORDONEZ, J.L. Estimation of the annual production and composition of C&D debris in Galicia, Spain. **Waste Management**, Oxford, v. 30, n. 4, p. 636-645, 2010.
- MARTINS, F.G. **Gestão e gerenciamento de resíduos da construção civil em obras de grande porte: Estudo de caso**. 2012. 186 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- MASSUKADO, L.M. **Sistema de Apoio à Decisão: Validação de cenários de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos Domiciliares**. 2004. 230 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.
- MASUDI, A.F.; HASSAN, C.R.C.; MAHMOOD, N.Z.; MOKHTAR, S.N.; SULAIMAN, N.M. Quantification methods for construction waste generation at construction sites: a review. **Advanced Materials Research**, Zurich, v. 163-167, p. 4564-4569, 2011.
- MEDEIROS, D.; SILVA, A.M.R.; RIZZO, J.A.; MOTTA, M.E.; OLIVEIRA, F.H.B.; SARINHO, E.S.C. Nível sérico de IgE total em alergia respiratória: estudo em pacientes com alto risco de infecção por helmintos. **Jornal de Pediatria**, Porto Alegre, v. 82, n. 4, jul./ago. 2006.
- MELLO, L.C.B.B.; AMORIM, S.R.L. O subsetor de edificações da construção civil no Brasil: Uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos. **Produção**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 388-399, mai./ago. 2009.
- MELO, A.V.S.; FERREIRA, E.A.M.; COSTA, D.B. Fatores críticos para a produção de agregado reciclado em usinas de reciclagem de RCC da região nordeste do Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 99-115, jul./set. 2013.
- MELO, D.A. **Proposta de processo decisório para reabilitação das áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos na Região Metropolitana de Goiânia**. 2017. 273 f.

(Mestrado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Escola de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

MENDES, T.S. **Educação Ambiental**: Mapeamento dos pontos de resíduos da construção civil de Campina Grande. 2013. 10 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Centro de Ciências e Tecnologia – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2013.

MENDIS, D.; HEWAGE, K.H. WRZESNIEWSKI, J. Reduction of construction wastes by improving construction contract management: a multinational evaluation. **Waste Management & Research**, London, v. 31, n. 10, p. 1062-1069, 2013.

MERCADER-MOYANO, M.P.; RAMIREZ-DE-ARELLANO-AGUDO, A. Selective classification and quantification model of C&D waste from material resources consumed in residential building construction. **Waste Management & Research**, London, v. 31, n. 5, p. 458-474, 2013.

MESQUITA JÚNIOR, J.M. **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Coordenação técnica de Karin Segala. Rio de Janeiro: IBAM, 2007.

MESQUITA, A.S.G. Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em Teresina, Piauí. **Revista Holos**, Natal, v. 2, p. 58-65, 2012.

MIRANDA, L.F.R.; ÂNGULO, S.C.; CARELLI, E.D. A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil:1986-2008. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 9, p. 57-71, jan./mar. 2009.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Manual para implantação de sistema de gestão de resíduos de construção civil em consórcios públicos**. Brasília, 2010.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Recomendações para licenciamento**: áreas de manejo de resíduos da construção civil e resíduos volumosos decorrentes da implementação da resolução CONAMA nº 307/2002. Brasília, 2006.

MONTIBELLER, G.F. Indicators and social equity: properties of sustainability indicators and the absence of the principle of social justice in studies on climate change and CO₂. **Revista Internacional Interdisciplinar INTERthesis**, Florianópolis, v. 7, n. 1, p. 199-221, 2010.

MORALES, G.; BORGES, L.P.P.; LOPES, P.M.; ZAMAIA, V.P.A.; JÚNIOR, V.G.A. Técnicas de manejo e gestão adequadas de usinas de reciclagem de resíduos da construção civil-RCC. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2., 2011, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: IBEAS, 2011.

MOTA, J.C.; ALMEIDA, M.M.; ALENCAR, V.C.; LOPES, I.V.; CURI, W.F. Desenvolvimento de uma aplicação com a finalidade de manter uma base de dados aplicada a um sistema de suporte a decisão em recursos hídricos. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 1, p. 246-263, 2011.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2014.

NAGALLI, A.; NAZÁRIO, P.L.; DA SILVA, F.C.F.; DE CASTRO, A.P.V. Computational System for Construction Waste Management. *In*: INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT AND LANDFILL SYMPOSIUM, 14., 2013, Santa Margherita di Pula. **Anais [...]**. Santa Margherita di Pula: IUPAC, 2013.

NAGAPAN, S.; RAHMAN, I.A.; ASMI, A.; ADNAN, N.F. Study of site's construction waste in Batu Pahat, Johor. **Procedia Engineering**, Amsterdam, v. 53, p. 99-103, 2013.

NAGPURE, A.S. Assessment of quantity and composition of illegal dumped municipal solid waste (MSW) in Delhi. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 141, p. 54-60, 2019.

NASCIMENTO, R.A.; SELMO, S.M.S. **Produção de areia reciclada lavada de resíduos classe A da construção civil**: contribuição ao desenvolvimento de processo via úmida na usina de Socorro/SP. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2007.

NOVAES, M.V.; MOURÃO, C.A.M.A. **Manual de gestão ambiental de resíduos sólidos da construção civil**. Fortaleza: COOPERCON, 2008.

O'BRIEN, J.A. Sistemas de informação para apoio à decisão gerencial. *In*: _____. **Sistemas de informação e as decisões gerenciais na era da Internet**. São Paulo: Saraiva, 2001.

OLIVEIRA NETO, J.T. **Determinação de áreas favoráveis à implantação de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos para o município de Piumhi-MG**. 2011. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geoprocessamento) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

OLIVEIRA, C.E.M. **Levantamento e classificação de resíduos de construção e demolição em Ilha Solteira-SP**. 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2014.

OLIVEIRA, D.M. **Desenvolvimento de ferramenta para apoio á gestão de resíduos de construção e demolição com uso de geoprocessamento**: Caso Bauru-SP. 2008. 54 f. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

OLIVEIRA, F.M.D.R.; BUFFON, N.M.; FREITAS, S.S.; NAGALLI, A. The effectiveness of C&D Waste Management considering the stationary buckets contents. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, Stillwater, v. 19, p. 3047-3060, 2014.

OLIVEIRA, L.F.L. **Análise especial do descarte de resíduos de construção e demolição em Feira de Santana/BA no cenário 2003 x 2011**. 2012. 65 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.

OLIVEIRA, M.J.E.; ASSIS, C.S.; TERNI, A.V. Study on compressed stress, water absorption and modulus of elasticity of produced concrete made by recycled aggregate. *In*: INTERNATIONAL RILEM CONFERENCE ON THE USE OF RECYCLED MATERIALS IN BUILDING AND STRUCTURES, 2004, Barcelona. **Anais [...]**. Barcelona: Rilem, 2004.

OLIVEIRA, W.N.; ROCHA, V.P.; FERREIRA, O.M. Mapeamento dos pontos de disposição de resíduos da construção civil e demolição em Goiânia. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: INPE, 2013.

ORNELAS, A.R **Aplicação de métodos de análise espacial na gestão dos resíduos sólidos urbanos**. 2011. 92 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

OROZCO, M.M.D.; FREDERICO, F.H. Composição gravimétrica, classificação e potencial de reciclagem dos resíduos de construção civil produzidos em Ji-Paraná/RO. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 6., 2015, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: IBEAS, 2015.

ORTIZ, O.; PASQUALINO, J.C. CASTELLS, F. Environmental performance of construction waste: comparing three scenarios from a case study in Catalonia, Spain. **Waste Management**, Oxford, v. 30, n. 4, p. 646-654, 2010.

PAIVA, E.C.R.; SILVA, C.M.; BERNARDES, S.D. Viabilidade econômica de uma usina de reciclagem de entulho em Catalão-GO. CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 3., 2012, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: IBEAS, 2012.

PANTALEÃO, E.; SLUTER, C.R. Aplicação de técnicas de sistemas especialistas em projeto cartográfico temático. *In: S IMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA*, 2., 2002, Presidente Prudente. **Anais [...]**. Presidente Prudente: UNESP, 2002.

PASCHOALIN FILHO, J.A.; FARIA, A.C.; PIERS, G.W.M.O.; DUARTE, E.B.L. Investimentos em ativos imobilizados para instalação de usina de reciclagem de resíduos da construção civil de médio porte da zona Leste de São Paulo. **Desenvolvimento em questão**, Ijuí, v. 14, n. 36, p. 320-351, out./dez. 2016.

PAZ, D.H.F. **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio ao gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil em canteiros de obras de edificações urbanas**. 2014. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2014.

PAZ, D.H.F.; CARDOSO, F.C.N.; LAFAYETTE, K.P.V.; ALENCAR, S.F. Estimativa da geração atual de resíduos da construção e demolição (RCD) nos municípios brasileiros. *In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE*, 15., 2013, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 2013.

PBQP-H – PROGRAMA BRASILEIRO DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE NO HABITAT. **Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil – SiAC**. Disponível em: http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_siacc_empresas.php. Acesso em: 07 nov. 2016.

PCR – PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE. **Licitações Concluídas**. Disponível em: www.recife.pe.gov.br/portalcompras/app/ConsAcompDetalhes.php. Acesso em: 25 dez. 2018.

PEREIRA, L.H. **Construction and Demolition Waste Recycling: the Case of the Portuguese Northern Region**. 2002, 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho, Guimarães, 2002.

PERNAMBUCO. Lei nº 14.236, de 13 de dezembro de 2010. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**, 2010.

PERNAMBUCO. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos**. Governo do Estado de Pernambuco, Recife, 2012.

PERNAMBUCO. **Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos**. Secretaria das Cidades. Recife, 2011.

PIMENTEL, U.H.O. **Análise da geração de resíduos da construção civil da cidade de João Pessoa/PB**. 2013. 190 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.

PINHO, S.A.C. **Desenvolvimento de programa de indicadores de desempenho para tecnologias construtivas à base de cimento: Perdas, consumo e produtividade**. 2013. 269 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2013.

- PINTO, T.P. (Coord.). **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: A experiência do SINDUSCON-SP.** Obra Limpa, Instituto de Técnicas em Construção civil, São Paulo. 2005. 49 p.
- PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** São Paulo. 1999. 202 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- PINTO, T.P. **Resíduos de construção no Distrito Federal – Diagnóstico geral.** Brasília: I&T, 2008.
- PINTO, T.P.; GONZÁLEZ, J.L.R. (coord.). **Manejo e gestão de resíduos da construção civil.** Brasília: CAIXA, 2005.
- PIOVEZAN JÚNIOR, G.T.A.; SILVA, C.E.; DARONCO, G.C.; REIS, R.P. Avaliação quantitativa da geração dos resíduos da construção civil – RCC no município de Santa Rosa – Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 2., 2010, Bento Gonçalves. Anais [...].* Bento Gonçalves: FIEMA, 2010.
- POLAZ, C.N.M.; TEIXEIRA, B.A.N. Indicadores de sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos: um estudo para São Carlos (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, v. 14, n. 3, p. 411-420, jul./set., 2009.
- POLETO, C (org). **Introdução ao gerenciamento ambiental.** Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
- PONTES, G.C. **Avaliação do gerenciamento de resíduos de construção e demolição em empresas construtoras do Recife e sua conformidade com a resolução 307/CONAMA: Estudo de casos.** 2007. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2007.
- POON, C. S.; YU, A. T. W.; NG, L. H. On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 32, n. 2, p. 157–172, 2001.
- POON, C.S.; YU, A.T.W.; SEE, S.C. CHEUNG, E. Minimizing demolition wastes in Hong Kong public housing projects. **Construction Management and Economics**, Leicestershire, v. 22, n. 8, p. 799-805, 2004.
- PORTO, M.E.H.C.; **Estudo de viabilidade de implantação de uma usina de reciclagem de resíduos da construção e demolição no município de Campos dos Goytacazes/RJ.** 2011. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Instituto Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2011.
- PRATA, V.C. **Gestão de resíduos da construção civil na zona urbana do município de Lagarto-SE: do diagnóstico a uma proposta de modelo gerencial.** 2013. 197 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2013.
- RAM, V.G.; KALIDINDI, S.N. Estimation of construction and demolition waste using waste generation rates in Chennai, India. **Waste Management & Research**, London, v. 35, n. 6, p. 610-617, 2017.
- RECIFE. Decreto nº 27.045, de 19 de Abril de 2013. Reconhece o Plano Metropolitano de Resíduos Sólidos – PMRS da Região Metropolitana como Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município do Recife. **Diário Oficial do Município de Recife**, 2013a.

RECIFE. Decreto nº 27.399, de 27 de Setembro de 2013. Regulamenta as unidades de recebimento de Resíduos Sólidos oriundos de pequenos geradores, no âmbito do Município do Recife. **Diário Oficial do Município de Recife**, 2013b.

RECIFE. Lei nº 16.293, de 22 de Janeiro de 1997. Dispõe sobre as regiões político-administrativas do município do Recife e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Recife**, 1997.

RECIFE. Lei nº 17.072, de 04 de Janeiro de 2005. Estabelece as diretrizes e critérios para o Programa de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. **Diário Oficial do Município de Recife**, 2005.

RECIFE. Lei nº 17.511/2008, de 29 de Dezembro de 2008. Promove a revisão do Plano Diretor do Município do Recife. **Diário Oficial do Município de Recife**, 2008.

RESCH, S.; MATHEUS, R.; FERREIRA, M.F. Logística reversa: O caso dos ecopontos do municípios de São Paulo. **Revista Eletrônica de Gestão e Serviços**, São Bernardo do Campo, v. 3, n. 1, jan./jun. 2012.

RESENDE, L.H.S. **Análise da gestão de resíduos sólidos de construção civil de Belo Horizonte (MG) a partir da percepção dos atores envolvidos**. 2016. 108 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

RIBEIRO, F.A.B.S.; DIAS, J.F. Deposição irregular dos resíduos de construção civil em Uberlândia/MG. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, Tupã, v. 1, n. 5, p. 88-106, 2013.

RIO DE JANEIRO. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS da Cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2015.

ROCHA, G.R.P.; REBELO, S.; WAHRLICH, J.; SILVA, F.A.; SIMIONI, F.J. Avaliação dos aspectos e impactos ambientais de uma unidade de reciclagem de resíduos da construção civil. *In: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS*, 8., 2017, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba: Instituto Venturi, 2017.

ROSA, F.R. **Identificação e cadastramento de áreas de descarte de resíduos de construção e demolição na Região da AMREC, Santa Catarina**. 2011. 109 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011.

SAATY, T.L. **The analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw-Hill, 1980.

SACHO, S.D.; CALDAS, L.R.; PFEIFFER, S.C.; SPOSTO, R.M. Avaliação econômica e de emissões de CO₂ da reciclagem de resíduos de construção e demolição Classe A: Estudo para Goiânia-GO. **Mix sustentável (Online)**, Florianópolis, v. 2, p. 20-28, 2016.

SAE – SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS. Disponível em: www.sae.gov.br. Acesso em: 31 out. 2016.

SÁEZ, P. V.; MERINO, R.; PORRAS-AMORES, C. Estimation of construction and demolition waste volume generation in a new residential buildings in Spain. **Waste Management & Research**, London, v. 30, n. 2, p. 137-146, 2012.

SÁEZ, P.V.; PORRAS-AMORES, C.; MERINO, M.D.R. New quantification proposal for construction waste generation in new residential constructions. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 102, p. 58-65, 2015.

- SANDLER, L.; SWINGLE, P. **OSWER Innovations Pilot: Building Deconstruction and Reuse**. Disponível em: <http://www.epa.gov/oswer/>. Acesso: em 31 out. 2016.
- SANTIAGO, L.S.; DIAS, S.M.F. Matrix of sustainability indicators for the management of municipal solid waste. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, v. 17, p. 203-212, 2012.
- SANTOS, A.N. **Diagnóstico da situação dos resíduos de construção e demolição (RCD) no município de Petrolina (PE)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.
- SANTOS, D.S. **Diagnóstico da gestão dos resíduos de construção e demolição e seus impactos ambientais no município de Jaboatão dos Guararapes/PE**. 2015. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2015.
- SANTOS, M.H.S.; MARCHESINI, M.M.P. Logística reversa para a destinação ambientalmente sustentável dos resíduos de construção e demolição (RCD). **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 67-85, mai./ago. 2018.
- SÃO PAULO. **Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade de São Paulo**. Comitê Intersecretarial para a Política Municipal de Resíduos Sólidos. São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/servicos/arquivos/PGIRS-2014.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2017.
- SAUSEN, A.; SAUSEN, P.S. Aplicação de uma metodologia para a análise da sensibilidade do modelo dinâmico para uma tubulação-separador sob golfadas. **Trends in Applied and Computational Mathematics**, São Carlos, v. 11, n. 3, p. 245-256, 2010.
- SCHIAVI, C.S. **Análise da gestão de resíduos da construção e demolição em municípios do estado do Rio Grande do Sul-RS**. 2013. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- SCHMITZ, S. **Os resíduos da construção em dois municípios do litoral do Paraná**. 2012. 45 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) – Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2012.
- SCHNEIDER, D.M. **Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo**. 2003. 129 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- SCHNEIDER, D.M.; PHILIPPI JR, A. Gestão pública de resíduos da construção civil no município de São Paulo. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 21-32, out./dez. 2004.
- SCREMIN, L.B. **Desenvolvimento de um sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos da construção e demolição para municípios de pequeno porte**. 2007. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- SCREMIN, L.B.; JUNIOR, A.B.C.; ROCHA, J.C. Sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos de construção e demolição para municípios de pequeno porte. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo, v. 19, n. 2, abr/jun. 2014.
- SEROR, N., HARELI, S.; PORTNOV, B.A. Evaluating the effect of vehicle impoundment policy on illegal construction and demolition waste dumping: Israel as a case study. **Waste Management**, Oxford, v. 34, p. 1436-1445, 2014.

SEROR, N.; PORTNOV, B.A. Identifying areas under potential risk of illegal construction and demolition waste dumping using GIS tools. **Waste management**, Oxford, v. 75, p. 22-29, 2018.

SHEN, L.Y.; TAM, V.W.; TAM, L., JI, Y.B. Project feasibility study: the key to successful implementation of sustainable and socially responsible construction management practice. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 18, p. 254-259, 2010.

SHEN, L.Y.; TAM, V.W.Y.; TAM, C.M.; DREW, D. Mapping approach for examining waste management on construction sites. **Journal of Construction Engineering and Management**, Reston, v. 130, n. 4, p. 472-481, 2004.

SILVA, A.A. **Avaliação dos pontos de apoio (ecopontos) na gestão dos resíduos sólidos urbanos**: Estudo de caso de São José do Rio Preto/SP. 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2012.

SILVA, A.A. **Diagnóstico da gestão dos resíduos de construção e demolição no município do Cabo de Santo Agostinho/PE**. 2017. 200 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2017.

SILVA, A.S.; BARBOSA, D.S.; SACRAMENTO, I.G.; JESUS, T.J.M.; FILHO, M.D.M. Gestão dos resíduos sólidos gerados pelo setor da construção civil (construtoras) em Aracaju. **Cadernos de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas Unit**, Cruz das Almas, v. 2, n. 1, p. 137-144, 2014.

SILVA, C.S.S. **Diagnóstico ambiental de áreas de disposição de resíduos da construção e demolição em Porto Alegre**. 2014. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2014.

SILVA, I.L.; PACHECO, P. **Desenvolvimento de um aplicativo de auxílio de tomada de decisão na escolha de grade de horários utilizando Ionic**. 2016. 254 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Sistemas de Informação) – Departamento de Informática e Estatística. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

SILVA, L.M. **Gestão de resíduos da construção civil**: Dificuldades para implementação do Plano Integrado de Gestão de Resíduos no município de São Leopoldo. 2011. 88 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SILVA, M.C.G.; SILVA, N.P.; KOVALESKI, J.L.; COLMENERO, J.C. Critérios para localização de usina de reciclagem de resíduos da construção civil, utilizando o método Analytic Hierarchy Process (AHP). **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 5, n. 2, 2013.

SILVA, R.C.P. **Avaliação do modelo de gestão dos resíduos sólidos urbanos da cidade do Recife/PE e estudo dos indicadores gerenciais nos setores de coleta por meio de técnicas multivariadas**. 2015. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

SILVESTRE, J.; DE BRITO, N.; PINHEIRO, M. Environmental impacts and benefits of the end-of-life of building materials-calculation rules, results and contribution to a “cradle to cradle” life cycle. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 66, p. 37-45, 2014.

SINDUSCON/MG – SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Guia de Sustentabilidade na Construção**. Belo Horizonte, 2008.

SINDUSCON/SP – SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DE GRANDES ESTRUTURAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Resíduos da Construção Civil e o estado de São Paulo**. São Paulo, 2012.

SINDUSCON/SP – SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DE GRANDES ESTRUTURAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: avanços institucionais e melhorias técnicas**. São Paulo, 2015.

SMMA – SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DE CURITIBA. **Manual de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil**. Curitiba, 2015.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Disponível em: <https://www.snis.gov.br/>. Acesso em: 30 out. 2016.

SOBRAL, R.F.C. **Viabilidade econômica de usina de reciclagem de resíduos da construção civil: Estudo de caso da USIBEN – João Pessoa/PB**. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

SOLIS-GUZMAN, J.; MARRERO, M.; MONTES-DELGADO, M.V.; RAMIREZ-DE-ARELLANO, A. A spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste Management**, Oxford, v. 29, n. 9, p. 2542-2548, 2009.

SOUZA, S.N. **Aplicação de modelos matemáticas biogeoquímicos de qualidade da água para o sistema natural da bacia do rio Beberibe**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.

STOLZ, C.M. **Viabilidade econômica de usinas de reciclagem de RCD: Um estudo de caso para Ijuí/RS**. 2008. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2008.

TAM, V.W.; HAO, J.J. Prefabrication as a mean of minimizing construction waste on site. **International Journal of Construction Management**, v. 14, n. 2, p. 113-121, 2014.

TAMRAZ, S.N.; SROUR, I.M.; CHEHAB, G.R. Construction demolition waste management in Lebanon. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE DESIGN AND CONSTRUCTION*, 1., 2012, Kansas. **Anais [...]**. Kansas: ASCE, 2012.

TEIXEIRA, C.C. **Gestão de resíduos de construção e demolição em obras de edificação**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2013.

TESSARO, A.B.; SÁ, J.S.; SCREMIN, L.B. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 121-130, abr./jun. 2012.

TSAI, W.H.; LIN, S.J.; LEE, Y.F., CHANG, Y.C., HSU, J.L. Construction method selection for green building projects to improve environmental sustainability by using and MCDM approach. **Journal of Environmental Planning and Management**, Abingdon, v. 56, n. 10, p. 1487-1510, 2013.

ULSEN, C. **Caracterização tecnológica de resíduos de construção e demolição**. 2011. 200 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Criteria for the Definition of Solid Waste and Solid and Hazardous Waste Exclusions**. Disponível em:

<https://www.epa.gov/hw/criteria-definition-solid-waste-and-solid-and-hazardous-waste-exclusions>. Acesso em: 15 fev. 2019.

VALENÇA, M.Z. **Resíduos da construção civil: O papel das empresas de coleta e transporte de entulho de obras para uma gestão integrada e sustentável na cidade do Recife, a partir da Resolução CONAMA 307/2002**. 2008. 149 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

VASCONCELOS, K.B.; LEMOS, C.F. Densidade aparente dos resíduos da construção civil em Belo Horizonte/MG. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL*, 6., 2015, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: IBEAS, 2015.

VIANA, K.S.C.L. Metodologia simplificada de gerenciamento de resíduos sólidos em canteiros de obras. 2009. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

VIÑAS, E.D. **Towards and improved framework for construction and demolition waste management (C&DW) using decision support tools**. 2015. 275 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química e de Processos) – Departamento de Química e Ingeniería de Procesos Y Recursos, Universidad de Cantabria, Santander, 2015.

VON SPERLING, M. **Estudo e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: DESA, 2007. 588p.

WANG, J. Y., TOURAN, A. CHRISTOFOROU, C.; FADLALLA, H. A system analysis tool for construction and demolition wastes management. **Waste Management**, Oxford, v. 24, n. 10, p. 989-997, 2004.

WANG, J.Y.; YUAN, H.P.; KAG, X.P.; LU, W.S. Critical success factors for on-site sorting of construction waste: a China study. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 54, n. 11, p. 931-936, 2010.

WESTMACOTT, S. Developing decision support systems for integrated coastal management in the tropics: Is the ICM decision-making environment too complex for the development of a useable and useful DSS? **Journal of Environmental Management**, London, n. 62, p. 55-74, 2001.

WIERZBICKI, A.P. Decision support methods and applications: the cross-sections of economics and engineering or environmental issues. **Annual reviews in Control**, Oxford, n. 24, p. 9-19, 2000.

WON, J.; CHENG, J.C.P.; LEE, G. Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea. **Waste Management**, Oxford, v. 49, p. 170-180, 2016.

WU, Z.; SHEN, L.; YU, A.T.W.; ZHANG, X. A comparative analysis of waste management requirements between five green building rating systems for new residential buildings. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 112, p. 895-902, 2016.

WU, Z.; YU, A.T.W.; SHEN, L.; LIU, G. Quantifying construction and demolition waste: An analytical review. **Waste management**, Oxford, v. 34, p. 1683-1692, 2014.

XAVIER, R. **Alternativas para o traçado do hiperanel rodoviário da região metropolitana de Belo Horizonte (MG), utilizando rotinas de apoio à decisão em SIG**. 2002. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

- YE, G.; YUAN, H.; SHEN, L.; WANG, H. Simulating effects of management measures on the improvement of the environmental performance of construction waste management. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 62, p. 56–63, 2012.
- YEHESES, M.; HEWAGE, K.; ALAM, M.S.; ESKICIOGLU, C.; SADIQ, R. An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability. **Clean Technologies and Environmental Policy**, New York, v. 15, p. 81-91, 2013.
- YU, A.T.W.; POON, C.S.; WONG, A.; YIP, R.; JAILLON, L. Impact of construction waste disposal charging scheme on work practices at construction sites in Hong Kong. **Waste Management**, Oxford, v. 33, n. 1, p. 138-146, 2013.
- YUAN, H.; LU, W.; JIANLI HAO, J. The evolution of construction waste sorting on-site. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 20, p. 483–490, 2013.
- YUAN, H.; SHEN, L. Trend of the research on construction and demolition waste management. **Waste management**, Oxford, v. 31, p. 670-679, 2011.
- ZAINUN, N.Y.; OTHMAN, W. Quantification and mapping of construction waste generation in Parit Raja. **Applied Mechanics and Materials**, Zurich, v. 773-774, p. 1032-1036, 2015.
- ZANNA, C.D. **Proposta de sistema informatizado de monitoramento e controle da gestão de resíduos sólidos de construção civil para empresas construtoras**. 2014. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.
- ZHAO, W.; LEEFTINK, R.B.; ROTTER, V.S. Evaluation of the economic feasibility for the recycling of construction and demolition waste in China – the case of Chongqing. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 54, n. 6, p. 377-389, 2010.
- ZHAO, W.; REN, H.; ROTTER, V.S. A system dynamics model for evaluating the alternative of type in construction and demolition waste recycling center – the case of Chongqing. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 55, n. 11, p. 933-944, 2011.
- ZHENG, L.; WU, H.; ZHANG, H.; DUAN, H.; WANG, J.; JIANG, W.; DONG, G.L; ZUO, J.; SONG, Q. Characterizing the generation and flows of construction and demolition waste in China. **Construction and Building Materials**, Oxford, n. 136, p. 405-413, 2017.

APÊNDICE A - RESUMO DO LATTES – DIOGO HENRIQUE FERNANDES DA PAZ

Link: <http://lattes.cnpq.br/9711778448759836>



Diogo Henrique Fernandes da Paz

Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/9711778448759836>
Última atualização do currículo em 01/02/2019

Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE (Campus Cabo de Santo Agostinho). Doutorando em Engenharia Civil (Tecnologia Ambiental) na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco (POLI/UEPE) e Especialista em Perícia Ambiental na Faculdade Frassinetti do Recife (FAFIRE). Tecnólogo em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), Engenheiro Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Engenheiro Ambiental pelo Centro Universitário Maurício de Nassau (Uninassau). Atualmente coordena o curso Técnico em Meio Ambiente do IFPE Cabo. Possui atuação nas áreas de Gestão Ambiental Empresarial, Construção Sustentável, Resíduos da Construção e Demolição (RCD), Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e Geoprocessamento. É pesquisador-líder do AMBISOFT - Tecnologia e Gestão Ambiental **(Texto informado pelo autor)**

Identificação

Nome	Diogo Henrique Fernandes da Paz
Nome em citações bibliográficas	PAZ, D. H. F.;PAZ, DH;PAZ, D. H.;PAZ, DIOGO HENRIQUE FERNANDES DA;PAZ, DIOGO;DA PAZ, DIOGO HENRIQUE FERNANDES

Endereço

Endereço Profissional	Instituto Federal de Pernambuco, Campus Cabo de Santo Agostinho. Rua Sebastião Barreto Destilaria 54515470 - Cabo de Santo Agostinho, PE - Brasil Telefone: (081) 30827706
------------------------------	--

Formação acadêmica/titulação

2015	Doutorado em andamento em Engenharia Civil (Conceito CAPES 5). Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Brasil. Título: DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO, Orientador: ☺ Maria do Carmo Martins Sobral. Coorientador: Kalinny Patrícia Vaz Lafayette.
2013 - 2014	Mestrado em Engenharia Civil (Conceito CAPES 3). Universidade de Pernambuco, UPE, Brasil. Título: Desenvolvimento de um sistema de apoio ao gerenciamento de Resíduos da Construção e Demolição (RCD) em canteiros de obras, Ano de Obtenção: 2014. Orientador: ☺ Kalinny Patrícia Vaz Lafayette.
2012 - 2014	Especialização em Perícia Ambiental. (Carga Horária: 360h). Faculdade Frassinetti do Recife, FAFIRE, Brasil. Título: Estimativa do potencial de aproveitamento de biogás de aterros sanitários em Pernambuco. Orientador: Alessandra Lee Barbosa Firmo.
2014 - 2015	Graduação em Engenharia Ambiental. Centro universitário Maurício de Nassau - Recife, UNINASSAU, Brasil. Título: Estimativa dos custos de aproveitamento energético do biogás através da implantação de novos aterros sanitários em Pernambuco.
2008 - 2013	Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental. Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE, Brasil. Título: Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais (RSI): Estudos de casos da Região Metropolitana do Recife/PE. Orientador: Romildo Morant de Holanda.
2009 - 2012	Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental. Instituto Federal de Pernambuco - Campus Recife, IFPE, Brasil. Título: Modelagem Matemática da Qualidade da Água no rio Capibaribe.

APÊNDICE B - RESUMO DO LATTES – MARIA DO CARMO MARTINS SOBRAL (ORIENTADORA)

Link: <http://lattes.cnpq.br/4167833928991356>



Maria do Carmo Martins Sobral

Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 2

Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/4167833928991356>
Última atualização do currículo em 21/01/2019

Bolsista de Produtividade em Pesquisa 2 das Ciências Ambientais. Pos-Doc, Estágio Sênior na UNESCO-IHE (2015). Doutorado em Planejamento Ambiental na Universidade Técnica de Berlin, Alemanha (1991) e Pós-Doutorado no Instituto de Tecnologia Ambiental da Universidade Técnica de Berlin (2007). Mestrado em Engenharia Civil na Universidade de Waterloo, Canadá (1979). Especialização em Planejamento Urbano e Regional na Universidade Dortmund, Alemanha (1986). Especialização em Saneamento Ambiental na Universidade Federal de Pernambuco-UFPE (1976). Graduação em Engenharia Civil na UFPE (1974). Professora Titular do Departamento de Engenharia Civil da UFPE. Docente permanente do Mestrado e Doutorado em Engenharia Civil na Área de Concentração Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da UFPE e do Mestrado e Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente- Rede PRODEMA da UFPE. Coordenadora da Área de Ciências Ambientais da Capes (2011-maio 2016). Presidente da Câmara de Meio Ambiente e Agrárias da Área Interdisciplinar da CAPES (2009-2011). Membro Titular do Conselho Técnico-Científico de Ensino Superior da CAPES (2012-maio 2016). Coordenadora Geral de Programas da Diretoria de Relações Internacionais da Capes (maio-julho 2016). Membro da Rede de Estudos Ambientais de Países de Língua Portuguesa-REALP (2005-Atual). Membro Titular do Conselho Científico do Instituto Tecnológico de Pernambuco - ITEP (2013-Atual). Editora Geral da Revista Brasileira de Ciências Ambientais - RBCIAMB da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental-ABES. Editora da Área de Meio Ambiente da Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental-ESA da ABES. Membro do Comitê Científico da Revista Brasileira de Pós-Graduação da CAPES - RBPG (julho 2014 - atual). Parecerista de diversas revistas científicas internacionais e nacionais. Exerceu diversos cargos de administração pública na Agência Pernambucana de Meio Ambiente-CPRH, Secretaria Estadual de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana-FIDEM e Companhia Pernambucana de Saneamento-COMPESA. Sub-Chefe do Departamento de Engenharia Civil da UFPE (2009-2013). Presidente da Associação dos Ex-Alunos da Universidade Técnica de Berlin no Brasil -Alumni TUB (2011-Atual). Possui produção científica e tecnológica em: planejamento e tecnologia ambiental; avaliação de impactos ambientais, gestão integrada de recursos hídricos; qualidade da água; monitoramento ambiental, sustentabilidade ambiental e interdisciplinaridade nas ciências ambientais. **(Texto informado pelo autor)**

Identificação

Nome	Maria do Carmo Martins Sobral
Nome em citações bibliográficas	SOBRAL, M. C.;SOBRAL, Maria C.M.;Sobral, M. C. M.;SOBRAL, M.;SOBRAL, Maria do Carmo;SOBRAL, MARIA DO CARMO MARTINS;SOBRAL, Maria

Endereço

Endereço Profissional	Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil/Grupo de Saneamento Ambiental. Avenida Acadêmico Hélio Ramos, s/n Cidade Universitária 50670530 - Recife, PE - Brasil Telefone: (81) 21268744 Fax: (81) 21268219 URL da Homepage: http://www.ufpe.br
------------------------------	--

Formação acadêmica/titulação

1987 - 1991	Doutorado em Saneamento Ambiental. Technische Universität Berlin, TUBerlin, Alemanha. Título: Avaliação ambiental como instrumento preventivo da política ambiental no Brasil:
--------------------	--

APÊNDICE C - RESUMO DO LATTES – KALINNY PATRÍCIA VAZ LAFAYETTE (CO-ORIENTADORA)

Link: <http://lattes.cnpq.br/5853695582658559>



Kalinny Patrícia Vaz Lafayette

Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/5853695582658559>
Última atualização do currículo em 31/10/2018

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Católica de Pernambuco (1991), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (2000) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (2006). Atualmente é Professora Associada da Universidade de Pernambuco (UPE) e atua como docente permanente do Mestrado Acadêmico em Engenharia Civil da UPE (área: Construção Civil). Membro dos Grupos de Pesquisa AMBITEC (Grupo de Pesquisa de Engenharia Aplicada ao Meio Ambiente), DESS (Desenvolvimento Seguro e Sustentável) e AMBISOFT (Tecnologia e Gestão Ambiental - IFPE). Tem experiência na área de Geotecnia, atuando principalmente nas seguintes linhas de pesquisa: - Estabilidade de encostas, comportamento de solos e Obras de Estabilização. - Comportamento geotécnico de solos não saturados; - Estabilidade e erosão de encostas; - Obras de Estabilização / Contenção; - Ensaios de Campo e Laboratório; - Ensaios específicos para determinação da taxa de desagregação do solo e transporte de sedimentos;- Desempenho e inovação tecnológica dos Resíduos da Construção Civil (RCC);- Sustentabilidade em Áreas Urbanas. **(Texto informado pelo autor)**

Identificação

Nome	Kalinny Patrícia Vaz Lafayette
Nome em citações bibliográficas	LAFAYETTE, K. P. V.;LAFAYETTE, K. P.

Endereço

Endereço Profissional	Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica. Rua Benfica, 455 Madalena 50720001 - Recife, PE - Brasil Telefone: (081) 31847566 Fax: (081) 31847566
------------------------------	--

Formação acadêmica/titulação

2001 - 2006	Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Brasil. Título: Estudo geológico-geotécnico do processo erosivo em encostas no Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti - Cabo de Santo Agostinho/PE., Ano de obtenção: 2006. Orientador: 🧑🏫 Roberto Quental Coutinho. Bolsista do(a): Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, Brasil. Palavras-chave: Erosão; Solos não saturados; Resistência ao cisalhamento; Ensaios de erodibilidade. Grande área: Engenharias Grande Área: Engenharias / Área: Engenharia Civil / Subárea: Geotécnica / Especialidade: Geotecnia Ambiental. Grande Área: Engenharias / Área: Engenharia Civil / Subárea: Geotécnica / Especialidade: Mecânica dos Solos.
1997 - 2000	Mestrado em Engenharia Civil (Conceito CAPES 5). Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Brasil. Título: Comportamento Geomecânico de Solos de Uma Topossequência na Formação Barreiras em uma Encosta na Área Urbana do Recife-PE, Ano de Obtenção: 2000. Orientador: 🧑🏫 Silvío Romero de Melo Ferreira. Bolsista do(a): Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, Brasil. Palavras-chave: Solos não saturados; Estabilidade; Ensaios de Campo e Laboratório. Grande área: Engenharias
1987 - 1991	Graduação em Engenharia Civil. Universidade Católica de Pernambuco, UNICAP, Brasil.

APÊNDICE D - ARTIGO PUBLICADO NA REVISTA WASTE MANAGEMENT & RESEARCH (QUALIS A1 – ENGENHARIAS I)



Original article

WM&R

GIS-based planning system for managing the flow of construction and demolition waste in Brazil

Waste Management & Research
1–9
© The Author(s) 2018
Reprints and permissions:
sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav
DOI: 10.1177/0734242X18772096
journals.sagepub.com/home/wmr
SAGE

Diogo Henrique Fernandes da Paz¹, Kalinny Patrícia Vaz Lafayette²
and Maria do Carmo Sobral¹

Abstract

The objective of this article was to plan a network for municipal management of construction and demolition waste in Brazil with the assistance of a geographic information system, using the city of Recife as a case study. The methodology was carried out in three stages. The first was to map the illegal construction and demolition of waste disposal points across Recife and classify the waste according to its recyclability. In sequence, a method for indicating suitable areas for installation of voluntary delivery points, for small waste generators, are presented. Finally, a method for indicating suitable areas for the installation of trans-shipment and waste sorting areas, developed for large generators, is presented. The results show that a geographic information system is an essential tool in the planning of municipal construction and demolition waste management, in order to facilitate the spatial analysis and control the generation, sorting, collection, transportation, and final destination of construction and demolition waste, increasing the rate of recovery and recycling of materials.

Keywords

Construction and demolition waste, spatial analysis, decision support system, management

Received 8th January 2018, accepted 27th March 2018 by Associate Editor Arne Ragossnig.

Introduction

The generation of municipal solid waste (MSW) in Brazil has increased significantly over the years, with a growth of 1.7% between 2014 and 2015. However, there is no consistent data on the generation of construction and demolition waste (CDW) in large urban centres (Paz and Lafayette, 2014), which makes it difficult to properly manage.

Most Brazilian cities lack an adequate collection and disposal network for materials generated by the construction industry. Mahayuddin et al. (2008) states that the lack of a waste collection network at construction sites contributes to the illegal dumping of waste in streets, rivers, and other open spaces.

The disposal of CDW in illegal areas brings a series of environmental impacts (Ikau et al., 2016), such as visual pollution, flooding caused by narrowing of river margins, water and soil pollution, incentive for the deposition of other types of waste, and an increase in disease vectors. In addition, until recently, the most common legal practice has been to dispose of CDW in landfills, sites designed to receive, preferentially, organic waste (Banias et al., 2011). The substantial volume of CDW buried in landfills accelerates the shortening of the landfill lifespan (Esin and Cosgun, 2007).

Almost all waste produced during construction has the possibility to be reused. While other industrial sectors have green production programmes to reduce waste generation, it is very

difficult to reduce the amount of materials needed for a building (Ajayi et al., 2017), without compromising its quality and durability.

In this sense, the recycling of construction waste in Brazil is still rudimentary, with few adequate techniques in use (Nunes et al., 2007; Passarini et al., 2014). Numerous problems arise from the lack of knowledge and effective planning for the management of CDW at the municipal level (Tessaro et al., 2012), which has led to ineffective management that may further discourage other municipalities (Fernandes and Filho, 2017).

In order for municipalities be able to properly manage CDW and increase the recycling rate of materials, a number of management measures are required, covering a wide range of aspects, such as separation of materials at the site of generation, handling and storage, transport, recycling, and final destination for waste

¹Department of Civil Engineering, Federal University of Pernambuco (UFPE), Brazil

²Department of Civil Engineering, University of Pernambuco (UPE), Brazil

Corresponding author:

Diogo Henrique Fernandes da Paz, Cidade Universitária – 1235, Recife – PE, Pernambuco 50670-901, Brazil.
Email: diogo.henriquepaz@gmail.com

APÊNDICE E - ARTIGO PUBLICADO NA REVISTA ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (QUALIS B2 – ENGENHARIAS I)



Artigos

Riscos de impactos ambientais proveniente da deposição irregular de Resíduos da Construção Civil em bacias hidrográficas da Região Metropolitana do Recife

Risks of environmental impacts arising from the irregular deposition of Civil Construction Waste in the Metropolitan Region of Recife watersheds

Diogo Paz¹; Kalinny Lafayette²; Maria do Carmo Sobral¹; Maria Júlia Holanda²; Tiana Ximenes¹✉

¹ Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife

² Poli/Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife

✉ diogo.henriquepaz@gmail.com, klafayette@poli.br, msobral@ufpe.br, mariajuliaholanda@gmail.com, tianafagundesximenes@gmail.com

Resumo

Palavras-chave:

Impactos Ambientais.
Resíduos de construção.
Recursos hídricos.

A deposição irregular dos Resíduos da Construção Civil (RCC) ocasiona uma série de impactos ambientais nos recursos hídricos como problemas à saúde, poluição das águas e do solo, e danos estéticos às cidades. Esta pesquisa tem como objetivo mapear os pontos de deposição irregular de RCC na Região Metropolitana do Recife (RMR) e avaliar os impactos ambientais que os mesmos ocasionam nas bacias hidrográficas. Para a identificação das áreas foram realizadas incursões a 7 municípios da RMR, onde foram mapeados os pontos de deposição, sendo posteriormente plotados no software Google Earth. Após a coleta dos dados, foram identificados 1252 pontos, os quais foram divididos em classes de risco para analisar quais áreas possuem um maior risco de ocasionar impactos ambientais. Verificou-se que a bacia Grupos Litorâneos 1 (GL1) apresenta mais áreas de alto impacto ambiental, e que a bacia do Capibaribe possui a maior quantidade de pontos de deposição irregular. Apenas dois pontos possuem impacto ambiental muito alto, um localizado no município do Cabo de Santo Agostinho, e outro no município de Olinda. Conclui-se que há uma grande necessidade de implantação de um plano integrado de gerenciamento dos RCC na RMR, como também de maior fiscalização por parte dos comitês de bacia.

Abstract

Keywords:

Construction waste.
Environmental impacts.
Water resources.

The irregular disposal of Construction Waste (CW) causes a series of environmental impacts on water resources, such as damage to health, pollution of water, soil and aesthetics to cities. The objective of this research is to map the irregular deposition sites of CW in the Metropolitan Region of Recife (MRR) and to evaluate the environmental impacts they cause on the watersheds. In order to identify the areas, the incursions were made to 7 municipalities studied, where the disposal points were identified, and plotted on Google Earth software. After data collection, 1252 points were identified, and were divided in risks classes to analyze which areas have a greater risk of causing environmental impacts. It was verified that the Grupos Litorâneos 1 (GL1) watershed presents more areas of high environmental impact, and the Capibaribe watershed has the highest amount of irregular disposal points. Only two points have a very high environmental impact, one located in the municipality of Cabo de Santo Agostinho, and another in the municipality of Olinda. It is concluded that there is a great need to implement an integrated management plan for CW in MRR, as well as greater monitoring by the basin committees.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i3.29149>

1. INTRODUÇÃO

Dentre os impactos ambientais ocasionados pela indústria da construção civil, estão os advindos da deposição inadequada dos resíduos de construção civil (RCC), que tem se tornado um grande problema enfrentado pelas cidades brasileiras (ESA *et al.*, 2016), podendo ocasionar problemas à saúde, poluição dos recursos hídricos e do solo, e danos estéticos às cidades.

No Brasil, a Resolução do CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002), que define os critérios, diretrizes e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, estabelece, em seu Art. 4º, § 1º, que "os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos sólidos urbanos, em áreas de "bota fora", em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei", cabendo ao gerador gerenciar de forma correta a cole-

APÊNDICE F - ARTIGO PUBLICADO NA REVISTA ENVIRONMENT, DEVELOPMENT AND SUSTAINABILITY (QUALIS B2 – ENGENHARIAS I)

Journal : SmallCondensed 10668	Article No : 289	Pages : 16	MS Code : ENVI-D-18-00319	Dispatch : 11-11-2018
--------------------------------	------------------	------------	---------------------------	-----------------------

Environment, Development and Sustainability
<https://doi.org/10.1007/s10668-018-0289-6>



1 Assessment of environmental impact risks arising 2 from the illegal dumping of construction waste in Brazil

3 Diogo Henrique Fernandes da Paz¹ · Kalinny Patrícia Vaz Lafayette² ·
 4 Maria Júlia de Oliveira Holanda² · Maria do Carmo Martins Sobral¹ ·
 5 Luiz Augusto Ramos de Castro Costa²

6 Received: 7 May 2018 / Accepted: 31 October 2018
 7 © Springer Nature B.V. 2018

8 Abstract

9 The objective of this research is to develop a methodology for assessing environmental
 10 risks arising from the construction and demolition waste (CDW), considering some envi-
 11 ronmental criteria to identify the most critical locations. A field survey was conducted in
 12 seven municipalities in Brazil, which involved obtaining the CDW illegal dumping sites,
 13 through direct observation and photographic registration in the municipalities studied, for
 14 assessing environmental risks arising from the CDW illegal dumping and to identify areas
 15 with the highest risk of impacts according to environmental criteria. Each site was classi-
 16 fied according to aspects such as distance between the irregular disposal points and water
 17 resources, plant cover, subnormal clusters, mean family income, parks and plazas, and
 18 health and education equipment. A total of 1252 irregular dumping sites were registered
 19 in the study area, distributed among the seven municipalities analyzed. In all municipali-
 20 ties surveyed, high-risk dumping sites were identified, although they do not represent most
 21 of the sites. Based on the application of this methodology in other municipalities, it will
 22 be possible to calibrate the score according to the social and environmental characteristics
 23 of each region, and it can be consolidated as a standard tool for assessing environmental
 24 impacts from the illegal CDW dumping.

25 **Keywords** Environmental impacts · Public health · Waste management · Civil construction

A1 ✉ Diogo Henrique Fernandes da Paz
 A2 diogo.henriquepaz@gmail.com

A3 Kalinny Patrícia Vaz Lafayette
 A4 klafayette@poli.br

A5 Maria Júlia de Oliveira Holanda
 A6 mjoh@poli.br

A7 Maria do Carmo Martins Sobral
 A8 msobral@ufpe.br

A9 Luiz Augusto Ramos de Castro Costa
 A10 luizaugustorccosta@gmail.com

A11 ¹ Federal University of Pernambuco (UFPE), Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária,
 A12 Recife, Brazil

A13 ² Pernambuco State University (UPE), Rua Benfica, 455, Madalena, Recife, Brazil

APÊNDICE G - ARTIGO PUBLICADO NO V ENCONTRO PERNAMBUCO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (EPERSOL) - 2016



MODELO PARA ENVIO DE TRABALHOS

EIXO TEMÁTICO (assinalar X em apenas um):

- () Políticas públicas e legislação ambiental
- () Gestão integrada de resíduos sólidos
- () Educação ambiental e boas práticas
- () Responsabilidade socioambiental
- () Tecnologias limpas e inovadoras
- (X) Poluição e degradação ambiental

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA MONITORAMENTO DA DEPOSIÇÃO IRREGULAR DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM RECIFE/PE

Autor 01 – PAZ, Diogo Henrique Fernandes da

Titulação - Doutorando
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
diogo.paz@cabot.ifpe.edu.br

Autor 02 – HOLANDA, Maria Júlia de Oliveira

Titulação – Doutoranda
Universidade Federal de Pernambuco
carolmagalhaesf16@gmail.com

Autor 03 – LAFAYETTE, Kalinny Patrícia Vaz

Titulação – Doutora
Escola Politécnica de Pernambuco (POLI/UPE)
klafayette@poli.br

Autor 04 – SOBRAL, Maria do Carmo Martins

Titulação – Doutora
Universidade Federal de Pernambuco
msobral@ufpe.br

APÊNDICE H - ARTIGO PUBLICADO NO V ENCONTRO PERNAMBUCO DE RESÍDUOS SÓLIDOS (EPERSOL) - 2016



MODELO PARA ENVIO DE TRABALHOS

EIXO TEMÁTICO (assinalar X em apenas um):

- () Políticas públicas e legislação ambiental
- (X) Gestão integrada de resíduos sólidos
- () Educação ambiental e boas práticas
- () Responsabilidade socioambiental
- () Tecnologias limpas e inovadoras
- () Poluição e degradação ambiental

DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL DE OBRAS DA CIDADE DO RECIFE/PE

Autor 01 – PAZ, Diogo Henrique Fernandes da

Doutorando
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
diogo.henriquepaz@gmail.com

Autor 02 – VIEIRA, Sidney Ribeiro

Mestrando
Escola Politécnica de Pernambuco (POLI/UPE)
Universidade de Pernambuco - UPE
crv_pec@poli.br

Autor 03 – LAFAYETTE, Kalinny Patrícia Vaz

Doutora
Escola Politécnica de Pernambuco (POLI/UPE)
Universidade de Pernambuco-UPE
klafayette@poli.br

Autor 04 – SOBRAL, Maria do Carmo Martins

Doutora
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
msobral@ufpe.br

APÊNDICE I - ARTIGO ACEITO PARA PUBLICAÇÃO NA THE JOURNAL OF SOLID WASTE TECHNOLOGY AND MANAGEMENT – PUBLICAÇÃO EM NOVEMBRO/2019.

**WASTE GENERATION INDICATORS IN BRAZILIAN
CONSTRUCTION SITES**

Diogo Henrique Fernandes da Paz¹, Kalinny Patrícia Vaz Lafayette², Maria do Carmo Sobral³

¹ Federal University of Pernambuco, e-mail: diogo.henriquepaz@gmail.com;

² Pernambuco State University, klafayette@poli.br;

³ Federal University of Pernambuco, e-mail: msobral@ufpe.br.

ABSTRACT

The objective of this study is to perform a diagnosis of the Construction Waste (CW) generation at sites in the city of Recife, Brazil, and obtain indicators that favour the establishment of strategies that reduce and reuse these wastes. It involved the collection of data through the establishment of partnerships with construction companies that build multifamily residential buildings in the region. To organize the information, a spreadsheet database was developed, containing the survey of the construction characteristics from each construction project, such as the phase, built area, total land area, demolition and excavation area, number of floors, execution time, among others. From this analysis, it was verified that the total CW generation increases as the built area increases. However, the generation rate has an inverse relationship, being higher for the projects with smaller built areas. It is therefore necessary to consider the size of the project in order to use the correct CW generation rate. The results obtained by the analysis of these 20 worksites indicate that new indicators of waste generation are required by construction phase and by size of the built area, in order to properly estimate how much CW was generated and the costs to manage it.

Keywords: *environmental management, construction waste, costs*

1. INTRODUCTION

The construction industry is recognized as an industry that contributes greatly to the economic and social development of a country, due in particular to the number of direct and indirect jobs generated and its influence on various other industries that produce materials, equipment, and services used in its productive process (Martins, 2012).

On the other hand, the industry is also one of the largest consumers of natural resources, using around 20% to 50% of the total resources consumed by society (Mesquita, 2012; Wu et al., 2014), causes changes in the local landscape, and generates a significant amount of waste up and down the construction chain (Yuan et al., 2013, Oliveira et al., 2014, Kern, 2015).

The construction site is characterized as being a dynamic environment, subject to constant modifications due to the service execution schedule and the different technologies