



INSTITUTO FEDERAL
Fluminense
Campus Macaé

MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

CONSTRUÇÃO DE INDICADORES AMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE ANÁLISE DA
GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UMA AVALIAÇÃO DO
CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SANTA ROSA – RIO DE JANEIRO

RAPHAEL MOTTA NASCIMENTO

MACAÉ-RJ

2018

RAPHAEL MOTTA NASCIMENTO

CONSTRUÇÃO DE INDICADORES AMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE ANÁLISE DA
GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UMA AVALIAÇÃO DO
CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SANTA ROSA – RIO DE JANEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Orientador: Dr. Luiz de Pinedo Quinto Jr.

Co-orientador: Dr. Hélio Gomes Filho

MACAÉ-RJ

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

N244c Nascimento, Raphael Motta, 1988-.
Construção de indicadores ambientais como instrumento de análise da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos: uma avaliação do Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa - Rio de Janeiro / Raphael Motta Nascimento. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2018.
xv, 77, 2 f.: il. color.

Orientador: Luiz de Pinedo Quinto Júnior, 1953-.
Coorientador: Hélio Gomes Filho.

Dissertação (Mestrado). - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Campos dos Goytacazes, RJ, 2018.
Inclui bibliografia.

1. Lixo - Eliminação - Rio de Janeiro (Estado). 2. Limpeza urbana - Rio de Janeiro (Estado). 3. Saneamento - Rio de Janeiro (Estado). 4. Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa (RJ). 5. Gestão integrada de resíduos sólidos - Rio de Janeiro (Estado). 6. Indicadores ambientais - Rio de Janeiro (Estado). I. Quinto Júnior, Luiz de Pinedo, 1953-, orient. II. Gomes Filho, Hélio, coorient. III. Título.

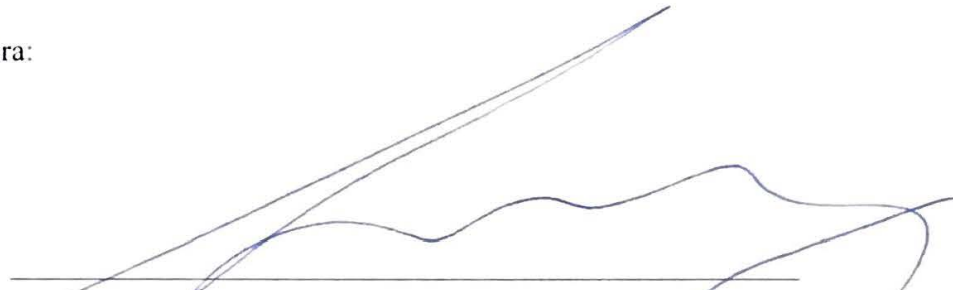
CDD 628.445098153

23.ed.

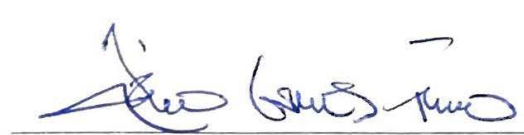
Dissertação intitulada **CONSTRUÇÃO DE INDICADORES AMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE ANÁLISE DA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UMA AVALIAÇÃO DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SANTA ROSA – RIO DE JANEIRO**, elaborada por **Raphael Motta Nascimento** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Aprovado em: 31/07/2018.

Banca Examinadora:



Luiz de Pinedo Quinto Jr., Doutor em Arquitetura e Urbanismo / Universidade de São Paulo (USP),
Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador



Hélio Gomes Filho, Doutor em Políticas Públicas / Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ),
Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Coorientador



Regina Coeli Martins Paes Aquino, Doutora em Engenharia e Ciência dos Materiais / Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha amada mãe Gilda Motta, grande matriarca da família. Seus ensinamentos, apoio, carinho e compreensão permearão por toda a minha vida e, sem eles, eu não teria condições de traçar este caminho. Obrigado por todo o zelo e educação que me deste. A você, com muito amor.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que proporcionou todos os caminhos desta jornada.

À minha família, por todo apoio e suporte que foram essenciais neste projeto.

Ao meu orientador Dr. Luiz de Pinedo Quinto Jr., por toda paciência, apoio e presteza para com o desenvolvimento do tema.

Ao meu co-orientador Dr. Hélio Gomes Filho, por toda ajuda, contribuição e apoio, promovendo sempre debates enriquecedores.

À minha companheira Thaynara Cristina, que foi vital nesta jornada, por todo apoio, incentivo e amor. Sem você, esta jornada teria sido muito mais dura e solitária.

À minha irmã Barbara Motta, por todo o apoio para que eu pudesse focar nos meus estudos com tranquilidade, pois sabia que poderia contar com ela para correr atrás da matéria da graduação que cursamos juntos.

Ao meu pai Romulo Martins Nascimento, grande patriarca da família, que me garantiu todos os meios e facilitou meus caminhos até aqui e daqui em diante. Sem você eu não seria a metade do homem que sou hoje. Obrigado pelo apoio, amor e incentivo!

À minha mãe Gilda Motta, meu porto seguro, por todo amor, paciência, carinho e zelo. É sempre por você!

Ao meu amigo eng. Jacques Satler, pelo incentivo desde o início e por todas as conversas enriquecedoras.

Ao meu amigo eng. Luiz Bernardo Baptista, pelo apoio e ajuda desde o início desta jornada.

A todos os amigos, colegas e pessoas que ajudaram de alguma forma, dispondo um pouco do seu tempo e atenção para me apoiar nesta jornada.

A todos vocês, agradeço de coração!

Se queremos que tudo permaneça como está, é
preciso que tudo mude.

Giuseppe Tomasi di Lampedusa

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico de municípios que dispõem seus resíduos em aterros sanitários - Fonte: (MMA, 2015).....	8
Figura 2 - Gráfico de municípios que declaram possuir planos de gestão integrada de resíduos sólidos - Fonte: (MMA, 2015)	10
Figura 3 - Gráfico de municípios que possuem coleta seletiva - Fonte: (MMA, 2015)	11
Figura 4 - Relação entre valor por habitante e população beneficiária de aterro sanitário (TCU, 2011).	19
Figura 5 - Foto aérea do Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa Fonte: Zofnass, 2016.....	42
Figura 6 - Mapa de localização dos municípios de Seropédica, Itaguaí e Rio de Janeiro Fonte: Wikipedia map. Acessado em 2015.....	42
Figura 7 - Área da implementação do projeto CTR Rio e rotas de acesso próximas. Fonte: Veredas Estudos e Execução de Projetos Ltda apud Zofnass, 2016.....	43
Figura 8 - Fluxo do lixo Fonte: Rio de Janeiro, 2014.	44
Figura 9 - Fluxo de Resíduos do município do Rio de Janeiro Fonte: Ciclus Ambiental, 2018.....	44
Figura 10 - Camadas de proteção do solo no CTR Rio Fonte: Ciclus Ambiental, 2018.	46
Figura 11 - Foto aérea da estação de tratamento de chorume no CTR Rio Fonte: Ciclus Ambiental, 2018.....	47
Figura 12 - Esquema de representação simplificado do CTR Rio para o uso de biogás. A linha amarela representa o que o projeto usa no presente Fonte: Zofnass, 2018.	48
Figura 13 - Catadores nos lixões a céu aberto de Gramacho e de Seropédica, ativos antes da implementação do CTR Rio Fontes: Inhabitat, 2015; Cootraser, 2011.	49
Figura 14 - Rio Piranema Fonte: CTR Rio, 2015.	51
Figura 15 - Leiras produzidas pelo programa FERTILURB na ETR Caju Fonte: Rio de Janeiro, 2015.....	66
Figura 16 - Gráfico representando o desempenho do CTR Rio na avaliação Envision Fonte: Criação própria adaptado de Zofnass, 2014.	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativa dos benefícios totais gerados pela reciclagem: Fonte: IPEA, 2010.....	22
Tabela 2 - Avaliação Envision na categoria qualidade de vida. Fonte: Criação própria adaptada de Zofnass, 2014.....	56
Tabela 3 - Avaliação Envision na categoria liderança. Fonte: Criação própria adaptada de Zofnass, 2014.....	57
Tabela 4 - Avaliação Envision na categoria alocação de recursos. Fonte: Criação própria adaptada de Zofnass, 2014.....	59
Tabela 5 - Avaliação Envision na categoria mundo natural. Fonte: Criação própria adaptada de Zofnass, 2014.....	60
Tabela 6 - Avaliação Envision na categoria clima e risco. Fonte: Criação própria adaptada de Zofnass, 2014.....	61
Tabela 7 - Desempenho de projetos brasileiros nas categorias alocação de recursos, e clima e risco em avaliações Envision. Fonte: Autoria própria.....	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios para avaliação das áreas para a implementação de aterro sanitário. Fonte: Criação própria, adaptado de CEMPRE, 1995.	14
Quadro 2 - Principais Vantagens e desvantagens dos aterros com biorreatores. Fonte: Autoria própria a partir de conceitos de Boscov, 2008.	17
Quadro 3 - Vantagens e desvantagens de uma central de triagem manual. Criação Própria, adaptado de Machado, 2013.	21
Quadro 4 - Vantagens e desvantagens de uma central de triagem automática. Criação própria, adaptado de MACHADO, 2013.	21
Quadro 5 - Vantagens e desvantagens de uma central de triagem semiautomática. Criação própria, adaptado de MACHADO, 2013.	22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABRECON – Associação Brasileira de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição.

ABRELPE – Associação Brasileira de das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

ACEC – *American Council of Engineering Companies.*

APWA – *American Public Works Association.*

AQUAGIR – Avaliação de Qualidade Ambiental da Gestão de Resíduos Sólidos.

ASCE – *American Society of Civil Engineers.*

BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento.

CEA – Centro de Educação Ambiental.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro.

CTR – Centro de Tratamento de Resíduos.

CTR Rio - Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa.

DBO – Demanda Biológica de Oxigênio.

DQO – Demanda Química de Oxigênio.

EIA – Estudo de Impacto Ambiental.

ETR – Estação de Transferência de Resíduos.

EVTEA – Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental.

FERTLURB – Projeto Piloto de Compostagem Orgânica da Prefeitura do Rio de Janeiro.

GEE – Gases de Efeito Estufa.

GIRSU – Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos.

GRSU – Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos.

GSD – *Graduate School of Design.*

Hid. STO ANTÔNIO – Hidrelétrica Santo Antônio.

IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IDB – *Interamerican Development Bank.*

IFFluminense – Instituto Federal Fluminense.

INFRA 360 – *Infrastructure 360° Award*.

IPEA – Fundação Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

ISI – *Institute for Sustainable Infrastructure*.

KG – Quilograma.

KM – Quilômetros.

LAT T-M-M – Linhas de Alta Tensão do Sistema Tucuruí-Macapá-Manaus.

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

MMA – Ministério do Meio Ambiente.

MS – *Microsoft*.

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora.

PEA – Plano de Educação Ambiental.

PEV – Ponto de Entrega Voluntária.

PGIRS – Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.

PIB – Produto Interno Bruto.

PIS – Plano de Inclusão Social.

PISCC – Plano de Inclusão Social para Comunidade de Catadores.

PMGIRS – Plano Municipal de Gestão de Resíduos Sólidos.

PMRS – Plano Municipal de Resíduos Sólidos.

PMSP – Prefeitura Municipal de São Paulo.

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos.

PROMEIA – Programa Municipal de Educação Ambiental.

RCC – Resíduo de Construção Civil.

RCD – Resíduos de Construção e Demolição.

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental.

RSS – Resíduos do Serviço de Saúde.

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos.

SP – São Paulo.

TCU – Tribunal Superior de Contas.

TEGRAM – Terminal Portuário de Grãos.

WB – *World Bank*.

CONSTRUÇÃO DE INDICADORES AMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE ANÁLISE DA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UMA AVALIAÇÃO DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SANTA ROSA – RIO DE JANEIRO

RESUMO

A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) contempla todas as etapas do ciclo de vida dos resíduos, desde a geração, coleta, até a disposição final ambientalmente adequada, abrangendo fatores tais como sociais, econômicos, técnicos e políticos, por isso o pensamento holístico é parte fundamental do processo de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos. O alto custo de construção e operação de um aterro sanitário pode se tornar inviável caso esta gestão não seja feita de forma correta, avaliando todas as alternativas disponíveis, de modo a prolongar a vida útil do aterro sanitário. Uma análise de indicadores sobre a qualidade ambiental da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (GIRSU) é fundamental para o entendimento de toda a complexidade que envolve esse tipo de sistema. Os cruzamentos de informações quantitativas e qualitativas relacionadas às características das tecnologias disponíveis para a GIRSU podem ser utilizados para avaliação ambiental, econômica e social. Desta forma, a análise de indicadores ambientais permite compreender e ajudar na tomada de decisão, para o melhor sistema de gestão. O Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa mantém o funcionamento do maior aterro sanitário da América do Sul, e recebe a disposição de aproximadamente 10 mil toneladas por dia. A qualidade ambiental de um projeto desse porte influencia diretamente na vida de milhões de pessoas beneficiadas pelo serviço de coleta de resíduos, bem como pode ser afetada caso a gestão integrada não seja realizada como se deve. De modo a avaliar a qualidade ambiental do projeto, foi aplicada uma Avaliação de Qualidade Ambiental da Gestão de Resíduos Sólidos e com o resultado obtido, foi feita uma comparação com uma avaliação Envision realizada em 2016 pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento em parceria com o Programa Zofnass e com o Instituto pela Infraestrutura Sustentável. O desenvolvimento do tema se deu através de métodos observacional e analógico; histórico; comparativo e de pesquisa bibliográfica.

Palavras-chave: Aterro Sanitário. Infraestruturas Sustentáveis. Envision.

**THE CONSTRUCTION OF ENVIRONMENTAL INDICATORS AS AN INSTRUMENT
FOR THE ANALYSIS OF INTEGRATED URBAN SOLID WASTE MANAGEMENT: AN
EVALUATION OF THE SANTA ROSA WASTE TREATMENT CENTER - RIO DE
JANEIRO**

ABSTRACT

Solid Waste Management (SWM) covers all stages of the life cycle of waste, from generation, collection, to environmentally appropriate discard, covering those values such as social, economic, technical and strategic. That is why the holistic process is a fundamental part of the integrated solid waste management process. The high cost of constructing and operating a landfill can become an invariable process in order to extend the life of the landfill. An analysis of data on the environmental quality of the Integrated Management of Urban Solid Waste (GIRSU) is fundamental for the understanding of a whole series of information that involves this type of system. Crosses of quantitative and qualitative information have access to the technologies available for a GIRSU can be used for environmental, economic and social assessment. In this way, a series of environmental analyzes allows to understand and to use the decision-making, for the best management system. The Santa Rosa Waste Treatment Center maintains the operation of the largest landfill in South America, and receives a final disposition of approximately 10 thousand tons per day. The environmental quality of a project of this size directly influences the lives of millions of people benefiting from the waste collection service, and can be affected if integrated management is not carried out, as it should. In order to evaluate the environmental quality of the project, an Environmental Quality Assessment of Solid Waste Management was applied and with the result, a comparison was made with an Envision evaluation carried out in 2016 by the Inter-American Development Bank in partnership with the Zofnass Program and with the Institute for Sustainable Infrastructure. The development of the theme was given through observational and analog methods; historic; comparative and bibliographic research.

Keywords: *Landfill. Sustainable Infrastructures. Envision.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
SUMÁRIO	xiv
APRESENTAÇÃO	1
ARTIGO CIENTÍFICO 1	3
1. INTRODUÇÃO	5
2. REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1. Aterros Sanitários	12
2.1.1. Seleção do local.....	13
2.1.2. Tipos de aterro quanto à forma como ocupam o terreno.....	15
2.1.3. Lixiviação e percolado.....	15
2.1.4. Aterro como biorreator e estimativa de geração de metano	16
2.1.5. Proximidade de centros urbanos.....	17
2.2. Consórcios Públicos para a Girsu	18
2.3. Importância da Educação Ambiental	19
2.4. Coleta Seletiva	20
2.4.1. Central de triagem	20
2.4.2. Pagamento por serviço ambiental urbano.....	22
2.5. Usina de Resíduos de Construção Civil	23
2.6. Compostagem	25
2.6.1. Retorno econômico.....	26
2.7. Logística Reversa	26
2.7.1. Importância da logística reversa e sua fiscalização	26
2.8. Tratamento Térmico E Incineração De Resíduos	27
2.9. Vida do Aterro Sanitário	28
2.10. Qualidade Ambiental na Girsu	28
3. MATERIAL E MÉTODO	29
3.1. Método	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5. CONCLUSÃO	33

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
ARTIGO CIENTÍFICO 2	38
RESUMO	38
ABSTRACT	39
1. INTRODUÇÃO	40
2. REVISÃO DA LITERATURA	42
2.1. O Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa	42
2.2. Tecnologias para o Tratamento dos Resíduos no CTR Rio	44
2.2.1. Camadas de proteção do solo	44
2.2.2. Geração e tratamento de chorume e biogás	46
2.2.3. Gerenciamento do ambiente social.....	48
2.2.4. Monitoramento da qualidade das águas.....	50
2.3. Metodologia de avaliação Envision	51
2.3.1. Categorias, subcategorias e níveis de realização	52
2.3.2. Critério de avaliação e pontuação de projeto.....	53
2.4. Avaliação Envision no CTR Rio	54
2.4.1. Categoria Qualidade de Vida.....	54
2.4.2. Categoria Liderança.....	56
2.4.3. Alocação de Recursos.....	57
2.4.4. Mundo Natural.....	59
2.4.5. Clima e Risco	60
2.5. Avaliação da Qualidade Ambiental da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos	62
3. MATERIAL E MÉTODO	67
3.1. Método	67
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5. CONCLUSÃO	73
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
APÊNDICES	1

APRESENTAÇÃO

A lei nº 12.305/10 (BRASIL, 2010) que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) tornou obrigatório que todos os municípios tomem ações voltadas para a gestão de resíduos sólidos, cumprindo metas propostas pelo Plano Nacional de Resíduos sólidos (BRASIL, 2012) tais como a extinção de lixões, vazadouros e aterros controlados em prol da disposição ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. Dentro desta política, a construção e operação dos aterros sanitários são um dos pontos estratégicos da PNRS.

A PNRS também incentiva a criação de consórcios intermunicipais para a gestão de resíduos sólidos em aterro sanitário e torna a implementação de um plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, requisito para ter acesso a recursos da União para o setor de resíduos sólidos.

Contudo, os custos com projeto, operação e pós operação de um aterro sanitário podem representar até 55% do PIB municipal médio, por isso, para que seja viável, faz-se necessário uma análise da relação custo benefício de modo a garantir a qualidade ambiental do sistema a um custo acessível ao município (BRANDÃO; SILVA, 2011).

Portanto, o presente trabalho visa elaborar indicadores de modo a aferir a qualidade ambiental de um sistema integrado de aterro sanitário, levando em conta ferramentas adjacentes como coleta seletiva, usina de reciclagem de Resíduos da Construção Civil, entre outras tecnologias que ajudem a aumentar a vida do aterro sanitário e, a partir destes, avaliar o sistema de gestão de resíduos sólidos do aterro Santa Rosa, localizado no município de Seropédica, que atualmente recebe resíduos sólidos das cidades de Itaguaí e do Rio de Janeiro.

A área de estudo foi definida devido à expressiva importância desse sistema como potencial referência para o estado do Rio de Janeiro, em paralelo ao grande desenvolvimento da região e ao fechamento dos lixões a céu aberto que existiam previamente. Desenvolvimentos esses, que interferem diretamente na geração de resíduos sólidos e, portanto, que demandam atenção especial na concepção do Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PGIRS).

Desta forma, no primeiro artigo foi elaborado um grupo de indicadores ambientais de modo a diagnosticar o grau de eficiência no tratamento dos resíduos sólidos. Com a utilização de medidas como reciclagem, logística reversa e coleta seletiva, a proporção entre resíduo e rejeito disposta no aterro sanitário tenderá a ser menor, fator que aumenta a vida útil do aterro e rebaixa os custos de operação do sistema municipal de resíduos sólidos urbanos.

No segundo, os indicadores elaborados serão aplicados ao sistema de gerenciamento integrado de resíduos sólidos do Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa, de modo a denotar seu grau de eficiência e a viabilidade econômica e ambiental das tecnologias acerca do sistema. Além disso, será feita uma comparação com a avaliação Envision realizada no ano de 2016. Quanto maior o número de resíduos reutilizados ou reciclados que deixam de ser dispostos em aterros sanitários, menor o volume disposto no mesmo e, por consequência, maior a proporção de rejeitos e o potencial de recuperação energética.

ARTIGO CIENTÍFICO 1

INDICADORES PARA A ANÁLISE DA QUALIDADE AMBIENTAL DA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA

INDICATORS FOR THE ENVIRONMENTAL QUALITY ANALYSIS OF INTEGRATED SOLID WASTE MANAGEMENT: A REVIEW OF LITERATURE

Raphael Motta Nascimento - IFFluminense/PPEA

Luiz de Pinedo Quinto Júnior - IFFluminense/PPEA

Hélio Gomes Filho - IFFluminense/PPEA

RESUMO

A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) contempla todas as etapas do ciclo de vida dos resíduos, desde a geração, coleta, até a disposição final ambientalmente adequada, abrangendo fatores que vão além dos ambientais, tais como sociais, econômicos, técnicos e políticos. O alto custo de construção e operação de um aterro sanitário pode se tornar inviável caso esta gestão não seja feita de forma correta, avaliando todas as alternativas disponíveis, de modo a prolongar a vida útil do aterro sanitário. Uma análise de indicadores sobre a qualidade ambiental da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (GIRSU) é fundamental para o entendimento de toda a complexidade que envolve esse tipo de sistema. Os cruzamentos de informações quantitativas relacionadas às características das tecnologias disponíveis para a GIRSU podem ser utilizados para avaliação ambiental, econômica e social. Desta forma, a análise de indicadores ambientais permite compreender e ajudar na tomada de decisão, para o melhor sistema de gestão. O desenvolvimento do tema se deu através de métodos observacional e analógico; histórico e de pesquisa bibliográfica.

Palavras chave: Resíduos Sólidos Urbanos. Gestão de Resíduos. Indicadores. Qualidade Ambiental. Aterro Sanitário.

ABSTRACT

Urban solid waste management covers all stages of the life cycle of waste, from generation, collection, to final disposal environmentally appropriate, covering factors that go beyond the environmental, such as social, economic, technical and political. The high cost of construction and operation of a landfill may become impractical if this management is not done correctly, evaluating all available alternatives, in order to extend the useful life of the landfill. An analysis of the indicators on the environmental quality of the Integrated Management of Urban Solid Waste (IMUSW) is fundamental to the understanding of all the complexity involved in this type of system. Crossings of quantitative information related to the characteristics of the technologies available for IMUSW can be used for environmental, economic and social assessment. In this way, the analysis of indicators allows understanding and help in decision-making, enabling the improvement in the management system. The development of the theme took place through observational and historical methods and bibliographic research.

Keywords: *Urban solid waste. Waste Management. Indicators. Environmental Quality. Landfill.*

1. INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) contempla todas as etapas do ciclo de vida dos resíduos, desde a geração, coleta, até a disposição final ambientalmente adequada, abrangendo fatores que vão além dos ambientais, tais como sociais, econômicos, técnicos e políticos. O alto custo de construção e operação de um aterro sanitário pode se tornar inviável caso esta gestão não seja feita de forma correta, avaliando todas as alternativas disponíveis, de modo a prolongar a vida útil do aterro sanitário.

Para essa discussão, considera-se fundamental que seja feita uma breve explanação dos conceitos de aterros sanitários, consórcios públicos, da legislação vigente, das principais tecnologias existentes e dos métodos e custos de execução deste tipo de projeto.

O planejamento ambiental consiste em um pensamento holístico nos aspectos sociais, econômicos e naturais, mas para melhor entendimento, fizemos uma análise sistêmica desse espaço, pois até então as metodologias de estudo conhecidas não foram capazes de englobar todas as inter-relações e suas variáveis (NUCCI, 2008).

Segundo Monteiro (1987, p. 48) "*(...) as pressões exercidas pela concentração da população e de atividades geradas pela urbanização e industrialização concorrem para acentuar as modificações do meio ambiente, com o comprometimento da qualidade de vida*".

A NBR 10.004 (ABNT, 2004a) define resíduos sólidos como resíduos no estado sólido e semissólido, que resultam de atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

As seguintes classes para os resíduos sólidos são definidas NBR 10.004 (ABNT, 2004a):

- Classe I – Perigosos: São os resíduos que, em função das suas características químicas, físicas e infectocontagiosas, podem apresentar riscos à saúde pública, provocando ou acentuando um aumento de mortalidade ou incidências de doenças e/ou riscos ao meio ambiente, quando manuseados ou destinados de maneira inadequada; ou ainda apresentar características patogênicas, de corrosividade, toxicidade, reatividade e inflamabilidade.
- Classe II – Não perigosos.
- Classe IIA – Não inertes: Podem ter características como biodegradabilidade, solubilidade em água ou combustibilidade. Não se enquadram nas classes I e IIB.

- Classe IIB – Inertes: Quando amostrados de uma forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspectos de cor, turbidez, dureza e sabor.

Para ser classificado, um resíduo sólido necessita ser amostrado de acordo com a NBR 10.007, “Amostragem dos resíduos sólidos” (ABNT, 2004b), e submetido a ensaios de dissolução e lixiviação segundo as normas NBR 10.006, “Procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos” (ABNT, 2004c) e NBR 10.005, “Procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos” (ABNT, 2004d) respectivamente. O resultado das concentrações de uma série de espécies químicas nos extratos e lixiviado são comparados aos limites máximos estipulados pela NBR 10.004. Valores que superam os limites no extrato dissolvido indicam que o resíduo é Classe IIA. Os valores que excederem os limites no extrato lixiviado indicam que o resíduo é Classe I. Classifica-se o resíduo como Classe IIB quando todos os valores se apresentam abaixo dos limites.

A história da ação antrópica sobre o meio ambiente sofreu uma aceleração geométrica desde a primeira revolução industrial no final do século XVIII e XIX. Ocorreu um grau intenso de poluição e produção de resíduos até 1970 quando a crise ambiental atinge um dos patamares mais avançados com o colapso ambiental das grandes cidades. O clube de Roma vai colocar a agenda ambiental como uma agenda estratégica que muda a forma da ação antrópica sobre o meio ambiente.

O acúmulo de resíduos é um elemento exclusivo das sociedades humanas. Sistemas naturais não antropogênicos, por exemplo, não geram resíduos: seres vivos absorvem o que não serve mais para os outros de maneira contínua. No caso humano, entretanto, produz-se diariamente uma vasta quantidade de resíduos, muitas vezes tóxicos, ocasionando a poluição das águas, do solo e do ar, o que propicia a proliferação de doenças e acentua a *causa mortis* (HESS, 2002).

No Brasil, constitucionalmente, o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos é de competência do poder público local. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2010), 61,2% das prestadoras dos serviços de manejo dos resíduos sólidos eram entidades vinculadas à administração direta do poder público; 34,5%, empresas privadas sob o regime de concessão pública; e 4,3%, entidades organizadas sob a forma de autarquias, empresas públicas, sociedades de economia mista e consórcios.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU), segundo a lei federal nº 12.305 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), englobam os resíduos domiciliares, ou seja, aqueles oriundos de limpeza urbana e atividades domésticas em residências urbanas.

Conforme definição da PNRS, os rejeitos são resíduos sólidos que, após esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação, não apresentam outra possibilidade de manejo que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

A destinação final e o tratamento de resíduos podem ser realizados por intermédio de vários métodos, como aterros sanitários, reciclagem orgânica, energética e industrial. De acordo com a definição de aterro sanitário contida no Atlas de Saneamento 2004 do IBGE:

“O aterro sanitário é uma técnica de disposição final dos resíduos sólidos no solo, que permite o controle da poluição e a proteção da saúde pública. O lixo é disposto em células compactadas com um trator e recobertas diariamente com terra, o fundo é impermeabilizado, são implantados sistema de coleta e tratamento do chorume, drenagem das águas superficiais, coleta e queima do biogás” (D’ ALMEIDA, VILHENA, 2000; IBGE, 2004, p. 59).

Segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992), Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é a técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza técnicas da engenharia para confinar os resíduos sólidos **à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível**, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário.

A disposição final ambientalmente adequada é considerada como a distribuição ordenada de rejeitos em aterros sanitários observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública, à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos, segundo a PNRS (BRASIL, 2010). Portanto, segundo (TCU, 2011) **a disposição final de resíduos em vazadouros a céu aberto, lixões ou aterros controlados é inadequada**, pois uma vez descarregado diretamente no solo, ainda que haja cobertura com terra, como no caso dos aterros controlados, mas sem passar por nenhum tipo de tratamento, gera efeitos nocivos à saúde pública e ao meio ambiente. Tais efeitos ocorrem porque a disposição final inadequada gera vetores que favorecem a proliferação de doenças endêmicas e epidêmicas, além de levar à poluição do solo, água, do ar e à degradação de ecossistemas (TCU, 2011).

A excessiva geração de RSU, combinada com a sua destinação inadequada, vêm contribuindo em larga escala para a depleção do meio ambiente, resultando na redução da capacidade de prestação dos serviços ecossistêmicos, essenciais à vida no Planeta (GODECKE; CHAVES; NAIME, 2012).

“No Brasil, a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) alcançou aproximadamente 61 milhões de toneladas/ano em 2010 – em torno de 1 kg por brasileiro ao dia – da qual cerca de 30 milhões foram descartados diretamente no meio ambiente ou tiveram destinação inadequada, pela disposição em aterros precários ou vazadouros a céu aberto (ABRELPE, 2010, p. 32)”.

Apesar de a PNRS ter sido instituída em 2010 por intermédio da lei nº 12.305, apenas 40% dos municípios brasileiros dispõem seus resíduos em aterros sanitários, conforme a figura abaixo elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente:

Figura 1 - Gráfico de municípios que dispõem seus resíduos em aterros sanitários - Fonte: (MMA, 2015)



O quinto capítulo do Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PLANARES (BRASIL, 2012) estipula metas a serem atingidas para o tratamento de resíduos sólidos. Além de não cumprida a meta de eliminar totalmente os lixões até 2014, a disposição final ambientalmente inadequada de RSU ainda

é a mais comum na maioria das cidades brasileiras, apontando uma alta resistência na mudança do quadro nacional.

O estudo de Brandão e Silva (2011) aponta que se todos os municípios brasileiros optassem por possuir aterros sanitários, o impacto dessa solução representaria o consumo médio de aproximadamente 55% do PIB municipal, o que classifica tal cenário como inviável, entretanto para validar os consórcios também devem ser considerados os custos de transporte desses resíduos, de sua fonte geradora até o aterro, sendo necessário o uso de estudos de logística e a possível implantação de transbordos para baratear tais custos.

Contudo, explica-se que para avaliar os melhores arranjos entre municípios, deve-se considerar a quantidade da população a ser atendida e o impacto dos custos sobre a soma dos PIBs municipais com o posterior rateio desses custos em relação ao montante de resíduos a serem dispostos e tratados em cada empreendimento (BRANDÃO; SILVA, 2011).

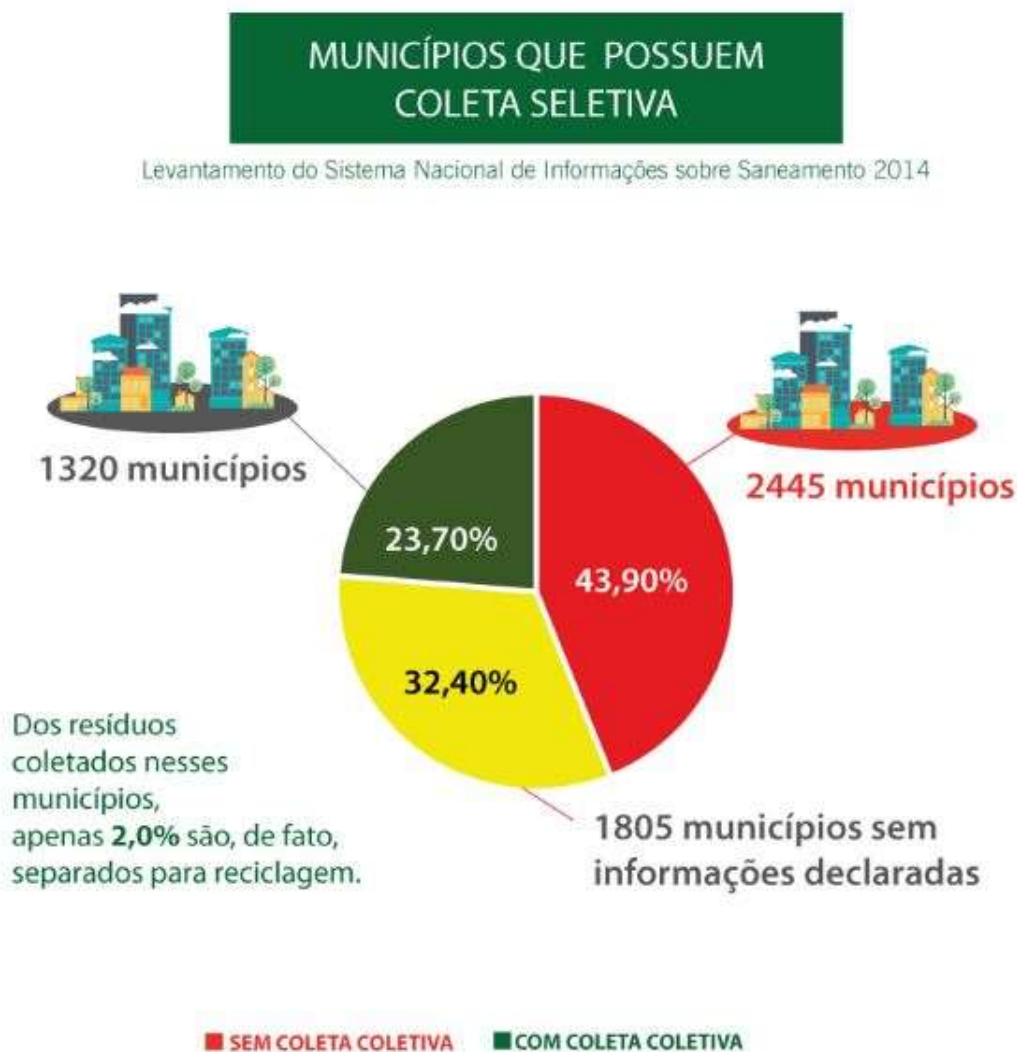
A fim de que seja viável a implementação de um sistema que garanta a disposição final ambientalmente adequada em todo o território brasileiro, o PNSR (BRASIL, 2010) incentiva a adoção de consórcios ou de outras formas de cooperação entre os entes federados, com vistas à elevação das escalas de aproveitamento e à redução dos custos envolvidos. Segundo o senso realizado em 2015 pelo o MMA, apenas 42% dos municípios declaram possuir planos de gestão integrada de resíduos sólidos, como mostra a figura 2, contudo grande parte desses municípios que se declaram consorciados ainda não praticam uma disposição final ambientalmente adequada:

Figura 2 - Gráfico de municípios que declaram possuir planos de gestão integrada de resíduos sólidos - Fonte: (MMA, 2015)



A maneira como funciona o sistema de coleta seletiva na região de abrangência é um fator determinante para garantir a sobrevivência de um aterro. Um levantamento do Ministério do Meio Ambiente (2015) aponta que apenas 23,7% dos municípios praticam coleta seletiva, como mostra o gráfico abaixo:

Figura 3 - Gráfico de municípios que possuem coleta seletiva - Fonte: (MMA, 2015)



Em busca de avaliar a gestão de resíduos sólidos urbanos (GRSU), pretende-se construir um método de avaliação de indicadores ambientais de aterros sanitários consorciados e não consorciados.

Segundo Brandão & Silva (2011), com a promulgação da PNRS e a proibição da disposição de resíduos sólidos em vazadouros, tornou-se imperativo analisar a viabilidade econômica de soluções ambientais para a correta disposição e tratamento de resíduos sólidos nas cidades brasileiras.

De forma geral, como destacado por Brandão e Silva (2011) a PNRS zela pela responsabilidade de todos os municípios brasileiros aderirem ao programa, além da necessidade de quantificação e caracterização dos RSU, das responsabilidades dos geradores pelo acondicionamento dos resíduos, dentre outros direitos e deveres.

Dentro dos instrumentos que compõem o Plano Municipal de Resíduos Sólidos, dois são importantes:

- A destinação final que significa a existência de um aterro sanitário ambientalmente correto;
- Que a sobrevida deste aterro seja a mais longa possível, neste sentido o principal elemento que garante esta sobrevida do aterro está na segregação do lixo seco e do lixo úmido que se transforma em compostagem.

O que acaba provocando o aumento do custo de implantação e operação de um aterro sanitário é o fato de sua vida útil ser reduzida. Uma análise da relação de custo e dos benefícios ambientais se faz necessária pois ajuda a indicar se a GRSU está sendo feita de maneira adequada, se os investimentos aplicados trarão os retornos socioambientais esperados, ajudando assim a prolongar a vida do aterro sanitário através melhorias e adequações nas práticas do sistema, com implementação, por exemplo, de coleta seletiva, previsão do crescimento populacional na área de abrangência do aterro, logística reversa, alternativas de disposição final, compostagem, recuperação energética, possibilidade de tratamento térmico, viabilidade de geração de gás de aterro sanitário, reciclagem e otimização de rejeitos para a disposição final ambientalmente adequada segundo a PNRS (BRASIL, 2010).

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Aterros Sanitários

Mesmo implementando as principais tecnologias disponíveis, sob a ótica das mais atuais políticas de gestão integrada para reduzir volume e tratar os resíduos, como a compostagem, incineração, coleta seletiva e logística reversa, pode-se dizer que a existência do aterro sanitário se faz presente, pois mesmo após todos os processos possíveis, rejeitos ainda serão gerados e necessitarão de um local para disposição final ambientalmente adequada.

A NBR 8.419 da ABNT (1992) define aterro sanitário como: “Um método de disposição final de resíduos sólidos no solo, que deve operar utilizando princípios da engenharia, de tal modo a confinar o lixo no menor volume possível, sem provocar prejuízos ou ameaças à saúde, à segurança e ao ambiente”. Portanto, segundo esta definição, para ser considerado um aterro sanitário, um local destinado à disposição de RSU deve possuir dispositivos de impermeabilização na base e cobertura; camadas intermediárias para cobertura do resíduo; drenagens de superfície, internas de gases e lixiviados e de águas superficiais. O local, deve também apresentar uma configuração geométrica e de acessos adequados, de acordo com os padrões aceitáveis de segurança. Sua correta operação possibilita

que a vida útil do local seja estendida devido à otimização da área disponível para a deposição dos resíduos (ZUQUETTE, 2015).

O aterro sanitário tem de ser pensado como parte do sistema de gestão integrada de RSU, se nós parametrizarmos o aterro sanitário com sistema de gestão, o principal objetivo é produzir a menor quantidade possível de rejeitos. O maior problema do sistema de gestão de RSU é a vida útil dos aterros, que por não serem devidamente controlados pelo plano visando a redução da disposição de rejeitos, torna-se um instrumento de manobra por parte das empresas concessionárias, que visam aumentar a produção de resíduos.

2.1.1. Seleção do local

A fim de minimizar os custos com logística e implementação, faz-se necessário uma avaliação criteriosa ao escolher o local onde o aterro sanitário será implementado. A região não deve estar muito longe do centro urbano, obedecendo, entretanto, um limite mínimo de distância, visto que a sua operação tende a desvalorizar os imóveis do entorno.

A movimentação de solo representa uma grande parcela dos custos do projeto, portanto um terreno localizado em fundo de vale pode ser considerado o local mais adequado para a sua implementação.

Para Boscov (2008), os principais objetivos da escolha de um local para a disposição de resíduos são: garantir a segurança estrutural e ambiental do depósito a longo prazo; impedir a contaminação do ar, águas superficiais e subterrâneas, subsolo, fauna e flora locais; minimizar custos de transporte de resíduos a partir de pontos de coleta, de desapropriação de terrenos e de desvalorização de propriedades no entorno; e minimizar outros tipos de impactos sociais e econômicos.

O enfoque anteriormente utilizado e tecnicamente incorreto do projeto de aterros de resíduos era “diluir e dispersar”, portanto considerava-se ideal a disposição de resíduos sobre regiões com subsolo de alta permeabilidade, onde se imaginava que o volume da água do aquífero teria a capacidade de diluir ou dispersar o chorume formado, contudo grande parte dos aterros sanitários assim dispostos custaram a poluição do aquífero localizado próximo ao aterro. Com a mudança deste paradigma da localização, a baixa permeabilidade do subsolo passou a ser a característica desejável (BOSCOV, 2008).

A Cetesb (1993) estabelece algumas restrições para a locação de um aterro sanitário: distância mínima de 200m de corpos d’água superficiais; distância mínima de 500m de residências,

condicionadas à direção dos ventos; condutividade hidráulica do solo de fundação inferior a 10^{-7} cm/s ; e lençol freático no mínimo a 1,5m da cota de fundo do aterro.

Os dados climáticos devem ser acompanhados, pois o balanço hídrico da região é fundamental para que seja feita a estimativa de produção de chorume do sistema.

Alguns critérios para a avaliação de possíveis áreas para a instalação de aterros sanitários dispostos na tabela 2.1 são recomendados pelo Manual de Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal, conforme evidencia o quadro 1(CEMPRE, 1995):

Quadro 1 - Critérios para avaliação das áreas para a implementação de aterro sanitário. | Fonte: Criação própria, adaptado de CEMPRE, 1995.

Dados Necessários	Classificação das áreas		
	Recomendada	Recomendada com restrição	Não recomendada
Vida útil	> 10 anos	(10 anos, a critério do órgão ambiental)	
Distância do centro atendido	> 10 km	10 - 20 km	> 20 km
Zoneamento Ambiental	Áreas sem restrições no zoneamento ambiental		Unidades de conservação ambiental correlatas
Zoneamento Urbano	Crescimento mínimo	Crescimento intermediário	Crescimento máximo
Densidade Populacional	Baixa	Média	Alta
Uso e Ocupação das terras	Áreas devolutas ou pouco utilizadas		Ocupação intensa
Valorização das Terras	Boa	Média	Alta
Aceitação da população e de entidades ambientais e não governamentais	Boa	Razoável	Alta
Distância dos cursos d'água	> 200 m	< 200 m, com aprovação do órgão ambiental responsável	

A vida útil de um aterro, como denota a tabela, deve ser projetada para durar pelo menos 10 anos. O valor é calculado a partir de uma estimativa da geração de resíduo per capita relacionada com uma estimativa do crescimento populacional do período. O resultado da conta denotará qual o espaço (em volume cúbico) necessário para a disposição do montante de resíduos gerados. Por isso, fatores como crescimento populacional (por migração, por exemplo) atípico, podem influenciar diretamente no comprometimento da vida útil do aterro sanitário. O prolongamento, entretanto, da vida do aterro pode ser consequente da utilização de instrumentos como coleta seletiva, programas de compostagem e reciclagem, entre outros.

O ideal é que a área de construção do aterro não apresente um alto índice de crescimento populacional, que seja de baixo valor comercial, distante de cursos d'água, e sem restrições de zoneamento ambiental.

2.1.2. Tipos de aterro quanto à forma como ocupam o terreno

De acordo com a maneira que ocupam o terreno, os aterros são separados em (ZUQUETTE, 2015):

- Aterros de superfície: Quando se inicia o aterro partindo da superfície do terreno, construindo diques iniciais de terra ou do próprio resíduo, que servirão de apoio para o resíduo que vai sendo lançado e compactado e dando conformação ao aterro que se inicia. Áreas vizinha que sirvam para empréstimo de solo se fazem necessárias para que sejam feitas as camadas de cobertura intermediária e final;
- Aterros em valas: Respeitando o limite do lençol freático ou por restrições construtivas, escava-se o terreno para que o resíduo seja lançado e recoberto com o próprio solo de escavação. As valas são utilizadas em locais com pouca geração de lixo, representando também alternativas utilizadas para a disposição de RSS (valas sépticas) e de resíduos perigosos (aterros de resíduos classe I). Ressalta-se que em cada caso há cuidados especiais de construção e de proteção ao ambiente e à saúde pública. Nota-se que num lugar onde se pretenda construir um aterro de superfície, caso as condições locais permitam, pode ser vantajoso conciliar o início com valas, que permitirão a oferta de solo, e, uma vez atingida a superfície original do aterro, continuar o seu alteamento.
- Aterros em depressão: Ocupam vales e depressões criadas por processos de exploração, como pedreiras, por exemplo. A construção continua com novas células dispostas lateralmente até o limite do aterro, ou procedendo-se a sua elevação, com a construção de novas células sobre as já completas. É necessário que seja verificada a estabilidade do maciço que vai se formando, além de promover a construção de dispositivos auxiliares, como os de drenagem de lixiviados e de gás.

2.1.3. Lixiviação e percolado

A biodegradação aeróbica dos RSU é um processo rápido e acaba quando o ar presente no material depositado se esgota, entretanto, o principal responsável pela geração de chorume e gases é a biodegradação anaeróbica, que pode durar muitos anos e é composta pelas fases ácida e metanogênica (BOSCOV, 2008).

O descolamento ou arraste, por meio líquido, de certas substâncias contidas nos resíduos sólidos urbanos é definido como lixiviação, segundo (ABNT, 1992), que também define percolado como líquido que passou através de um meio poroso.

Os parâmetros geralmente determinados pela caracterização do percolado e lixiviação são: alcalinidade, dureza, pH, fosfato, nitrogênio, sólidos totais dissolvidos, oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), cloretos, sulfatos, metais tóxicos, coliformes totais e coliformes fecais (BOSCOV, 2008).

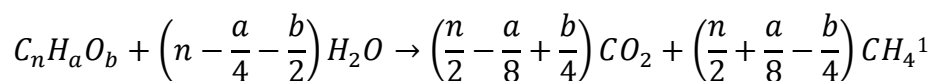
Esta caracterização é feita para a verificação da eficiência do sistema de tratamento e monitoramento adotados. Por apresentar características altamente contaminantes, o controle do percolado e lixiviação são indicadores importantes de contaminação do solo, aquífero e das águas superficiais (BOSCOV, 2008).

2.1.4. Aterro como biorreator e estimativa de geração de metano

Para a execução de um estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEA) que avalie um projeto de recuperação energética ou de comercialização dos créditos de carbono em um aterro sanitário, a estimativa de geração de gases se faz essencial.

A fermentação anaeróbica da matéria orgânica disposta nos aterros gera uma mistura de gases geralmente denominada biogás.

Existem modelos altamente complexos para a previsão do processo de biodecomposição na literatura, contudo pode-se calcular a produção de metano e gás carbônico geradas a partir de um composto orgânico, através da equação de Buswell e Mueller (1952):



Em contrapartida, um maciço sanitário reserva diversos tipos de materiais em decomposição. Além disso, Boscov (2008) afirma que diversos fatores como composição, umidade, idade, granulometria, a densidade dos resíduos e temperatura; pH, DQO e DBO dos líquidos; quantidade e qualidade dos nutrientes, influem na biodegradação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e, conseqüentemente, na sua geração de gases. Portanto, a transformação da matéria degradável em CH_4 e CO_2 depende das condições do maciço, além de envolver uma série de reações.

¹ Onde “C”, “H” e “O” significam respectivamente “Carbono”, “Hidrogênio” e “Oxigênio” conforme a Tabela Periódica e “n”, “a” e “b” correspondem às respectivas proporções dos elementos descritos na reação.

Segundo Boscov (2008), a estimativa e modelagem de geração de metano são muito complexas. Entretanto, observações em laboratório e campo sugerem que a geração de metano pode ser aproximada por um modelo cinético de primeira ordem. Adotando essa premissa, diversos modelos têm sido propostos.

Boscov (2008) lembra que nem todo o metano gerado em um aterro sanitário é emitido, pois parcelas podem ser biodegradadas, oxidadas, ou aprisionadas em massa de resíduos, mas devido à dificuldade de representar esses modelos de perda de gás, costuma-se aceitar como hipótese que todo o gás gerado será emitido por fraturas ou aberturas na superfície do aterro.

O potencial valor econômico do biogás vem se mostrando um incentivo cada vez mais presente e a operação de aterros sanitários como biorreatores é uma técnica que vem ganhando expressão. Mais do que para armazenamento, o aterro passa a ser um local para tratamento de resíduos, pois a decomposição microbiana é incentivada, a fim da geração de biogás para aproveitamento energético e de reduzir a massa e volumes totais (BOSCOV, 2008).

O quadro 2 a seguir denota as principais vantagens e desvantagens dos aterros com biorreatores:

Quadro 2 - Principais Vantagens e desvantagens dos aterros com biorreatores. | Fonte: Autoria própria a partir de conceitos de Boscov, 2008.

Vantagens	Desvantagens
Estabilização mais rápida da massa de resíduos, que se completa entre 5 e 10 anos, contra convencionais 30 a 100 anos	Eventual degradação da cobertura e dos sistemas de injeção de líquidos e de captação de biogás por causa dos recalques diferenciais
Aumento da produção de biogás	Pressões neutras elevadas
Aumento dos recalques finais e da velocidade de recalque	Acumulação de azoto no chorume
Redução de carga poluente no percolado	

2.1.5. Proximidade de centros urbanos

Os custos com a logística de coleta e disposição dos RSU são expressivos dentro de um sistema de GIRSU. No caso do município de Rio das Ostras, segundo a Secretaria de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca, por exemplo, estes custos com a coleta regular giram em torno de 15 centavos por tonelada e ainda, segundo uma pesquisa do IPEA feita em 2010, podem chegar a custar até três vezes

mais que a coleta regular, portanto a distância entre o centro urbano e o aterro sanitário não pode ser muito grande. Contudo, salvos os casos cujas infraestruturas trazidas através da construção do aterro sanitário, como pavimentação, que valorizam uma área extremamente desvalorizada, a presença de um aterro tende a criar inúmeros problemas, como: degradação da paisagem; produção de odores; riscos ambientais; e a desvalorização imobiliária do seu entorno.

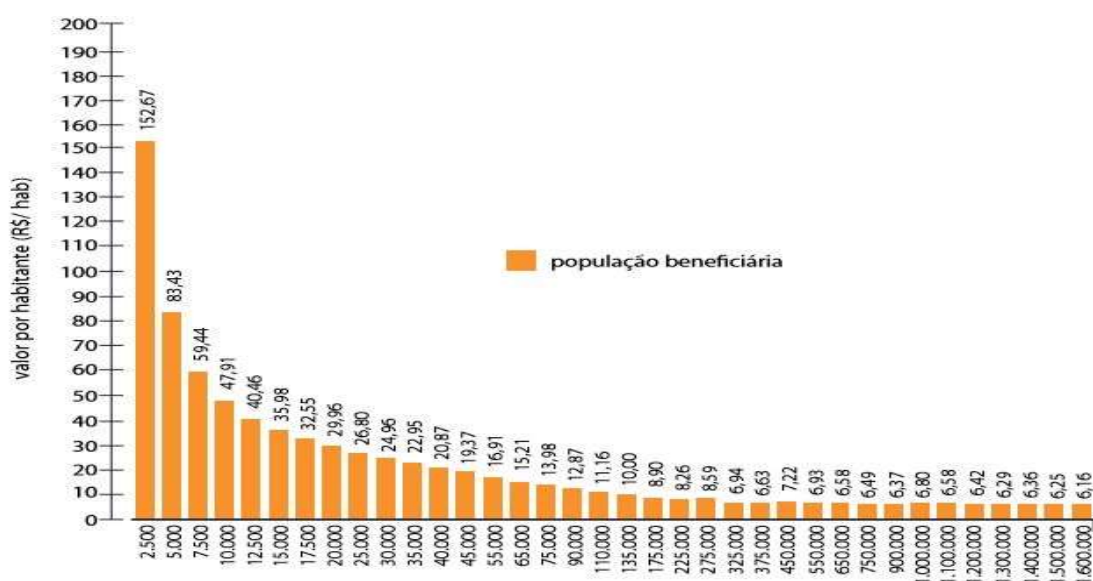
A PNRS (BRASIL, 2010) regulamenta que a previsão das possíveis áreas disponíveis para a construção de aterros sanitários devem estar descritas no Plano Municipal de Resíduos Sólidos (PMRS) e para fazer essa seleção, além dos estudos de relevo, topografia e geologia, uma análise socioeconômica do entorno dessas áreas também se faz importante. A viabilidade do projeto do aterro sanitário depende desta análise sistêmica, uma vez que este necessita estar de acordo com itens como: limite de distância dos centros urbanos; baixo valor do terreno a ser desapropriado; não estar em área de proteção permanente, próximo de área de proteção de mananciais; características geográficas e geotécnicas que preservem o subsolo e os recursos hídricos; condições socioeconômicas do entorno; proximidade de bacias hidrográficas e profundidade de aquíferos.

2.2. Consórcios Públicos para a Girsu

Em um país continental, formado por 26 estados federados, divididos em 5.570 municípios, além do distrito federal e com mais de 8.500.000 km², sendo o quinto maior país em território, e aproximadamente 207.700.000 de pessoas, como o Brasil, a densidade demográfica é inconstante e há muitos municípios de pequeno porte, com produto interno bruto proporcionalmente menor que outras grandes metrópoles industrializadas do país (BANCO MUNDIAL, 2016).

Uma pesquisa realizada pelo TCU conclui que o custo por habitante da implementação e operação de um aterro sanitário diminui em curva de ordem logarítmica à medida que a população beneficiada aumenta, alcançando a normalização do valor por habitante quando a população atendida chega a 325 mil habitantes, como evidencia a figura 4:

Figura 4 - Relação entre valor por habitante e população beneficiária de aterro sanitário (TCU, 2011).



Fonte: Apresentação de Cássio Versiani no Seminário Internacional de Gestão e Regulação de Serviços Públicos de Manejo de Resíduos Sólidos, a partir do Estudo Técnico para Avaliação dos Custos de Implantação Inicial e de Operação de Aterros Sanitários.

Devido a inúmeros fatores, como o fenômeno do êxodo rural, o Brasil possui aproximadamente 5.340 municípios com até 100 mil habitantes dentre os 5.570 municípios totais (IBGE, 2000). Este número representa que 95,8% dos municípios brasileiros são de pequeno porte. Por isso a solução consorciada para a gestão integrada de resíduos sólidos urbanos se faz tão importante. Brandão e Silva (2011) estimam que o custo de cada município possuir um aterro operando de forma isolada pode chegar a 55% do PIB municipal médio.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos incentiva a solução consorciada intermunicipal para a gestão integrada de resíduos sólidos, priorizando no acesso aos recursos da União destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, os municípios que optarem pela solução consorciada.

2.3. Importância da Educação Ambiental

A PNRS institui a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, abrangendo fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, **consumidores**, e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. Todas as partes envolvidas no ciclo de vida do produto, desde a sua fabricação até o pós-consumo, são responsáveis pelos resíduos gerados durante todo o processo. O consumidor é uma peça-chave para o funcionamento de programas de logística reversa, coleta seletiva, compostagem ou quaisquer outros, pois é responsável pelo manejo adequado

do resíduos pós-consumo, gerados, por exemplo, dentro do seu domicílio. Por isso, a educação ambiental é um instrumento eficiente de conscientização social.

A implementação de programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, reutilização, reciclagem, a compostagem e a logística reversa no município é exigida como conteúdo mínimo de um plano municipal de gerenciamento de resíduos pela Lei nº 12.305/2010.

Visto que a participação da população é essencial para o efetivo funcionamento da GRSU, a abrangência de programas e ações de educação ambiental pode ser vista como um indicador de qualidade ambiental do gerenciamento de resíduos sólidos, tornando esta exigência primordial.

2.4. Coleta Seletiva

Coleta seletiva é definida como a “coleta de resíduos sólidos previamente separados de acordo com a sua constituição e composição” (BRASIL, 2010). No Brasil, os programas de coleta seletiva integram a GRSU do município, podendo ser efetuada unicamente pela prefeitura (ou por empresas que terceirizam este serviço), ou por uma parceria entre a prefeitura e catadores organizados em cooperativas, associações e o terceiro setor (RIBEIRO, 2011).

Visto que a geração de RSU per capita no país vem aumentando, a coleta seletiva se faz de extrema importância, pois viabiliza processos como a reciclagem e a compostagem que, por consequência, ajudam a diminuir o volume de resíduo a ser disposto em aterros sanitários.

A reciclagem é o processo que transforma resíduos sólidos beneficiados em insumos ou novos produtos (BRASIL, 2010). Todos os dias, muitas toneladas de resíduos recicláveis acabam sendo dispostas em aterros sanitários (muitas vezes em vazadouros, aterros controlados e lixões) por falta de coleta seletiva, fator que gera um prejuízo ambiental, social e econômico, uma vez que a reciclagem movimentada a economia local, gera empregos, poupa recursos naturais e espaço nos aterros sanitários.

2.4.1. Central de triagem

Além de um sistema logístico específico para a coleta de recicláveis, para que seja viável, a coleta seletiva depende de um centro de triagem responsável pela segregação de recicláveis de acordo com suas respectivas características físico-químicas.

Uma central de triagem pode ser implementada nas formas de triagem manual, triagem automática e triagem semiautomática (MACHADO, 2013).

A usina de triagem manual é indicada para municípios de pequeno a médio portes cujos volumes de produção não justificam os custos de uma central automatizada. O quadro 3 descreve as vantagens e desvantagens deste tipo de sistema:

Quadro 3 - Vantagens e desvantagens de uma central de triagem manual. | Criação Própria, adaptado de Machado, 2013.

Vantagens	Desvantagens
Busca uso das associações de catadores	Capacidade de separação limitada
Geração de bastantes vagas de empregos	Exige capacitação dos colaboradores
Melhor distribuição de lucros	Depende de boa administração para se manter viável
Baixo investimento inicial	

A tecnologia agregada a uma central de triagem automática é indicada para municípios grandes cujos volumes de resíduos gerados impossibilitam a triagem manual e justificam os custos da tecnologia automatizada. As principais vantagens e desvantagens deste sistema de triagem estão dispostas a seguir no quadro 3:

Quadro 4 - Vantagens e desvantagens de uma central de triagem automática. | Criação própria, adaptado de MACHADO, 2013.

Vantagens	Desvantagens
Capacidade de separação estimada na planta do projeto	Diminui consideravelmente a quantidade de colaboradores necessários
Alta qualidade na separação de resíduos	Geração de riqueza mais concentrada
Processo mais confiável de segregação	Exige alto investimento inicial
Facilidade de venda devido a qualidade	

A central de triagem semiautomática combina a tecnologia das máquinas de separação com a força de trabalho humano, por isso é a melhor solução para cidades médias cuja geração de resíduos é alta demais para que o processo seja feito de maneira exclusivamente manual, mas não o suficiente para viabilizar os custos de automação de toda a planta da central. Para este tipo de planta de usina de triagem, o quadro 4 denota as principais vantagens e desvantagens:

Quadro 5 - Vantagens e desvantagens de uma central de triagem semiautomática. | Criação própria, adaptado de MACHADO, 2013.

Vantagens	Desvantagens
Impacto social positivo na sociedade	Exige maior controle entre funcionários e sistemas de automação
Permite integração entre associações de catadores e indústrias modernas	
Geração de renda mais distribuída	
Produção adaptável ao volume e demanda	Funcionários devem ser qualificados

2.4.2. Pagamento por serviço ambiental urbano

A PNRS incentiva a criação e o desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de recicláveis e um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2010) ratifica a viabilidade do pagamento por serviços ambientais urbanos. A implementação de medidas como estas é primordial para garantir a melhoria de condições de trabalho e trazer o reconhecimento que este profissional merece perante a sociedade.

Tabela 1 - Estimativa dos benefícios totais gerados pela reciclagem: | Fonte: IPEA, 2010.

Materiais	Sucata Reciclada (mil t)	Coletado seletivamente SNIS (mil t)	Benefício gerado pela reciclagem (R\$/t)	Benefício total atual máximo (R\$ mil)	Benefício total atual mínimo (R\$ mil)
Aço	4.400	4.400	88	387.200	387.200
Alumínio	324	161	2.941	952.884	473.501
Papel e papelão	3.643	615	241	887.963	148.215
Plástico	962	323	1.107	1.064.934	357.561
Vidro	470	78	18	8.460	1.404
Total	9.799	5.577		3.291.441	1.367.881

O desemprego estrutural é um fator determinante que pode justificar a chamada indústria da reciclagem, que emprega informalmente milhares de brasileiros, que muitas vezes trabalham sem condições normativas e expostos à insalubridade e periculosidade.

2.5. Usina de Resíduos de Construção Civil

Os resíduos da construção civil (RCC), comumente conhecidos como entulho, são provenientes de construções, reformas, reparos, demolições e obras de construção civil, e os resultantes de escavação e da preparação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, resinas, metais, tintas, madeiras, colas, forros, compensados, gesso, telhas, argamassa, pavimento asfáltico, plásticos, vidros, fiação elétrica, tubulações etc. (CONAMA, 2002).

Esta pluralidade de componentes na composição dos RCC misturados indevidamente, aliada ao descarte clandestino, constituem um sério problema ambiental, entretanto a sua disposição final ambientalmente adequada vem, paulatinamente, crescendo. Uma vez que os resíduos classe A² não podem ser depositados em aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, deve-se prever uma disposição adequada em aterros de inertes, de modo a preservar a possibilidade de sua exploração futura, como material em forma bruta ou reciclado (ZUQUETTE, 2015). O desenvolvimento de britadeiras e mini usinas de reciclagem de RCC estão se tornando economicamente viáveis em função do barateamento do custo das máquinas operatrizes, o que disponibiliza que a empresa faça o seu próprio tratamento no entorno das obras. O reconhecimento do material reciclado, que traz à obra uma economia de 30% em relação aos materiais convencionais e permite um excelente ganho ambiental, precisa ser difundido, pois não mais do que 15% desses resíduos é reciclado, enquanto o potencial de reciclagem pode chegar a 80% em uma obra (JAGGI, 2011).

² Os resíduos de construção civil recebem classificação específica segundo a Resolução CONAMA 307 Art. 3º: Os resíduos da construção civil deverão ser classificados, para efeito desta resolução, da seguinte forma:

I – Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

II – Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;

III – Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

IV – Classe D – são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

De acordo com a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), associação que reúne 31 empresas dedicadas à atividade de reciclagem no setor, há no Brasil 310 unidades recicladoras em implementação mapeadas no país (ABRECON, 2017).

Como consta na PNRS, a destinação ambientalmente adequada dos resíduos de construção civil (RCC) ou resíduos de construção e demolição (RCD), são de responsabilidade do gerador, que deve acompanhar e arcar com os custos de todas as etapas até a sua disposição final. Apesar de a responsabilidade pelo RCC não ser do órgão público, uma grande parcela deste tipo de resíduo acaba sendo abandonada ilegalmente em terrenos baldios e tendo que ser recolhido pelas prefeituras.

A maneira ideal de manuseio dos RCC envolve as seguintes etapas: separação e acondicionamento de acordo com cada uma das classes; transporte até a destinação final, que deve ser processado de acordo com cada classe específica. Na ausência dessas duas etapas, pode-se ter a mistura de classes, como as de A e B, excluindo-se o gesso, contudo isso aumenta a quantidade de tarefas a serem realizadas nas usinas de reciclagem, pois será necessário separar os diversos componentes, encaminhando os demais materiais, como metais, plásticos, madeiras e vidros a outros locais de reciclagem. As usinas de reciclagem de RCC dispõem, nas suas instalações, espaço para estocagem, triagem e o posterior beneficiamento, que consiste em triturar o material e classificá-lo de acordo com a sua granulometria. Os principais equipamentos utilizados nessas instalações são tratores de caçamba para a movimentação do material, alimentadores, transportadores de correia, britadores e conjunto de peneiras para a classificação granulométrica dos agregados produzidos. No caso de usinas mais aparelhadas, pode ser encontrado separadores magnéticos ou separadores com base na densidade do resíduo, e também dispositivos para a lavagem dos resíduos reciclados (ZUQUETTE, 2015).

De acordo com Zuquette e col. (2015), a reciclagem dos RCC produz materiais granulares de diversas dimensões, como rachão, bica corrida, britas, pedriscos e areias³, que normalmente são utilizados na composição de argamassas e concretos não estruturais, blocos de vedação, pisos intertravados e outros artefatos de concreto, além de poderem compor camadas de pavimentos e servirem de revestimento primário em estradas de terra. As NBR 15.115 e 15.116 (ABNT, 2004e; 2004f) normatizam o uso do material proveniente da reciclagem dos RCC em camadas de pavimentos, e em diversos locais, o seu uso para essa finalidade é obrigatório, como em São Paulo (PMSP, Decreto 4875, 2006).

³ Entende-se por “rachão”, “bica corrida”, “britas”, “pedriscos” e “areias”, agregados artificiais oriundos da britagem de rochas, nas suas mais variadas granulometrias finais.

2.6. Compostagem

A PNRS sugere como uma das técnicas de tratamento de resíduos ambientalmente adequada, a compostagem, que se trata de um processo biológico de composição aeróbica de matéria orgânica contida em resíduos de origem animal ou vegetal formando um composto fertilizante natural sem ocasionar riscos ao meio ambiente. A compostagem propicia um destino útil para os resíduos orgânicos, que podem servir para adubar o solo de hortas e jardins, para preparo de substrato para plantas, devolvendo os nutrientes que a terra necessita e evitando o uso de fertilizantes sintéticos (BRASIL, 2015).

O RSU proveniente da coleta regular, apresenta componentes inertes, como vidros e plásticos, que conseqüentemente entram em contato com materiais que contêm metais pesados, como baterias, lâmpadas, cerâmicas, couro, tintas, além de poder ficar também em contato com agentes patogênicos e acabam sendo contaminados. Se o processo de compostagem ocorrer dentro de uma faixa de temperatura entre 40 °C a 60 °C, os organismos patogênicos podem ser eliminados, contudo os metais pesados continuam presentes, além dos outros componentes não degradáveis, pois os centros de triagem nem sempre conseguem separar de forma eficiente os componentes indesejáveis. Após a triagem, o composto passa por processo de trituração e, eventualmente, por aeração mecanizada, para depois ser depositado nas leiras. Assim, vários desses últimos componentes podem vir a passar despercebidos, gerando um composto de qualidade duvidosa. Este fato remete a uma desejável possibilidade de intervenção da sociedade no início da cadeia do RSU, que pode facilmente produzir um composto de qualidade no ambiente residencial e onde haja espaço disponível para a construção de leiras de compostagem, o que, evidentemente, contribuirá para reduzir a quantidade de RSU a ser coletado, tratado e disposto de forma ambientalmente adequada (ZUQUETTE, 2015).

Para serem considerados como condicionadores de solo, os compostos orgânicos produzidos devem apresentar alta qualidade. Quanto maior a variedade de materiais orgânicos em uma compostagem, maior será a variedade de microrganismos atuantes no solo. Três fases principais compõem o processo de compostagem industrial de modo a garantir que as características do composto orgânico estejam dentro dos parâmetros desejados (BRASIL, 2015):

- Caracterização da matéria-prima e da matéria base e o estudo de processos de produção;
- Análise dos compostos: Física (densidade real e aparente, granulometria, conteúdo total de contaminantes) e química (micro e macronutrientes e metais pesados), e;
- Análises estatísticas para controle de qualidade e produção de formulações.

Além de ser um fator limitante para a eficiência do processo de compostagem, um ambiente aeróbico proporciona uma decomposição mais rápida, sem cheiro tóxico, sem proliferação de insetos

e sem a emissão de metano (CH_4), que é aproximadamente vinte e três vezes mais estufa à camada de ozônio (O_3) que o gás carbônico (CO_2) (BARREIRA, 2005).

2.6.1. Retorno econômico

A compostagem se apresenta como uma solução que vai além dos benefícios socioambientais, pois o beneficiamento destes resíduos resulta na diminuição de gastos públicos com fertilizantes sintéticos e retardam a necessidade de obras de ampliação de aterros sanitários⁴.

2.7. Logística Reversa

A logística reversa é um dos instrumentos para a aplicação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos determinada pela PNRS que consiste no retorno de embalagens e outros materiais à produção industrial, após consumo e descarte pela população. Os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes são obrigados a implementar sistemas de logística reversa de forma independente do serviço público dos seguintes itens (BRASIL, 2010):

- I. Resíduos perigosos, agrotóxicos e suas embalagens;
- II. Pilhas e baterias;
- III. Pneus;
- IV. Óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;
- V. Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;
- VI. Produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

2.7.1. Importância da logística reversa e sua fiscalização

A medida compulsória da implementação de sistemas de logística reversa se faz de extrema importância, pois resíduos tóxicos, como lâmpadas fluorescentes que contém mercúrio no seu interior, representam grande risco à sociedade, ao ambiente e principalmente aos profissionais que manejam o RSU.

Este instrumento também colabora com a maximização da vida útil do aterro sanitário, pois uma vez que estes resíduos deixam de ser dispostos no aterro, conseqüentemente menos volume, neste, será recebido.

Trata-se de um instrumento que vai além da responsabilidade socioambiental, pois os resíduos destinados à logística reversa muitas vezes são de alto valor agregado, como o caso dos produtos

⁴ O retorno econômico incentiva o mercado da compostagem, que conta com empresas em crescimento, como VideVerde, Tera Ambiental, Ciclo Orgânico Ambiental, entre outras, que produzem compostos orgânicos a partir de resíduos.

eletrônicos e seus componentes, que geralmente apresentam elementos nobres como ouro e prata, que podem ser reaproveitados por intermédio de processos industriais de beneficiamento e recuperação de resíduos.

2.8. Tratamento Térmico E Incineração De Resíduos

A incineração é uma forma de tratamento cujos resíduos são queimados em altas temperaturas (da ordem de 900 °C) em instalações projetadas para esta finalidade. Esta queima resulta na eliminação de organismos patogênicos, a redução significativa do peso (e volume) e a redução de substâncias perigosas, restando como subprodutos cinzas, escórias e gases, para os quais se exige estrito controle devido a possibilidade de geração de novos resíduos perigosos e pelas implicações de emissões gasosas com alto potencial de poluição. As cidades como SP que utilizaram por muito tempo incineradores apresentam grandes passivos devido à alta toxicidade do material depositado nas áreas próximas aos antigos incineradores. O calor resultante pode ser aproveitado para geração de energia elétrica, sendo essa uma das vantagens do processo. As cinzas e escórias, quando não poluentes, podem encontrar aplicação em obras como pavimentos. Os gases passam por sistemas de arrefecimento e depuradores que têm a função de remover os componentes perigosos e são utilizados para reduzir as possíveis dioxinas que se formam nas chaminés de exaustão das usinas (ZUQUETTE, 2015).

Apresentada como uma solução alternativa à disposição de resíduos sólidos em aterro sanitário, sistemas de incineração são muito comuns na Europa e em muitos países desenvolvidos. A utilização deste, contudo, não é um indicador de desenvolvimento ambiental, pois além de custoso, emite grandes quantidades de gases de efeito estufa (GEE's).

Mesmo sistemas de incineração com recuperação energética podem ser considerados menos eficientes, pois os altos índices de emissão de GEE's representam uma contrapartida de saldo pequeno em relação à recuperação energética. Sobretudo, o alto custo de disposição e tratamento de resíduos sólidos por incineração reflete no aumento da “pegada ecológica” regional devido, entre outros fatores, ao seu elevado custo de implementação e operação (REES, 2006).

A segregação de recicláveis de alto poder calorífico como papel, papelão e polímeros contribuirá para a redução da quantidade de energia que pode ser recuperada no processo de incineração (POLETTI; SILVA, 2007). Portanto uma vez que a GRSU é executada de maneira eficaz, a predominância de rejeitos úmidos na disposição final pode comprometer ainda mais a viabilidade do sistema de incineração com recuperação energética.

No Brasil, o uso do processo de incineração de RSU geralmente é combinado à disposição em aterros sanitários, com o intuito de aumentar a vida útil do aterro e recuperar energia, compondo uma gestão que pode ser ajustada aos níveis ideais da respectiva relação custo/benefício do sistema.

2.9. Vida do Aterro Sanitário

A construção de aterro sanitário no Brasil como solução técnica ocorre em função da grande disponibilidade para área de construção dos mesmos. No caso da Europa, que adota o caso de sistema de incineração, esta solução é usada porque não existem áreas para a construção de aterros sanitários. O sistema de incineração é muito mais tóxico. A principal questão para a sobrevivência e prolongamento dos aterros sanitários está na relação inversamente proporcional dos sistemas de reciclagem e de coleta seletiva.

O modelo ideal para garantir a longevidade de um aterro sanitário é baseado na disposição majoritária de rejeitos – resíduos não recicláveis e não “compostáveis” cujo único método de tratamento é a disposição ambientalmente adequada. Uma vez que as classes de resíduos passíveis de tratamento são reaproveitadas e deixam de ser encaminhados ao aterro sanitário, este ganha em vida operacional.

A construção de aterros sanitários é avaliada como economicamente inviável em muitos municípios brasileiros e, mesmo os que participam de consórcios intermunicipais, como incentiva a PNRS, administram custos elevados com a logística dos seus RSU. À medida que resíduos de origem vegetal e animal são destinados à compostagem, bem como resíduos recicláveis, à reciclagem, etc., a vida útil do aterro sanitário é prolongada e, por consequência, outras vantagens como a facilitação no tratamento e controle de percolado e lixiviação também resultam na economia do gerenciamento.

2.10. Qualidade Ambiental na Girsu

O acúmulo de resíduos implica em vários problemas a serem administrados, como riscos de contaminação em solo, água e ar, vetores patogênicos, saúde pública e até desconforto devido ao mau cheiro emitido. Apesar dessas evidências, para se chegar aos indicadores de qualidade ambiental, por mais que se procure utilizar métodos científicos, as decisões serão, muitas vezes, baseadas em julgamentos subjetivos, envolvendo valores, sensibilidade, convicções e preconceitos, bem como, naturalmente, verdades científicas (TOMMASI, 1994).

A fim de diminuir a subjetividade da avaliação da qualidade ambiental, procura-se uma valoração abrangente, utilizando-se de um método intersubjetivo, por meio do qual obtenha-se uma expressão estatística das opiniões subjetivas de uma amostra de especialistas (GOMES OREA, 1978). Neste trabalho, contudo, não houve consulta direta aos especialistas, como por exemplo por intermédio de entrevistas ou questionários, mas uma eleição de indicadores ambientais a partir de revisão da literatura acerca da problemática.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Método

Este trabalho foi desenvolvido através de pesquisa bibliográfica e análise sistêmica entorno das tecnologias disponíveis como ferramentas da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos.

A análise sistêmica fez-se levando em consideração as tecnologias disponíveis e suas estimativas proporcionais em relação à respectiva influência na efetividade da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos de cada uma. A análise sistêmica resultou na criação de quatorze indicadores representados por seus respectivos pesos. A proposta para avaliação da GIRSU se dá através do preenchimento da porcentagem de atendimento de cada indicador correspondente e da média ponderada deste preenchimento, trazendo um resultado de indicadores quali-quantitativos que denotam o grau de efetividade da gestão avaliada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A disposição final ambientalmente adequada de RSU nos municípios brasileiros é feita majoritariamente em aterros sanitários, pois além de ser uma alternativa eficaz em relação às tecnologias de incineradores, o país dispõe do espaço necessário para a implementação de aterros sanitários, fator que torna o custo da gestão de resíduos sólidos menor. A escolha de um sítio com condições geomorfológicas próximas às ideais, portanto, é um elemento fundamental para a minimização do custo ambiental da gestão desde a implementação, operação, até a pós operação e controle do sistema.

Soluções consorciadas para a gestão de resíduos sólidos podem viabilizar a destinação ambientalmente adequada de localidades afastadas e com baixa densidade demográfica, pois tendem a diminuir o custo da GIRSU *per capita* em curva logarítmica em regiões com até 325.000 habitantes. A partir deste número, o custo da gestão de resíduos por habitante estabiliza, portanto, o ideal é que seja considerada a possibilidade de soluções consorciadas em regiões próximas, as quais ao menos uma delas possua menos de 325 mil habitantes, e que a distância até o aterro consorciado respeite os limites correspondentes ao custo extra com a logística dos resíduos, pois este fator não pode extrapolar o custo que será economizado no caso da contemplação deste consórcio público.

A viabilidade econômica da implementação de biorreatores no aterro sanitário depende de estudo prévio, pois para justificar o alto custo de implementação, o volume de carga orgânica disposta no aterro precisa ser grande. Em contrapartida, a compostagem nos âmbitos domiciliar, empresarial e

público são a solução ideal a ser dada à carga orgânica na gestão de resíduos sólidos urbanos, que acima de tudo deve prezar pela não geração, redução, reutilização e reciclagem, quando for o caso.

O tratamento térmico e a incineração de resíduos acarretam em um alto custo de implementação e operação, ideal para localidades que apresentam escassez de sítios adequados ou altos preços no setor imobiliário. Além do alto custo, esta tecnologia é responsável pelo aumento da geração de GEEs (ao incinerar os resíduos) e o sistema de aproveitamento energético, que pode ser agregado ao incinerador, perde eficiência caso a coleta seletiva e a triagem de materiais recicláveis sejam executadas de maneira efetiva, pois a proporção de carga úmida (com baixo poder calorífico) será maior entre os rejeitos restantes.

A implementação de um incinerador com capacidade correspondente à demanda de resíduos de serviço de saúde, resíduos sólidos industriais e resíduos perigosos em geral, entretanto, pode apresentar-se como uma solução efetiva em municípios os quais a iniciativa privada não domina o setor, pois o município também gera este tipo de resíduo paralelamente aos RSU, além de que pode ser apresentado como um fator de incentivo à disposição ambientalmente adequada destas classes de resíduos gerados pelo setor privado, que poderá pagar o preço de mercado pelo tratamento desses resíduos, mas sem a oneração logística que gastaria levando estes à cidade vizinha que possui este tipo de tratamento.

A disposição final ambientalmente adequada dos resíduos de demolição e construção civil é de responsabilidade do gerador, mas a realidade dos municípios brasileiros se mostra diferente, uma vez que a fiscalização insuficiente acaba permitindo muitos focos diversos de RCC em lugares indevidos, como terrenos baldios. O beneficiamento desses resíduos pode, além de sanar o problema do descarte irregular, servir de matéria-prima barata para a pavimentação, entre outros usos, portanto a implementação de uma usina de RCC, apesar de não ser fundamental para a boa gestão integrada de resíduos sólidos urbanos, é uma solução ambientalmente inteligente para um problema recorrente que está presente em todos os municípios do país.

A ideia de eficiência para um sistema de GIRSU baseia-se em reduzir ao máximo a proporção de resíduos dispostos em aterro sanitário ou incinerador. Para isso, o conceito dos 3 R's (de não geração, redução, reciclagem e reuso) é a cerne da filosofia que deve ser seguida pela gestão otimizada de RSU. Exógeno ao aterro sanitário, a coleta seletiva é um elemento fundamental, assim como a implementação de central de triagem adequada à realidade municipal e programas de parceria ou incentivo a associações ou outros tipos de organizações de catadores de recicláveis, pois estas três estruturas permitem a que a reciclagem alcance proporções satisfatórias. Como resultado, além de dar um destino melhor do que a disposição em aterros ou incineradores, há geração de emprego e renda e melhoria de questões sociais no município.

Além da necessidade de uma alternativa ao aterro para os resíduos secos (recicláveis), os resíduos orgânicos (úmidos) também precisam de atenção. Uma vez que os resíduos orgânicos são dispostos para a coleta, acaba-se misturando-os com substâncias de risco químico ou biológico (muitas vezes dispostas indevidamente), portanto é difícil assegurar a qualidade de um composto integrado por resíduos orgânicos beneficiados. A melhor solução é o incentivo à compostagem domiciliar a partir da educação ambiental combinado com a disposição e coleta seletiva de resíduos, que possibilitam alcançar um alto grau de qualidade de composto orgânico do processo de compostagem realizado após a coleta, pois deste jeito os resíduos orgânicos são reaproveitados em forma de composto e adubo orgânico e não chegam até os aterros sanitários. Além do incentivo à compostagem domiciliar, a matéria orgânica resultante da poda de árvores e jardinagem dos espaços públicos pode ser usada para compostagem sem que haja risco de contaminação, gerando um composto de qualidade controlada que pode acarretar na economia de adubos químicos e fertilizantes.

A logística reversa é uma peça importante, pois abrange majoritariamente resíduos perigosos e contaminantes, que necessitam de cuidados especiais e não devem ser dispostos junto dos resíduos sólidos urbanos comuns. O seu incentivo e fiscalização se fazem necessários, pois além das questões ambientais em pauta, o manejo, a disposição e reciclagem destes resíduos pode significar um nicho de mercado paralelo ao da reciclagem, resultando em aquecimento da economia, distribuição de renda e novos postos de trabalho.

A educação ambiental não é a solução ideal apenas para a compostagem. A participação da sociedade como agente gerador e de manejo de resíduos é essencial. O princípio instituído pela PNRS de responsabilidade compartilhada do ciclo de vida dos produtos remete ao consumidor final (cidadão comum) a necessidade de uma participação efetiva em relação a todas as práticas descritas, pois se estas tecnologias necessitam da cooperação da sociedade para alcançarem efetividade satisfatória na gestão integrada de resíduos sólidos urbanos.

Além dos projetos e das implementações, estes instrumentos devem estar previstos e descritos no Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos, como requisitado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos. O conceito de gestão é fundamentado basicamente em três pilares: recursos econômicos, recursos humanos e planejamento. O planejamento da GRSU é um instrumento primordial para uma gestão efetiva.

Em consequência deste estudo foram elencados como indicadores de qualidade ambiental, quesitos que denotam um grau qualitativo do funcionamento do sistema de gestão integrada de resíduos sólidos relativos a custo ambiental, longevidade do aterro sanitário e questões socioambientais. Os indicadores são os seguintes:

- Avaliar se o município **dispõe seus resíduos em aterro sanitário ou em incinerador** (com sistema misto) e se o aterro em questão **possui tecnologia biorreatora, para geração de biogás e aproveitamento energético**;
- Se, de acordo com o tamanho populacional, o município **opta por solução isolada ou consorciada para a gestão integrada de resíduos sólidos urbanos**. E ainda se **possui aterro sanitário próprio** ou um **sistema de incinerador** e o que a unidade administradora do aterro ganha como contrapartida (se for o caso);
- Se possui **Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos**;
- Avaliar qual é a **abrangência da coleta regular**;
- Avaliar se há **programas de educação ambiental** e qual a sua abrangência;
- Se há **rotas de coleta seletiva e pontos de entrega voluntária (PEV)**, qual a abrangência e qual a classe social predominante entre os participantes do sistema;
- Se há **programas de parceria ou incentivo a associações ou outras formas de organização de catadores de materiais recicláveis** e em quais condições de trabalho estes se encontram;
- Se, vinculado ao aterro sanitário, há uma **central de triagem** e se esta corresponde à demanda de resíduos (manual, semiautomática ou automática);
- Qual a relação entre o resíduo gerado e o resíduo reciclado no município, denotando a **quantidade de resíduos reciclados**;
- Se é feita **compostagem da matéria orgânica** resultante da poda e jardinagem de locais públicos, bem como se a **compostagem domiciliar é incentivada** pelos programas de educação ambiental;
- Se o município mantém **índices e metas para melhoria** da participação da população **na logística reversa**, bem como a sua fiscalização junto ao setor privado;
- Se há **usina para beneficiamento de resíduos de construção civil e demolição** no município.

O método proposto para avaliação da qualidade ambiental da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos com base nos indicadores elencados acima, conta com a atribuição de um peso para cada indicador (que vai depender da particularidade de cada um relacionado ao tamanho populacional da cidade a ser avaliada) e de cinco alternativas de estágio referentes à realidade do município em análise. Estas cinco alternativas são distribuídas da solução mais ambientalmente adequada à mais inadequada. O resultado da avaliação dar-se-á através da média ponderada entre o peso e a alternativa marcada em cada um dos indicadores. Os formulários foram feitos para cidades maiores e menores que 325 mil habitantes e seus modelos estão representados nos apêndices I e II.

5. CONCLUSÃO

O efetivo gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos deve funcionar sob ótica holística, agregando todos os instrumentos que o auxiliam na busca pela redução de resíduos no aterro sanitário. A população é parte fundamental dos processos e, por isso também é responsável para o sucesso da gestão. Os programas que resultam na redução de resíduos dispostos em aterro podem ser mais custosos e por isso, um estudo de viabilidade para sua implementação deve ser feito.

A avaliação de um sistema de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos a partir dos 14 indicadores propostos indica o grau da qualidade ambiental do sistema de gerenciamento. Baseando-se em questões ambientais, econômicas e sociais, cada indicador aborda uma particularidade e conta com índices quali-quantitativos.

Todas as ferramentas de auxílio à gestão de resíduos sólidos, tais como o Plano Municipal, a educação ambiental, coleta seletiva, centro de triagem, reciclagem, compostagem, logística reversa, incentivo às associações de catadores, usinas de reciclagem e incineração, biorreatores, entre outros se mostraram tecnologias elementares para atingir um alto nível de qualidade ambiental.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **ABNT NBR 8.419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**, 1992. Disponível em:

<<https://www.observatorioderesiduos.unb.br/painel/assets/uploads/files/996de-nbr-8.419-nb-843-apresentacao-de-projetos-de-aterros-sanitarios-rsu.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2017

ABNT. **ABNT NBR 10.004 - Resíduos Sólidos - Classificação**, 2004a. Disponível em:

<<http://analiticaqmc.paginas.ufsc.br/files/2013/07/residuos-nbr10004.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2017

ABNT. **ABNT NBR 10.007 - Amostragem dos resíduos sólidos**, 2004b.

ABNT. **ABNT NBR 10.006 - Procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**, 2004c.

ABNT. **ABNT NBR 10.005 - Procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**, 2004d.

ABNT. **ABNT NBR 15.116 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos**, 2004e.

ABNT. **ABNT NBR 15.115 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - execução de camadas de pavimentação - procedimentos**, 2004f.

ABRECON. **Abrecon**, 2017. Disponível em: <<https://abrecon.org.br/associados/>>. Acesso em: 27 jul. 2017

BANCO MUNDIAL. **Population, total | Data**. Disponível em:

<<http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

BANCO MUNDIAL. **United States | Data**. Disponível em:

<<https://data.worldbank.org/country/united-states?view=chart>>. Acesso em: 18 jun. 2018a.

BANCO MUNDIAL. **Brasil | Data**. Disponível em:

<<https://data.worldbank.org/country/BR?locale=pt>>. Acesso em: 18 jun. 2018b.

BARREIRA, L. P. **Avaliação das Usinas de Compostagem do Estado de São Paulo em Função da Qualidade dos Compostos e Processos de Produção**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2005.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia ambiental**. São Paulo, SP, Brasil: Oficina de Textos, 2008.

BRANDÃO, A. DE O.; SILVA, G. N. DA. Impactos econômicos da implantação de aterros sanitários individuais nos municípios. **Impactos econômicos da implantação de aterros sanitários individuais nos municípios**, v. 3, 2011.

BRASIL. **Lei nº 12.305**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 3 out. 2016.

BRASIL. **Plano Nacional de resíduos Sólidos: Versão após audiências e consulta pública para conselhos nacionais** Ministério do Meio Ambiente, , 2012.

BRASIL, M. M. A. **Compostagem - Site do Ministério do Meio Ambiente**, 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/compostagem.pdf>. Acesso em: 25 maio. 2017

BUSWELL, A. M.; MUELLER, E. F. **Mechanisms of Methane Fermentation**. In: **ENGINEERING CHEMISTRY**. [s.l: s.n.], v. 44

CEMPRE. **Manual de gerenciamento integrado do lixo municipal**. 1ª ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: [s.n.].

CEMPRE. **Ciclossoft - 2016 | CEMPRE**. Disponível em: <<http://cempre.org.br/ciclossoft/id/>>. Acesso em: 11 out. 2016.

CETESB. **Resíduos Sólidos Industriais**. 2ª ed. [s.l: s.n.].

CONAMA. **Resolução CONAMA Nº 307/2002 - “Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil”**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 26 maio. 2017.

CORREIA SILVA, I. C.; QUINTO JR., L. DE P. **Avaliação do Método Envision para Infraestruturas Brasileiras: Estudo das Linhas de Alta Tensão do Sistema Tucuruí-Macapá-Manaus, Usinas hidrelétricas de Santo Antônio do Jari e Santo Antônio, e Aquapolo**. 2018.

GOMES OREA, D. **El medio físico y la planificación**. Madri.CIFCA, , 1978.

HESS, S. **Educação Ambiental: Nós no Mundo**. 2º ed. [s.l.] Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, UFMS, 2002.

IBGE. **IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Indicadores Sociais Municipais - 2000**. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/indicadores_sociais_municipais/tabela1a.shtm>
. Acesso em: 31 jul. 2017.

IBGE (ED.). **Pesquisa nacional de saneamento básico: 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE. **Perfil dos Municípios Brasileiros - 2013**. Disponível em:
<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2013/>>. Acesso em: 30 jun. 2017.

IPEA. **Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos**, 2010.

JAGGI, M. Valor Setorial - Construção Civil. **Reciclagem**, p. 86 à 87, 2011.

MACHADO, G. B. **Central de Triagem**. Disponível em:
<<http://www.portalresiduossolidos.com/central-de-triagem/>>. Acesso em: 19 jun. 2017.

MONTEIRO, C. A. DE F. Qualidade Ambiental - Recôncavo e regiões limítrofes. n. Salvador, Centro de Estatísticas e Informações, p. 48p e 3 cartas, 1987.

NASCIMENTO, R. M.; PINTO, A. E. M. Sustentabilidade e Precaução: Uma Avaliação do Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos de Macaé Referenciados na Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Direito da Cidade**, v. 10, n. 1, 11 jan. 2018.

NASCIMENTO, R. M.; QUINTO JR., L. DE P.; GOMES FILHO, H. Indicadores para Análise da Qualidade Ambiental da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos. **INDICADORES PARA A ANÁLISE DA QUALIDADE AMBIENTAL DA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**, 4º Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis. n. 4º, p. 11, 22 maio 2018.

NASCIMENTO, R. M.; QUINTO JR., L. DE P.; GOMES FILHO, H. Tecnologias para Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: uma Revisão de Literatura. **Tecnologias para Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: uma Revisão de Literatura**, n. 8ª, p. 10, 22 maio 2018.

NUCCI, J. C. Qualidade Ambiental e Adensamento Urbano: Um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP). n. 2ª, p. 150, 2008.

PHILIPPI, L. S. Saneamento Descentralizado: Instrumento para o desenvolvimento sustentável. v. 002, p. 1833–1841, 2000.

PMSP, DECRETO 4875. Decreto n. 4875 de 28 de dezembro de 2006. Torna obrigatório o uso de material proveniente de reciclagem de RCD nas obras e serviços de pavimentação de vias públicas. . 2006.

POLETTI, J. A.; SILVA, C. L. A influência da separação de resíduos sólidos urbanos para fins de reciclagem no processo de incineração com geração de energia. 23 out. 2007.

REES, W. E. Ecological footprints and bio-capacity: essencial elements in sustainability assessment. p. 143–158, 2006.

RIBEIRO, H.; RIZPAH BESEN, G. Panorama da Coleta Seletiva no Brasil: Desafios a Partir de Três Estudos de Caso. **InterfacEHS - Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 2, n. 4, 11 abr. 2011.

RIO DE JANEIRO. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PMGIRS - do Rio de Janeiro**, 2015. Disponível em:

<http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/3372233/4160602/PMGIRS_Versao_final_publicacao_DO_dezembro2015_19_ABR_2016_sem_cabecalho1.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2018

RIO, J. C. G. **G1 relata abandono de moradores de Gramacho, 3 anos após lixão fechar**.

Disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2015/06/g1-relata-abandono-de-moradores-de-gramacho-3-anos-apos-lixao-fechar.html>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

SILVEIRA, R. C. E. D. **GESTÃO CONSORCIADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS RELAÇÕES SOCIOAMBIENTAIS**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

TCU, T. DE C. DA U. **Relatório de Auditoria Operacional - Monitoramento no Programa Resíduos Sólidos Urbanos** Tribunal de Contas da União, , 2011. Disponível em:

<<http://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?inline=1&fileId=8A8182A14D92792C014D9286CE3777FB>>. Acesso em: 10 out. 2016

TOMMASI, L. R. **Estudo de Impacto Ambiental** São Paulo: Cetesb/Terragraph Artes e Informática S/CLtda, , 1994.

UGENDA JÚNIOR, J. C.; AMORIM, M. C. DE C. T. Indicadores ambientais e planejamento urbano. **Indicadores Ambientais e Planejamento Urbano**, v. 2, n. 31, p. 5–35, 2009.

ZOFNASS, – PROGRAM FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE. **XINGÚ AND MACAPÁ HIGH TENSION LINES – BRAZIL** Zofnass Program for Sustainable Infrastructure, , 2014.

Disponível em: <<https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/menu/current-research/infrastructure-360/>>. Acesso em: 17 fev. 2018

ZOFNASS, – PROGRAM FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE. **Envision V2 Guidance Manual** Zofnass Program for Sustainable Infrastructure, , 2015a. Disponível em:

<<https://sustainableinfrastructure.org/portal/files/GuidanceManual.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2018

ZOFNASS, – PROGRAM FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE.

INDUSTRIAL WATER PRODUCTION AQUAPOLO – BRAZIL Zofnass Program for Sustainable Infrastructure, , 2015b. Disponível em:

<<https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/menu/current-research/infrastructure-360/>>. Acesso em: 17 fev. 2018

ZOFNASS, – PROGRAM FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE. **SANTO ANTÔNIO HYDROELECTRIC – BRAZIL** Zofnass Program for Sustainable Infrastructure, , 2015c.

Disponível em: <<https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/menu/current-research/infrastructure-360/>>. Acesso em: 17 fev. 2018

ZOFNASS, – PROGRAM FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE. **Termoverde Caieiras - Biogas Thermoelectric Plant – BRAZIL** Zofnass Program for Sustainable Infrastructure, , 2016a.

Disponível em: <<https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/menu/current-research/infrastructure-360/>>

ZOFNASS, – PROGRAM FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE. **MARANHÃO GRAIN TERMINAL – TEGRAM – BRAZIL** Zofnass Program for Sustainable

Infrastructure, , 2016b. Disponível em: <<https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/menu/current-research/infrastructure-360/>>. Acesso em: 17 fev. 2018

ZOFNASS, – PROGRAM FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE. **CENTER FOR SOLID WASTE TREATMENT, SEROPÉDICA (CTR RIO) - BRAZIL**Zofnass Program for Sustainable Infrastructure, , fev. 2016c. Disponível em: <https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/files/2016/08/11_CTRRio_MunicipalSolidWaste_EN_FinalFormat_2016-v.4.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2018

ZUQUETTE, L. V. **Geotecnia Ambiental**. 1^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2015.

ARTIGO CIENTÍFICO 2

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO CENTRO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SANTA ROSA

ENVIRONMENTAL QUALITY ASSESSMENT OF THE INTEGRATED SOLID WASTE MANAGEMENT OF THE SANTA ROSA WASTE TREATMENT CENTER

Raphael Motta Nascimento - IFFluminense/PPEA

Luiz de Pinedo Quinto Júnior - IFFluminense/PPEA

Hélio Gomes Filho - IFFluminense/PPEA

RESUMO

A questão ambiental dos resíduos sólidos é objeto de reflexão em diferentes áreas de conhecimento, por isso o pensamento holístico é parte fundamental do processo de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos. O Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa mantém o funcionamento do maior aterro sanitário da América do Sul, e recebe a disposição de aproximadamente 10 mil toneladas por dia. A qualidade ambiental de um projeto desse porte influencia diretamente na vida de milhões de pessoas beneficiadas pelo serviço de coleta de resíduos, bem como pode ser afetada caso a gestão integrada não seja realizada como se deve. De modo a avaliar a qualidade ambiental do projeto, foi aplicada uma Avaliação de Qualidade Ambiental da Gestão de Resíduos Sólidos e com o resultado obtido, foi feita uma comparação com uma avaliação Envision realizada em 2016 pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento em parceria com o Programa Zofnass e com o Instituto pela Infraestrutura Sustentável.

Palavras chave: Aterro Sanitário. Infraestruturas sustentáveis. Envision.

ABSTRACT

The environmental issue of solid waste is the object of reflection in different areas of knowledge, so holistic thinking is a fundamental part of the integrated solid waste management process. The Santa Rosa Waste Treatment Center maintains the operation of the largest sanitary landfill in South America, and receives the disposal of approximately 10 thousand tons per day. The environmental quality of a project of this size directly influences the lives of millions of people benefiting from the waste collection service, and can be affected if integrated management is not carried out as it should. In order to evaluate the environmental quality of the project, an Environmental Quality Assessment of Solid Waste Management was applied and with the result obtained, a comparison was made with an Envision evaluation carried out in 2016 by the Inter-American Development Bank in partnership with the Zofnass Program and with the Institute for Sustainable Infrastructure.

Keywords: *Landfill. Sustainable Infrastructures. Envision.*

1. INTRODUÇÃO

A questão ambiental dos resíduos sólidos é objetivo de reflexão em diferentes áreas do conhecimento, evidenciando-se como interdisciplinar, especialmente no que se refere à gestão integrada em formato consorciado, que está relacionada ao processo de desenvolvimento econômico do país, com aspectos culturais e políticos, com inovações tecnológicas, com a responsabilidade constitucional, com o aumento de consumo e com a situação financeira dos municípios, bem como a questão social dos catadores (SILVEIRA, 2008).

O setor de saneamento no Brasil evoluiu muito pouco na década de 1990 e a situação dos resíduos sólidos ficou à margem da evolução das demais áreas desse setor (PHILIPPI, 2000). A publicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) impulsionou a questão do RSU por intermédio de programas como o do lixão zero e de incentivos a soluções consorciadas.

As características da área a ser estudada determinam quais indicadores ambientais devem ser utilizados, portanto a definição de quais indicadores serão considerados depende de quais são os problemas presentes em cada área. Esta definição pode ser feita através de análises sistêmicas de como funciona e quais são os problemas envolvidos no objeto de estudo (UGENDA JÚNIOR; AMORIM, 2009).

O pensamento holístico é parte fundamental do processo do planejamento ambiental de sistemas de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos. Questões sociais, econômicas e técnicas precisam fazer parte para que as metodologias de estudo sejam capazes de englobar todas as inter-relações e suas variáveis (NUCCI, 2008).

O Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa (CTR Rio), localizado no município de Seropédica, no estado do Rio de Janeiro opera desde 2011 e, apesar de ter sido concebido como uma solução exclusiva para o município do Rio de Janeiro, recebe também os resíduos sólidos urbanos (RSU) dos municípios de Itaguaí, Seropédica, portanto ainda que não formalmente consorciados na prática, o CTR Rio representa uma solução compartilhada entre os três municípios (RIO DE JANEIRO, 2015).

Até o início da operação do CTR Rio, todos os resíduos coletados pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (COMLURB) eram depositados no lixão Gramacho, que não dispunha de nenhum tipo de tratamento a fim de evitar contaminação.

Além do passivo ambiental, com o fechamento do lixão Gramacho, cerca de 1,4 mil catadores que viviam dos resíduos recicláveis lá depositados, perderam suas rendas (RIO, 2015).

Esta força de trabalho representa mais do que a geração de economia informal no Brasil e é necessário que a gestão de resíduos sólidos, em parceria com a comunidade, utilize o plano municipal como principal instrumento de redução do volume de resíduos junto com uma coleta seletiva universal e com a participação das cooperativas de catadores (NASCIMENTO; PINTO, 2018).

O sistema de avaliação Envision, destinado para avaliação de sustentabilidade em infraestruturas, usa sessenta créditos dispostos em cinco categorias que abordam a qualidade de vida da comunidade, liderança do projeto, alocação dos recursos utilizados no projeto, as condições anteriores e posteriores do mundo natural adjacente ao projeto, e avaliações de riscos de desastres naturais e mudanças climáticas, formando uma abordagem holística de sustentabilidade que pode ser usada para a avaliação de diferentes tipos de estruturas.

Inicialmente o sistema de avaliação Envision foi desenvolvido para aplicação em infraestruturas projetadas nos EUA e Canadá, mas a partir do ano de 2014, a premiação Infraestrutura 360° promovida pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) em parceria com o *Institute for Sustainable Infrastructure* (ISI) e o *Zofnass Program for Sustainable Infrastructure* utilizou o Envision para a avaliação de projetos por toda a América Latina e ilhas do Caribe.

No ano de 2016, a premiação Infraestrutura 360° avaliou o Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa (CTR Rio), que foi o campeão na categoria Liderança daquele ano.

Este artigo tem como objetivo a avaliação da qualidade ambiental do Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa, em Seropédica, através do método de Avaliação de Qualidade Ambiental da Gestão de Resíduos Sólidos (AQUAGIR), que usa indicadores de qualidade ambiental específicos para sistemas de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos.

Foi feita uma comparação entre os resultados produzidos pela avaliação AQUAGIR e pela avaliação Envision no projeto do Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa. Esta comparação denota pontos fortes e fracos em ambos os sistemas de avaliação para este caso.

2. REVISÃO DA LITERATURA

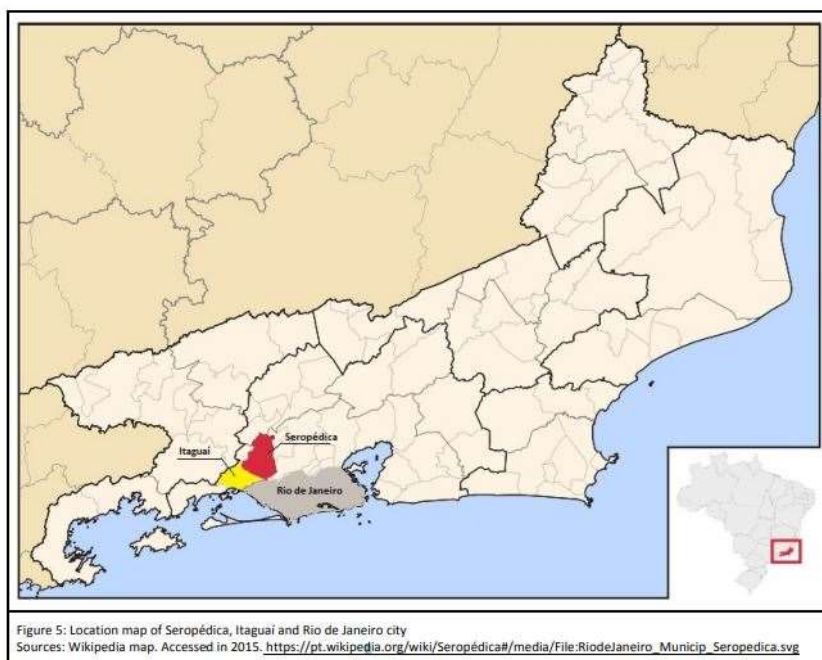
2.1. O Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa

O Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos Santa Rosa (Figura 5), conhecido como CTR Rio, é um centro de gerenciamento que consiste principalmente em um aterro sanitário localizado no município de Seropédica, no estado de Rio de Janeiro (Figura 6), a cerca de 80 quilômetros de distância do município do Rio de Janeiro (ZOFNASS, 2016c).

Figura 5 - Foto aérea do Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa | Fonte: Zofnass, 2016.



Figura 6 - Mapa de localização dos municípios de Seropédica, Itaguaí e Rio de Janeiro | Fonte: Wikipedia map. Acessado em 2015.



Embora o CTR-Rio tenha sido concebido como uma solução exclusiva para o município do Rio de Janeiro, na prática, em função de restrições do licenciamento ambiental, acabou por acolher resíduos dos municípios de Seropédica e de Itaguaí. Assim, ainda que não formalmente consorciados na prática o CTR – Rio representa uma solução compartilhada entre os três municípios (RIO DE JANEIRO, 2015).

O CTR Rio opera desde abril de 2011 um dos maiores aterros sanitários do Brasil, cobrindo 2,2 km², como retratado na figura 7 (ZOFNASS, 2016c). Aproximadamente 10.000 toneladas de resíduos oriundos um total aproximado de 6.670.000 munícipes dos municípios de Seropédica, com 78.000, de Itaguaí, com 122.000 e do Rio de Janeiro, com 6.470.000 são destinadas por dia para tratamento no CTR Rio, atingindo uma média aproximada de 1,5kg de resíduo urbano por habitante, enquanto a média nacional de geração de resíduos urbanos por habitante fica em torno de 1kg por habitante (IBGE, 2013).

Figura 7 - Área da implementação do projeto CTR Rio e rotas de acesso próximas. Fonte: Veredas Estudos e Execução de Projetos Ltda apud Zofnass, 2016



Para a adequada destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos no município do Rio de Janeiro, a Ciclus Ambiental tornou-se concessionária na implementação, operação e manutenção de transbordos (Estações de Transferência de Resíduos – ETRs) e do tratamento de resíduos em si, operado no CTR Rio (RIO DE JANEIRO, 2015).

A Ciclus opera o CTR Rio e 7 Estações de Transferência de Resíduos (ETR). Entre as sete, 3 já existiam (Caju, Jacarepaguá e Bangu) e 4 (Penha, Marechal Hermes, Tanque e Campo Grande⁵) foram implementadas gradativamente para interconectar o sistema de gerenciamento integrado de

⁵ No documento de avaliação Envision do CTR Rio a ETR é chamada Campo Grande e no Site da Ciclus Ambiental e no PMGIRS do Rio de Janeiro, Santa Cruz.

Resíduos Sólidos (ZOFNASS, 2016c). As Figuras 8 e 9 denotam a logística de de resíduos sólidos no município do Rio de Janeiro nos anos de 2014 e 2016 respectivamente.

Figura 8 - Fluxo do lixo | Fonte: Rio de Janeiro, 2014.



Figura 9 - Fluxo de Resíduos do município do Rio de Janeiro | Fonte: Ciclus Ambiental, 2018.



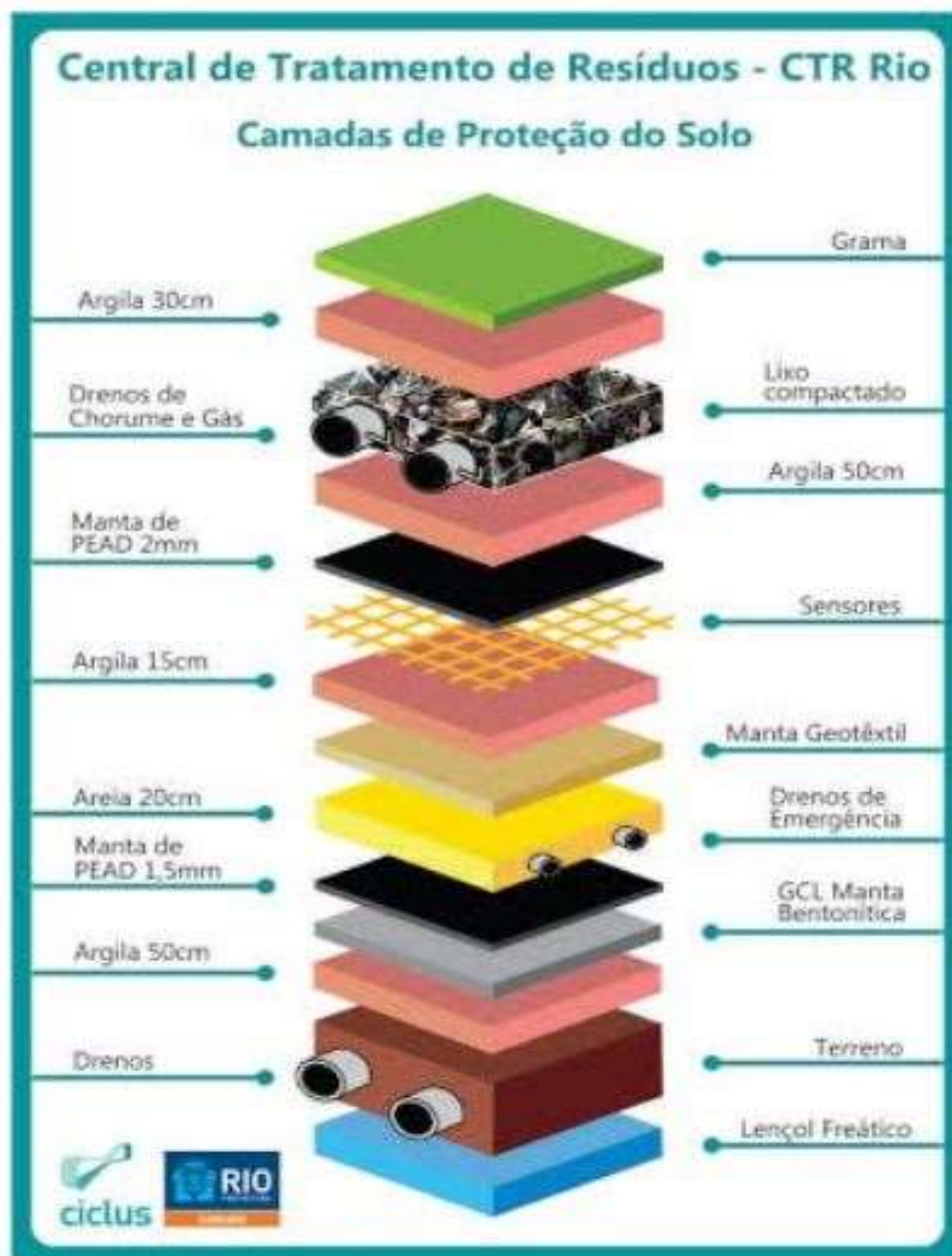
2.2. Tecnologias para o Tratamento dos Resíduos no CTR Rio

2.2.1. Camadas de proteção do solo

Os caminhões de lixo são pesados quando chegam e os resíduos são classificados por categorias. Então os resíduos sólidos são depositados no aterro e cobertos por argila, que evitam a

propagação do mau cheiro. As camadas de proteção do solo utilizadas no CTR Rio envolvem mantas de polietileno de alta densidade, geotêxteis, manta bentonítica, drenos e sensores para monitoramento e controle de recalques, como mostra a Figura 10 (ZOFNASS, 2016c).

Figura 10 - Camadas de proteção do solo no CTR Rio | Fonte: Ciclus Ambiental, 2018.



2.2.2. Geração e tratamento de chorume e biogás

Todo o chorume gerado pela decomposição de matéria orgânica é coletado através de drenos, direcionado para tratamento e transformado em água reciclada, conforme aparente na Figura 11 (ZOFNASS, 2016c).

Figura 11 - Foto aérea da estação de tratamento de chorume no CTR Rio | Fonte: Ciclus Ambiental, 2018.



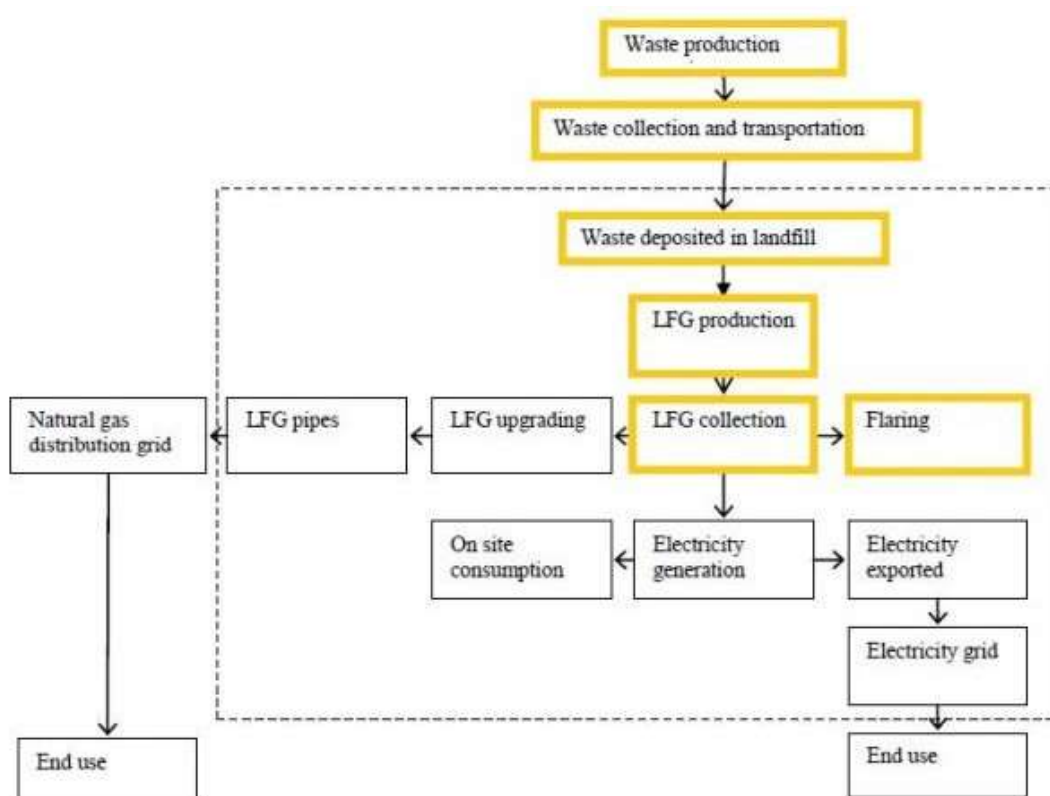
O biogás, também produzido pela decomposição de matéria orgânica, é canalizado para ser queimado. O CTR Rio é considerado a mais segura, moderna e eficiente solução para o tratamento de resíduos sólidos no Brasil (ZOFNASS, 2016c).

Para contribuir à adaptação do clima, o CTR Rio lançou um Plano para Mitigação de Emissão de Gases de Efeito Estufa, baseado no Protocolo de Kyoto, que tem como objetivo reduzir a emissão de GEEs em 40% entre 2015 e 2018 e emissões de metano em 50%. Isto é certificado sob o “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo” (MDL), oferecendo créditos de carbono a outros países. O CTR Rio instalou um sistema de tubulação para captação de biogás produzido pela decomposição de matéria orgânica. O biogás é levado aos *flares* onde o metano é transformado em CO₂, que gera menos efeito estufa (ZOFNASS, 2016c).

O CTR Rio planeja usar o biogás como fonte de energia renovável no futuro. Em termos de se tornar um projeto resiliente, o CTR Rio tem necessidade de melhoria em alguns pontos. O projeto tem um plano destinado a riscos a curto prazo, que mencionam medidas que necessitam ser tomadas em caso de algum dano ao sistema, contudo não são especificadas quais seriam estas medidas detalhadamente. Não foi apresentado nenhum planejamento para redução de poluição do ar, monitoramento da qualidade do ar, preparo para mudanças climáticas a longo prazo, ou de avaliação de ameaças climáticas. Se o CTR Rio pretende se tornar um projeto resiliente, estes problemas deveriam ser lidados com mais preocupação, visto que o projeto de infraestrutura é um aterro sanitário.

Se qualquer desastre de origem humana ou natural acontecer ao projeto, O CTR Rio precisa estar preparado com soluções resilientes para fornecer o que os ambientes sociais e naturais precisam (ZOFNASS, 2016c).

Figura 12 - Esquema de representação simplificado do CTR Rio para o uso de biogás. A linha amarela representa o que o projeto usa no presente | Fonte: Zofnass, 2018.



2.2.3. Gerenciamento do ambiente social

O projeto mostrou profunda preocupação com o ambiente que rodeia a comunidade. O CTR Rio opera com a sociedade, implementando projetos sociais e gerando empregos e benefícios ao ambiente, com plantação de mudas para monitorar lençóis freáticos, águas superficiais, solos e áreas degradadas. O projeto está de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que determina uma locação apropriada e tratamento dos resíduos sólidos sem prejudicar o ambiente. O CTR Rio possibilitou o fechamento dos lixões de Gramacho, Seropédica e Itaguaí, que causavam muita poluição (BRASIL, 2010).

Figura 13 - Catadores nos lixões a céu aberto de Gramacho e de Seropédica, ativos antes da implementação do CTR Rio | Fontes: *Inhabitat*, 2015; *Cootraser*, 2011.



A Ciclus, empresa que opera o CTR Rio, enfatiza sustentabilidade como valor fundamental no seu trabalho. A equipe de projeto estabeleceu um sistema de gerenciamento de sustentabilidade através do plano de gerenciamento do ambiente social que adota princípios de desenvolvimento sustentável com *stakeholders* e participação da comunidade, controle ambiental e programas para melhorar problemas sociais. O projeto foi financiado pela Caixa Econômica Federal, custando R\$ 600 milhões (ZOFNASS, 2016c).

O projeto tem um departamento chamado “CTR Rio Portas Abertas”, onde a comunidade e os *stakeholders* podem apresentar suas opiniões, reclamações e desejos. O projeto melhorou a integração da infraestrutura integrando a infraestrutura previamente existente com o projeto de *design* e melhorando rodovias e ruas acerca das comunidades. Mesmo assim, apesar de trabalhar com muitas parcerias para ampliar o envolvimento e a compreensão do projeto, o CTR Rio ainda precisa engajar melhor a sua equipe. Muitas empresas (públicas e privadas) trabalharam no projeto desde a implementação até sua operação. O CTR Rio não apresentou relatórios ou documentos que monitoram a eficiência dessas equipes (ZOFNASS, 2016c).

Um plano de gestão socioambiental foi imposto pela Caixa Econômica Federal em parceria com o Banco Mundial, para criar o Centro de Educação Ambiental em julho de 2010. Este Centro, localizado no CTR Rio, serve de interação para informação, com escolas, sobre problemas ambientais e procedimentos de reciclagem. Além do Centro de Educação Ambiental, o projeto realizou várias iniciativas em benefício da comunidade, tais como: Plano de Inclusão Social; Plano de Educação Ambiental; e Plano de Inclusão Social para Comunidade de Catadores (ZOFNASS, 2016c).

O projeto cuida também das comunidades de catadores afetados pelo fechamento dos antigos lixões a céu aberto (nos municípios de Seropédica e Itaguaí). O CTR Rio implementou o Plano de

Inclusão Social para Comunidade de Catadores para compensar a perda de renda dos catadores, oferecendo alternativas de reinserção ao mercado de trabalho formal ou pela revitalização da cooperativa de reciclagem de resíduos. Neste Centro, a comunidade pode aprender mais sobre o projeto CTR Rio, práticas adequadas, preocupações ambientais e procedimentos de reciclagem. Todas as diretrizes foram desenvolvidas pela Plano de Educação Ambiental. O Centro também realiza *workshops* anuais para capacitação de colaboradores sobre tecnologias de gestão de resíduos (ZOFNASS, 2016c).

Além da preocupação com as questões sociais, o CTR Rio ajudou a melhorar o paisagismo urbano de Seropédica. O projeto investiu e recuperou espaços públicos através de reforma e adaptação de 20 quadras públicas no município de Seropédica, e realizou drenagem e pavimentação em várias partes dos distritos de Jardim Maracanã, Santa Sofia e Piranema no município de Seropédica. Sendo assim, o projeto teve efeitos positivos no crescimento da sustentabilidade e desenvolvimento. Para evitar incômodos à comunidade mais próxima – Vila do Chaperó, localizada a 2km do aterro, o CTR Rio implementou um “cinto verde” em torno da área que funciona como barreira natural para segurar a poeira, odores e barulho. Ainda há alguns problemas em que o CTR Rio precisa trabalhar melhor, como no desenvolvimento de alternativas para o transporte até a área, melhoria da mobilidade e acesso da comunidade e minimizar a poluição de luz. Também foram mostradas preocupações sobre a implementação de programas destinados às mulheres, capacitando-as e ajudando-as a ingressar no mercado de trabalho formal (ZOFNASS, 2016c).

2.2.4. Monitoramento da qualidade das águas

O CTR Rio caracterizou todas as bacias e analisou a qualidade da água antes de implementar o projeto para proteger a água de contaminação. O CTR Rio também inclui um sistema de drenagem complexo para minimizar impactos negativos na superfície e nos lençóis freáticos. O sistema de drenagem conduz águas de chuva para dois vales canalizados na área, com os quais a água de chuva é propriamente conduzida à sua bacia hidrográfica natural. Desta maneira, o projeto tem criado medidas para destinar o escoamento e manter as áreas úmidas e o fluxo das águas superficiais (ZOFNASS, 2016c).

Figura 14 - Rio Piranema | Fonte: CTR Rio, 2015.



Além disso, o sistema à prova d'água assegura que o lixiviado gerado pelo acúmulo de resíduos não atingirá lençóis freáticos e águas superficiais. O projeto toma medidas para mitigar quaisquer poluições geradas pela lixiviação, tais como o monitoramento através de sensores espalhados onde os resíduos são acumulados para detectar qualquer traço de poluição no solo (ZOFNASS, 2016c).

O projeto não afetou diretamente a fauna e flora acerca do aterro sanitário. O CTR Rio foi implementado em área altamente impactada pela atividade pecuária, mesmo assim, no EIA/RIMA, a equipe de projeto toda a fauna e flora que habita o entorno do aterro, bem como as características do solo. O projeto foi implementado em planície com uso agropecuário e solo argiloso, características boas para a implementação de um aterro sanitário (ZOFNASS, 2016c).

O projeto não apresentou documentação de uso de materiais reciclados ou de reuso, ou de que os materiais usados poderiam ser reciclados ou reusados ao fim da vida do projeto. O CTR Rio não demonstrou que isso reduz o uso de energia em geral na planta, ou que usa fontes de energia renovável (ZOFNASS, 2016c).

2.3. Metodologia de avaliação Envision

O Envision foi desenvolvido em colaboração entre o Programa Zofnass para Infraestrutura Sustentável na *Graduate School of Design* da Universidade de Harvard e do Instituto de Infraestrutura Sustentável, que é uma organização sem fins lucrativos de educação e pesquisa, fundada pelo

American Public Works Association, pelo American Council of Engineering Companies, e pela American Society of Civil Engineers (ZOFNASS, 2015a).

Envision é um sistema de **avaliação de sustentabilidade** e guia de planejamento para a introdução de considerações de sustentabilidade em projetos de infraestrutura. Por se tratar de um sistema holístico, é aplicável para todos os tipos e tamanhos de infraestrutura civil, tais como estradas, pontes, gasodutos, sistemas de tratamento de água, diques, barragens, ferrovias, aeroportos, aterros sanitários, entre outros (ZOFNASS, 2015a).

O Envision não se destina à avaliação de edifícios ocupados por humanos, interiores e condicionados e embora tenha sido desenvolvido inicialmente para os EUA e Canadá, pode ser adaptado para outros locais (ZOFNASS, 2015a).

O sistema Envision é composto por uma família de ferramentas que cobrem todas as fases do ciclo de vida do projeto: planejamento, concepção, construção, operação e desconstrução. O sistema conta com 60 critérios (denominados “créditos”) organizados em cinco categorias: Qualidade de Vida, Liderança, Alocação de Recursos, Mundo Natural, e Clima e Risco. Sistemas de avaliação de sustentabilidade para projetos de infraestrutura são estabelecidos através de uma avaliação de desempenho que atribui pontos para até cinco níveis de desempenho dentro de cada crédito, além dos pontos adicionais por desempenho inovador que podem ser obtidos em cada categoria, se for o caso (ZOFNASS, 2015a).

Para avaliação de projetos de infraestrutura com base na sua contribuição global para aspectos econômicos, ambientais e sociais da sustentabilidade, o Envision estabelece um quadro holístico único de design sustentável para o projeto, não apenas criando objetivos de desempenho sustentável significativos (ZOFNASS, 2015a).

2.3.1. Categorias, subcategorias e níveis de realização

Os 60 critérios de avaliação de sustentabilidade que compõem o sistema Envision são distribuídos entre quatorze subcategorias que, combinadas, formam cinco categorias, dispostas da seguinte maneira (ZOFNASS, 2015a):

- **Qualidade de vida:** Propósito, Comunidade, Bem Estar;
- **Liderança:** Colaboração, Administração, Planejamento;
- **Alocação de Recursos:** Materiais, Energia, Água;

- **Mundo Natural:** Implantação, Terra & Água, Biodiversidade;
- **Clima e Risco:** Emissões, Resiliência.

A pontuação atribuída a cada crédito fica de acordo com o nível de sustentabilidade que o projeto apresenta naquele respectivo quesito, dividido entre os seguintes possíveis níveis (ZOFNASS, 2015a):

- **Convencional:** Estado de prática, ou seja, que não pontua no respectivo crédito;
- **Aperfeiçoado:** Desempenho que está acima do convencional por exceder ligeiramente os requisitos regulamentares - encorajador;
- **Aprimorado:** Desempenho sustentável que está no caminho certo, com indícios de que um desempenho superior está ao seu alcance;
- **Superior:** Desempenho sustentável digno de nota, mas não conservador. As pontuações são projetadas para incentivar o alcance de desempenho sustentável ou restaurador;
- **Conservador:** Desempenho que atingiu essencialmente zero impacto negativo;
- **Restaurador:** Desempenho que restaura os sistemas naturais ou sociais e, por isso, recebe o prêmio mais alto possível. Este nível não é aplicável a todos os créditos.

2.3.2. Critério de avaliação e pontuação de projeto

Há relação direta entre a documentação necessária para demonstrar que um nível de realização foi cumprido e o respectivo critério de avaliação, que pode incluir tanto requisitos qualitativos quanto quantitativos, como por exemplo (ZOFNASS, 2015a):

- Sim ou não: medidas tomadas sobre um resultado alcançado;
 - Exemplo: se o projeto está localizado em um local sem características geológicas adversas, como falhas de terremotos ou topografia cárstica⁶.
- Objetivo: resultado específico com níveis variáveis ou discretos;
 - Exemplo: se o projeto foi concebido para obter 41-80% de sua energia a partir de fontes renováveis.
- Execução: processo conduzido ou compromisso assumido para realizar um objetivo definido;

⁶ Topografia cárstica é um tipo de relevo geológico caracterizado pela dissolução química (corrosão) das rochas, que leva ao aparecimento de uma série de características físicas, tais como cavernas, dolinas, vale seco vale cegos, cones cársticos, rios subterrâneos, canhões fluviocársticos, paredões rochosos expostos e lapiás. O relevo cárstico ocorre predominantemente em terrenos constituídos de rocha calcária, mas também pode ocorrer em outros tipos de rochas carbonáticas, como o mármore e rochas dolomíticas.

- Exemplo: se a equipe do projeto realizou uma avaliação global das necessidades de iluminação.
- Realização: processo conduzido com resultado geral ou não específico;
 - Exemplo: se a equipe do projeto reduziu a quantidade de iluminação necessária através do uso de alternativas não iluminadas.

Cada um dos créditos e os seus níveis de associados de realização são pontos atribuídos ponderados de acordo com a sua contribuição estimada para a sustentabilidade, com orientação fornecida em cada descrição de crédito sobre como determinar o nível de realização para um determinado projeto. Pontuações de cada crédito aplicável são somadas para dar a pontuação total do Envision (ZOFNASS, 2015a).

2.4. Avaliação Envision no CTR Rio

O critério para os níveis de pontuação varia de crédito para crédito, mas geralmente um nível “melhorado” é concedido para desempenhos que levemente excedam os requisitos estipulados. Os níveis “aprimorado” e “superior” indicam uma melhora gradual de desempenho, enquanto “conservador” frequentemente indica o desempenho que alcança impacto zero ou neutro. “Restaurador” é a pontuação mais alta e normalmente é reservado para projetos que produzem, no geral, impacto positivo. O Envision pesa o valor relativo de cada crédito e nível, atribuindo pontos.

2.4.1. Categoria Qualidade de Vida

A primeira categoria Envision, **Qualidade de Vida**, aborda ao impacto potencial do projeto nas comunidades do entorno e no seu bem-estar. Mais especificamente, distingue projetos de infraestrutura que estão alinhados com os objetivos da comunidade, claramente estabelecidos como parte das redes comunitárias existentes, e consideram os benefícios e aspirações de longo prazo da comunidade. Esta categoria é dividida em quatro subcategorias: propósito, bem-estar, comunidade, e grupos vulneráveis (ZOFNASS, 2016c).

A subcategoria **propósito** aborda os ativos funcionais das comunidades, como crescimento, desenvolvimento, criação de empregos, e a melhoria geral da qualidade de vida. Entre os resultados positivos dos projetos de infraestrutura, estão: educação na comunidade, criação de conhecimento, e treinamento de profissionais. Nesta subcategoria, o CTR Rio recebeu a respectiva pontuação de créditos (ZOFNASS, 2016c):

- **Melhorar a qualidade de vida da comunidade:** Conservador;

- **Estimular o desenvolvimento e o crescimento:** Conservador;
- **Desenvolver as capacidades e habilidades locais:** Conservador.

Na subcategoria **bem-estar**, problemas relacionados com conforto, saúde, e mobilidade de comunidades locais e dos trabalhadores do projeto, é abordado. A segurança deveria ser posicionada como uma parte integral do processo de planejamento, e o projeto deveria promover a expansão de modelos alternativos de transporte. Esta subcategoria enquadra seis créditos e a avaliação do CTR Rio mostrou o seguinte desempenho (ZOFNASS, 2016c):

- **Melhorar a saúde pública e a segurança:** conservador;
- **Minimizar o ruído e as vibrações:** aperfeiçoamento;
- **Minimizar a poluição luminosa:** aprimoramento;
- **Melhorar o acesso e a mobilidade da comunidade:** superior;
- **Incentivar modos alternativos de transporte:** aperfeiçoamento;
- **Melhorar a acessibilidade, a segurança e a sinalização da construção:** aprimoramento.

A subcategoria **comunidade** aborda questões que podem melhorar as redondezas. Um projeto de infraestrutura precisa preservar paisagens e características naturais, bem como incorporar o caráter local do ambiente construído no *design*. A avaliação dos respectivos créditos mostra que o CTR Rio tem espaço para melhorar nesta subcategoria (ZOFNASS, 2016c).

- **Preservar os recursos históricos e naturais:** convencional;
- **Preservar as vistas e o caráter local:** superior;
- **Melhorar o espaço público:** superior.

Em parceria com o Banco de Desenvolvimento Interamericano, para o prêmio Infraestrutura 360°, foi adicionada uma subcategoria, **grupos vulneráveis**, que aborda como o projeto contribui para a qualidade de vida de mulheres e grupos diversos. É importante identificar e avaliar as necessidades e restrições de diferentes grupos para que eles possam beneficiar o projeto e se beneficiar das iniciativas do projeto. A CTR Rio não apresentou desempenho nesta subcategoria, não tendo recebido pontuação para cada critério (ZOFNASS, 2016c).

A pontuação total na categoria **qualidade de vida** foi de 87 pontos obtidos em um universo de 194 possíveis, apresentando um aproveitamento de aproximadamente 45%, como descrito no quadro abaixo (ZOFNASS, 2016c):

Tabela 2 - Avaliação Envision na categoria qualidade de vida. Fonte: Criação própria adaptada de Zofnass, 2014

TABELA DE PONTUAÇÃO ENVISION			Aperfeiçoamento	Aprimoramento	Superior	Conservador	Restaurador	Nota	
Qualidade de vida	Propósito	QL 1.1	Melhorar a qualidade de vida da comunidade	2	5	6	20	25	20
		QL 1.2	Estimular o desenvolvimento e o crescimento	1	2	4	13	16	13
		QL 1.3	Desenvolver as capacidades e habilidades locais	1	2	5	12	15	12
	Bem Estar	QL 2.1	Melhorar a saúde pública e a segurança	2	-	-	16		16
		QL 2.2	Minimizar o ruído e as vibrações	1	-	-	8	11	1
		QL 2.3	Minimizar a poluição luminosa	1	2	4	8	11	2
		QL 2.4	Melhorar o acesso e a mobilidade da comunidade	1	4	7	14		7
		QL 2.5	Inventivar modos alternativos de transporte	1	3	6	12	15	1
		QL 2.6	Melhorar a acessibilidade, a segurança e a sinalização da construção	-	3	6	12	15	3
	Comunidade	QL 3.1	Preservar os recursos históricos e naturais	1	-	7	13	16	-
		QL 3.2	Preservar as vistas e o caráter local	1	3	6	11	14	6
		QL 3.3	Melhorar o espaço público	1	3	6	11	13	6
	Grupos Vulneráveis*	QL 4.1	Identificar e considerar as necessidades das minorias	1	2	3	4		-
		QL 4.2	Estimular e promover o empoderamento feminino	1	2	3	4		-
		QL 4.3	Melhorar o acesso e a mobilidade de minorias	1	2	3	4	5	-
	QL 0.0	Créditos inovadores ou que excedem os requerimentos	-	-	-	-	-	N/A	
Pontuação máxima de QL:							194	87	

O CTR Rio tem espaço para melhorar na subcategoria comunidade. O projeto a tenta preservar os recursos históricos e culturais da comunidade implementando um plano de inclusão social.

Na melhoria da qualidade de vida, o projeto identificou e abordou as necessidades da comunidade. O CTR Rio contratou a comunidade e outros *stakeholders* do projeto pelo Plano de Inclusão Social

2.4.2. Categoria Liderança

A categoria **liderança** avalia a equipe do projeto que estabelece comunicação e estratégias de colaboração no início, com o objetivo principal de conquistar uma performance sustentável. O Envision recompensa o envolvimento das partes interessadas, assim como engloba uma visão holística e de longo prazo do ciclo de vida do projeto. A liderança é distribuída em três subcategorias: colaboração, administração e planejamento (ZOFNASS, 2015a).

A subcategoria **colaboração** aborda a importância de incluir entradas de uma grande variedade de partes interessadas com o intuito de compreender sinergias, economias e oportunidades de inovação. Este tipo de colaboração necessita de uma nova liderança e comprometimento da equipe de projeto, bem como de novas formas de processos de gerenciamento. A avaliação desta subcategoria é foi pontuada da seguinte forma (ZOFNASS, 2016c):

- **Proporcionar compromisso e liderança efetivos:** conservador;
- **Estabelecer um sistema de gerenciamento sustentável:** aprimoramento;
- **Promover colaboração e o trabalho em equipe:** aperfeiçoamento;

- **Proporcionar a participação das partes interessadas:** superior.

A subcategoria **administração** abrange como um amplo e compreensivo entendimento de um projeto pode permitir que uma equipe veja e busque sinergias entre sistemas, seja dentro do próprio projeto ou com sistemas de infraestruturas maiores, levando assim a novas formas de gestão de projetos, aumentando a sustentabilidade e a vida útil. Contando com dois créditos, a avaliação desta subcategoria foi positiva (ZOFNASS, 2016c):

- **Buscar oportunidade de sinergia nos subprodutos:** conservador;
- **Melhorar a integração da infraestrutura:** restaurador.

A subcategoria **planejamento** considera uma visão de longo prazo do projeto de modo a aumentar a sua sustentabilidade. Esta abordagem necessita de entendimento das regulações do planejamento a fim de evitar armadilhas e planejar efetivamente o futuro. A avaliação desta subcategoria demonstrou (ZOFNASS, 2016c):

- **Planejar o monitoramento e manutenção a longo prazo:** aprimorado;
- **Abordar regulamentos e políticas conflitantes:** superior;
- **Estender a vida útil:** conservador.

Marcando 78 pontos de 121 possíveis, ou seja, com 64,46% de aproveitamento, o CTR Rio recebeu o prêmio *Infrastructure 360°* na categoria **liderança**, ratificando o expressivo desempenho exposto na Tabela 3 (ZOFNASS, 2016c):

Tabela 3 - Avaliação Envision na categoria liderança. Fonte: Criação própria adaptada de Zofnass, 2014.

TABELA DE PONTUAÇÃO ENVISION				Aperfeiçoamento	Aprimoramento	Superior	Conservador	Restaurador	Nota
LIDERANÇA	COLABORAÇÃO	LD 1.1	Proporcionar compromisso e liderança efetivos	2	4	9	17		17
		LD 1.2	Estabelecer um sistema de gerenciamento sustentável	1	4	7	14		4
		LD 1.3	Promover a colaboração e o trabalho em equipe	1	4	8	15		1
		LD 1.4	Proporcionar a participação das partes interessadas	1	5	9	14		9
	ADMINISTRAÇÃO	LD 2.1	Buscar oportunidade de sinergia nos subprodutos	1	3	6	12	15	12
		LD 2.2	Melhorar a integração da infraestrutura	1	3	7	13	16	16
	PLANEJAMENTO	LD 3.1	Planejar o monitoramento e manutenção a longo prazo	1	3	-	10		3
		LD 3.2	Abordar regulamentos e políticas conflitantes	1	2	4	8		4
		LD 3.3	Estender a vida útil	1	3	6	12		12
		LD 0.0	Créditos inovadores ou que excedem os requerimentos	-	-	-	-	-	N/A
Pontuação máxima de LD:								121	78

2.4.3. Alocação de Recursos

A categoria **alocação de recursos** trata de aspectos como materiais, energia e demanda de água durante as fases de construção e operação do projeto. A quantidade e fonte desses elementos, assim como seu impacto na sustentabilidade em geral são investigados ao longo dos créditos distribuídos pelos subgrupos materiais, energia e água nesta categoria (ZOFNASS, 2015a).

A subcategoria ‘**materiais**’ procura minimizar a quantidade total de materiais primários usados no projeto da infraestrutura. Reduzindo materiais utilizados, conseqüentemente o consumo de recursos naturais também será menor, bem como a energia envolvida no processo de produção e transporte dos tais materiais (ZOFNASS, 2015a).

A avaliação no CTR Rio denota que o projeto tem muito espaço para melhorar, pois um único crédito desta subcategoria recebeu pontuação de um total de sete créditos (ZOFNASS, 2016c):

- **Reduzir energia final incorporada:** convencional;
- **Apoiar práticas de aquisições sustentáveis:** convencional;
- **Usar materiais reciclados:** convencional;
- **Utilizar materiais da região:** convencional;
- **Desviar resíduos dos aterros sanitários:** convencional;
- **Reduzir o trajeto dos materiais escavados:** conservador;
- **Prever desconstrução e reciclagem:** convencional.

A subcategoria **energia** aborda a importância da redução do uso de energia em geral e preferencialmente proveniente de fontes renováveis (ZOFNASS, 2015a).

O CTR Rio não acumulou pontos nesta subcategoria e, apesar de haver estimativas de consumo de energia no EIA, a análise não mostra reduções de consumo de energia geral na operação e manutenção do projeto durante o seu ciclo de vida (ZOFNASS, 2016c).

A subcategoria **água** enfatiza a importância de reduzir o consumo de água, particularmente potável, em meio à mudança climática e aumento da população, o que representa riscos à segurança hídrica no futuro. Monitorar, estudar a disponibilidade de água, bem como procurar recursos hídricos alternativos, são possíveis maneiras de melhorar o desempenho neste conjunto de créditos, que teve como resultado (ZOFNASS, 2016c):

- **Proteger a disponibilidade de água doce:** conservador;
- **Reduzir o consumo de água potável:** aperfeiçoamento;
- **Monitorar os sistemas de água:** aperfeiçoamento.

No geral, a avaliação da categoria **alocação de recursos** não foi satisfatória e denota a necessidade de atenção para suas três subcategorias, mas principalmente em **energia**, que não somou

ponto algum. Com 28 pontos conquistados em um universo de 182, o resultado desta categoria foi de 15,38% de aproveitamento, muito abaixo da avaliação média geral, como representa a tabela 4:

Tabela 4 - Avaliação Envision na categoria alocação de recursos. Fonte: Criação própria adaptada de Zofnass, 2014.

TABELA DE PONTUAÇÃO ENVISION			Aperfeiçoamento	Aprimoramento	Superior	Conservador	Restaurador	Nota
Alocação de Recursos	MATERIAIS	RA 1.1	Reduzir a energia final incorporada	2	6	12	18	-
		RA 1.2	Apoiar práticas de aquisições sustentáveis	2	3	6	9	-
		RA 1.3	Usar materiais reciclados	2	5	11	14	-
		RA 1.4	Utilizar materiais da Região	3	6	9	10	-
		RA 1.5	Desviar resíduos dos aterros sanitários	3	6	8	11	-
		RA 1.6	Reduzir o trajeto dos materiais escavados	2	4	5	6	6
		RA 1.7	Prever desconstrução e reciclagem	1	4	8	12	-
	ENERGIA	RA 2.1	Reduzir o consumo de energia	3	7	12	18	-
		RA 2.2	Usar energias renováveis	4	6	13	16	20
		RA 2.3	Estabelecer e monitorar os sistemas de energia	-	3	-	11	-
	ÁGUA	RA 3.1	Proteger a disponibilidade de água doce	2	4	9	17	21
		RA 3.2	Reduzir o consumo de água potável	4	9	13	17	21
		RA 3.3	Monitorar os sistemas de água	1	3	6	11	-
	QL 0.0	Créditos inovadores ou que excedem os requerimentos	-	-	-	-	-	N/A
							Pontuação máxima de QL:	182
								28

2.4.4. Mundo Natural

A categoria mundo natural foca em como projetos de infraestrutura podem impactar sistemas naturais e promove oportunidades para efeitos de sinergia positiva. O sistema Envision fomenta estratégias de conservação e distingue projetos com foco em melhorar os sistemas naturais circundantes. Esta categoria é dividida em: implantação, terra & água, e biodiversidade (ZOFNASS, 2015a).

A subcategoria **implantação** aborda o fato de que a infraestrutura deveria ser localizada de maneira a evitar impactos diretos e indiretos em áreas ecológicas. Projetos deveriam evitar áreas de alto valor ecossistêmico, ou com altos níveis de biodiversidade. O uso de áreas previamente desenvolvidas ou degradadas é o ideal para prevenir maiores danos ao ambiente, aumentar o valor da área e remediar áreas abandonadas. O resultado da avaliação do CTR Rio nos respectivos créditos denota que o entendimento ao conceito abordado por esta subcategoria está alinhado à prática do planejamento e execução do projeto (ZOFNASS, 2016c):

- **Preservar os habitats nobres:** restaurador;
- **Preservar os pântanos e águas superficiais:** aprimoramento;
- **Preservar terras de alto valor de cultivo:** conservador;
- **Evitar zonas de geologia adversas:** conservador;
- **Preservar funções de várzeas:** superior;
- **Evitar a construção inadequada de encostas íngremes:** conservador;
- **Preservar *greenfields*:** convencional.

A subcategoria **terra & água** exige mínimos impactos nos ciclos hídricos e de nutrientes existentes nas adjacências, avaliando se o projeto está tomando cuidado especial para evitar a introdução de contaminantes por carreamento de água da chuva ou pelo uso de pesticidas e fertilizantes. Esta, dividida em três créditos, obteve o seguinte resultado (ZOFNASS, 2016c):

- **Gerenciar águas pluviais:** superior;
- **Reduzir o impacto de pesticidas e fertilizantes:** superior;
- **Prevenir a contaminação das águas superficiais e subterrâneas:** restaurador.

A subcategoria **biodiversidade** foca em como os projetos de infraestrutura devem minimizar impactos negativos a espécies naturais e seus *habitats*, tanto na área quanto nas proximidades. É necessária atenção especial para evitar a introdução e proliferação de espécies exóticas, bem como de fragmentação de *habitats*, dificultando o deslocamento de animais. Esta subcategoria obteve pontuação máxima em todos os créditos, resultando em um aproveitamento de 100% (ZOFNASS, 2016c).

Apesar do prêmio na categoria liderança, o melhor desempenho da avaliação de sustentabilidade do Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa foi nesta categoria, que conquistou 148 pontos em um universo de 203, ou seja, um coeficiente de rendimento de 72,90%, como ilustra a tabela 5:

Tabela 5 - Avaliação Envision na categoria mundo natural. Fonte: Criação própria adaptada de Zofnass, 2014.

TABELA DE PONTUAÇÃO ENVISION			Aperfeiçoamento	Aprimoramento	Superior	Conservador	Restaurador	Nota	
Mundo Natural	IMPLANTAÇÃO	NW 1.1	Preservar os habitats nobres	-	-	9	14	18	16
		NW 1.2	Preservar os pântanos e águas superficiais	1	4	9	14	18	4
		NW 1.3	Preservar terras de alto valor de cultivo	-	-	6	12	15	12
		NW 1.4	Evitar zonas de geologia adversa	1	2	3	5		5
		NW 1.5	Preservar funções de várzeas	2	5	8	14		8
		NW 1.6	Evitar a construção inadequada em encostas íngremes	1	-	4	6		6
		NW 1.7	Preservar Greenfields	3	6	10	15	23	0
	TERRA & ÁGUA	NW 2.1	Gerenciar águas pluviais	-	4	9	17	21	9
		NW 2.2	Reduzir o impacto de pesticidas e fertilizantes	1	2	5	9		5
		NW 2.3	Prevenir a contaminação das águas superficiais e subterrâneas	1	4	9	14	18	18
	BIODIVERSIDADE	NW 3.1	Preservar a biodiversidade das espécies	2	-	-	13	16	16
		NW 3.2	Controlar espécies invasoras	-	-	5	9	11	11
		NW 3.3	Restaurar solos alterados	-	-	-	8	10	10
		NW 3.4	Manter a função dos pântanos e das águas superficiais	3	6	9	15	19	19
		NW 0.0	Créditos inovadores ou que excedem os requerimentos	-	-	-	-	-	9
Pontuação máxima de QL:								203	148

2.4.5. Clima e Risco

O sistema Envision de avaliação de sustentabilidade visa promover o desenvolvimento em estruturas que são expostas à distúrbios climáticos a longo prazo. A categoria clima e risco foca em evitar contribuições diretas e indiretas de emissões de gases de efeito estufa, bem como promove a

mitigação e ações de adaptação para assegurar em curto e longo prazo a resiliência a riscos. Esta categoria é dividida em duas subcategorias: emissões e resiliência.

A subcategoria **emissões** visa entender e reduzir emissões nocivas, tanto de gases de efeito estufa, como de outros poluentes, durante todos os estágios de ciclo de vida do projeto. Reduzir estas emissões minimiza a curto e longo prazo o risco ao ciclo de vida do projeto. Apenas dois créditos compõem esta subcategoria (ZOFNASS, 2016c):

- **Reduzir a emissão de gases de efeito estufa:** superior;
- **Reduzir a emissão de poluentes atmosféricos:** convencional.

A subcategoria **resiliência** aborda a habilidade de resistir a riscos de curto prazo, como inundações ou incêndios, e de se adaptar a mudança de condições no longo prazo, como mudanças climáticas, aumento do nível do mar, e mudanças nos padrões do clima. Aumentar a adaptabilidade e diminuir a vulnerabilidade garantem uma vida útil mais longa e que o projeto seja capaz de atender as necessidades futuras da comunidade. A subcategoria é composta por cinco créditos, avaliados da seguinte forma (ZOFNASS, 2016c):

- **Avaliar ameaças climáticas:** convencional;
- **Evitar riscos e vulnerabilidades:** convencional;
- **Preparar para adaptação a longo prazo:** convencional;
- **Preparar para riscos a curto prazo:** aperfeiçoamento;
- **Gerenciar os efeitos de ilhas de calor:** convencional.

A categoria clima e risco obteve o pior desempenho na avaliação de sustentabilidade do Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa. Foram atribuídos apenas 16 pontos entre 122 possíveis, o que reflete um rendimento de 13,11%, como denota a tabela 6:

Tabela 6 - Avaliação Envision na categoria clima e risco. Fonte: Criação própria adaptada de Zofnass, 2014.

TABELA DE PONTUAÇÃO ENVISION				Aperfeiçoamento	Aprimoramento	Superior	Conservador	Restaurador	Nota
Clima e Risco	EMISSÕES	CR 1.1	Reduzir a emissão de gases de efeito estufa	4	7	13	18	25	13
		CR 1.2	Reduzir a emissão de poluentes atmosféricos	2	6	-	12	15	-
	RESILIÊNCIA	CR 2.1	Avaliar as ameaças climáticas	-	-	-	15	-	-
		CR 2.2	Evitar riscos e vulnerabilidades	2	6	12	16	20	-
		CR 2.3	Preparar para adaptação a longo prazo	-	-	-	16	20	-
		CR 2.4	Preparar para riscos a curto prazo	3	-	10	17	21	3
		CR 2.5	Gerenciar os efeitos de ilhas de calor	1	2	4	6	-	-
	CR 0.0	Créditos inovadores ou que excedem os requerimentos	-	-	-	-	-	-	
Pontuação máxima de LD:								122	16

2.5. Avaliação da Qualidade Ambiental da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

O cenário da disposição final ambientalmente adequada de resíduos sólidos urbanos no Brasil apresenta particularidades e ainda tem que se fazer presente em muitos lugares do país, por isso a Política Nacional de Resíduos Sólidos apresenta incentivos, como a solução consorciada, a fim de viabilizar a construção e operação de um aterro sanitário por municípios consorciados e geograficamente próximos (NASCIMENTO; QUINTO JR.; GOMES FILHO, 2018).

A metodologia de Avaliação da Qualidade Ambiental da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (AQUAGIR) é destinada a avaliação de sistemas integrados de gestão de resíduos sólidos urbanos, não sendo apropriada à gestão de resíduos industriais, de saúde, entre outros. Seu objetivo é avaliar a qualidade ambiental do sistema de GRSU de forma holística e de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, bem como com o contexto brasileiro.

O AQUAGIR é composto por uma família de indicadores que abordam desde cumprimentos legais, ações socioambientais, até uso de tecnologias e resultados que permitem denotar o grau de qualidade ambiental gerado pela operação de um sistema de GRSU.

A viabilidade econômica do sistema é levada em consideração pelo AQUAGIR por ser um fator determinante para o sucesso do projeto. Visto que em um país continental, dividido em 5.570 municípios, além do distrito federal, com mais de 8,5 milhões de quilômetros quadrados, e com aproximadamente 207,7 milhões de pessoas, a densidade demográfica é inconstante e há muitos municípios de pequeno porte, com PIB proporcionalmente menor que outras metrópoles industrializadas do país (BANCO MUNDIAL, 2016).

Aproximadamente 95,8% dos municípios brasileiros são de pequeno porte (até 100 mil habitantes) (IBGE, 2000), e, segundo o TCU (2011), o custo por habitante da implementação e operação de um aterro sanitário diminui em curva de ordem logarítmica à medida que a população beneficiada aumenta, alcançando normalização aos 325 mil habitantes atendidos, um número muito maior do que a média populacional por municípios brasileiros, portanto o incentivo à solução consorciada se faz essencial à viabilidade da implementação de soluções ambientalmente adequadas em todo o território nacional (NASCIMENTO; QUINTO JR.; GOMES FILHO, 2018).

Fatores como o uso de tecnologias que diminuam a quantidade de resíduos que chegam aos aterros, como centrais de triagem, coleta seletiva, usinas de reciclagem, entre outros, também são avaliados e representam grande parte do universo de pontos a serem alcançados, pois a medida que

resíduos são reutilizados ou reciclados, por exemplo, além do ganho no ciclo de vida desses materiais, a vida útil do aterro é alongada, proporcionando menor uso de recursos naturais para efetuar a disposição final ambientalmente adequada, além da economia gerada no processo, o que também ajuda a viabilizar o projeto (NASCIMENTO; QUINTO JR.,; GOMES FILHO, 2018).

A relação entre o gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos e as comunidades locais é levada em consideração e a pontuação é determinada em torno de indicadores como a abrangência de programas de educação ambiental e programas de parceria ou incentivo com associações de catadores.

A avaliação AQUAGIR é feita de acordo com o número de habitantes atendidos pelo GRSU. Para município (ou projeto) com mais de 325 mil habitantes, que é o caso do Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa, os pesos de alguns indicadores mudam de acordo com a relevância do quesito.

O primeiro indicador avaliado questiona se o projeto “**dispõe de aterro sanitário ou incinerador**” e se o sistema conta com a tecnologia de **biorreator** para o aproveitamento e produção de biogás. O caso do CTR Rio não contempla um biorreator em pleno funcionamento, contudo faz uso de flares para a queima do metano gerado pela decomposição anaeróbia, ação que diminui em até 25 avos a emissão de gases de efeito estufa, portanto a sua pontuação foi de 100% de aproveitamento neste indicador.

O indicador “**administra um aterro sanitário**” foi pensado para a avaliação de uma gestão municipal e, neste caso, a avaliação do CTR Rio corresponde ao consórcio intermunicipal em si, portanto 100% de aproveitamento foi alcançado neste quesito.

A necessidade de **possuir um Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos** vem da Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) e o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2012) estipula prazo para que o documento municipal seja criado. Entretanto este prazo já foi prorrogado duas vezes e atualmente é até 2022. Apesar disso, é de suma importância um PMGRS no gerenciamento integrado em si, pois é através do planejamento que o gerenciamento poderá ser executado da melhor forma possível.

Uma vez que o CTR Rio foi concebido inicialmente para a disposição exclusiva de resíduos do município do Rio de Janeiro e depois passou a receber resíduos dos municípios de Itaguaí e Seropédica, o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Rio de Janeiro trata de toda a operação no projeto, por isso este indicador foi avaliado com 100% de aproveitamento.

A **administração de um incinerador** secundário, além de diminuir a quantidade de resíduo que vai para o aterro, tem potencial energético e pode ser usado para o tratamento de eventuais resíduos perigosos. O CTR Rio não apresentou registro documental de que há a operação de incinerador em qualquer parte do processo, portanto a avaliação deste indicador não pontuou, resultando em 0% de aproveitamento.

Apresentar uma **solução consorciada**, mesmo para um município com mais de 325 mil habitantes pode ser importante, principalmente se os outros consorciados tiverem menor número de habitantes, como é o caso do município do Rio de Janeiro em detrimento aos municípios de Itaguaí e Seropédica. Apesar do consórcio intermunicipal não estar formalizado, o mesmo é previsto pelo PMGIRS do Rio, por isso na avaliação do projeto CTR Rio, este indicador foi avaliado no aproveitamento de 100%. A formalização do consórcio intermunicipal, entretanto, é importante para que o planejamento e controle da gestão integrada sejam feitos de maneira adequada, sem que a vida útil do aterro seja comprometida ou que haja oneração elevada ou desproporcional a uma das partes consorciadas.

A **abrangência da coleta regular** é de extrema importância para o bom funcionamento da gestão integrada, além de se tratar de uma questão de saúde pública e ambiental, pois quando a coleta regular não abrange determinada região, esta comunidade acaba utilizando de meios de disposição final ambientalmente inadequada, tais como a queima de resíduos, acúmulo em terrenos baldios, entre outros. O CTR Rio apresenta a logística utilizada (tanto em seu site, como no PMGIRS do Rio) para coleta regular nos 3 municípios beneficiados pelo serviço, dividindo em subáreas que contemplam todo o território urbano destes municípios, portanto obteve a nota máxima neste indicador.

O envolvimento da população é de vital importância para o sucesso da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos, pois são os consumidores que fazem o descarte de resíduos e participam de uma das fases mais importantes do ciclo de vida dos produtos. **Programas de educação ambiental** que promovem a não geração, redução, reutilização e reciclagem junto à população, portanto, podem permitir, a longo prazo, mudanças estruturais no gerenciamento de resíduos, como por exemplo um aumento do percentual de resíduos reciclados ou reutilizados, que resulta na diminuição da disposição de resíduos no aterro sanitário.

O município do Rio de Janeiro, responsável pela grande maioria dos resíduos dispostos no CTR Rio, criou o Programa Guardiões dos Rios, responsável pela retirada junto à população de mais de 11.000 m³ de resíduos dos corpos hídricos do município. Em parceria com a Comlurb, também criou

o Centro de Educação Ambiental – CEA e o Programa Municipal de Educação Ambiental – ProMEA-RIO (RIO DE JANEIRO, 2015).

Localizado no município de Seropédica, o CTR Rio criou o Centro de Educação Ambiental, para interação com escolas e disponibilização de informações à comunidade. Além deste, o CTR Rio também criou o Plano de Inclusão Social, o Plano de Educação Ambiental e o Plano de Inclusão Social para Comunidade de Catadores, na tentativa de compensar o impacto socioeconômico causado pelo fechamento do lixão Gramacho (ZOFNASS, 2016c).

A avaliação do indicador **abrangência de programas de educação ambiental** no CTR Rio, apesar do número de programas, alcançou 0% de aproveitamento, pois não há registro do alcance efetivo desses programas em nenhum dos documentos analisados.

A prática de **coleta seletiva** na gestão integrada de resíduos sólidos pode ser vista como um indicador do comprometimento do projeto com a eficiência na gestão em si, pois é ferramenta determinante para o prolongamento da vida útil tanto do aterro sanitário, quanto do ciclo de vida de tantos produtos extraídos do ambiente. O CTR Rio não recebe resíduos provenientes de coleta seletiva. Apesar de haver um plano de coleta seletiva para os municípios de Seropédica e Itaguaí a ser implementado e de o município do Rio de Janeiro operar a coleta seletiva nas áreas de planejamento 2 e 4, os resíduos oriundos de coleta seletiva representam apenas 0,5% do total, por isso a avaliação deste indicador mostra que há muito a melhorar neste quesito, portanto, o aproveitamento da pontuação alcançada foi de 0% do total. A pesquisa Ciclossoft 2016 revela que apenas 4 municípios no Brasil beneficiam 100% da população com coleta seletiva. São eles Curitiba, Florianópolis, Itabira (MG) e Porto Alegre. Em posição de destaque nacional também se encontram os municípios de Santos (com 99,93% da população atendida), Londrina (97.4%), e São José dos Campos, com 95% da população com acesso à coleta seletiva (CEMPRE, 2016).

No indicador “**programas de parceria ou incentivo com associação de catadores**”, o CTR Rio implementou o Plano de Inclusão Social para a Comunidade de Catadores a fim de compensar o impacto socioambiental causado pelo fechamento do Lixão Gramacho. O Programa de Coleta Seletiva Solidária da Prefeitura do Rio de Janeiro destina materiais recicláveis a cooperativas e associações de catadores. A comunidade de catadores também participa de várias reuniões e encontros onde são discutidos os diferentes subprojetos do programa, como o de centrais de triagem, de equipamentos, caminhões, entre outros (RIO DE JANEIRO, 2015). Neste quesito, a pontuação alcançada pelo projeto foi de 100%, pois apesar de não haver registro de programa de parceria ou incentivo com associação

de catadores nos municípios de Seropédica e Itaguaí nos documentos analisados, os programas existentes são operados no município do Rio de Janeiro e em Seropédica, por onde passam todos os resíduos do projeto.

São coletados aproximadamente 10.000 toneladas de resíduos por dia no CTR Rio e apesar de sua logística de operação contar com sete estações de transbordo, apenas duas centrais de triagem, uma em Irajá, outra em Bangu, estão em atividade no município do Rio de Janeiro. Na avaliação do indicador “**central de triagem**”, o projeto conquistou 50% do total de pontos, porque apesar de possuir centrais de triagem, estas não estão adequadas a real demanda que a geração de resíduos na região necessita.

O indicador “**quantidade reciclada**” não pontuou nesta avaliação, pois apenas 0,5% dos resíduos coletados vão para a reciclagem.

A produção de compostos orgânicos a partir dos resíduos úmidos traz grandes benefícios ao ambiente. A vida útil do aterro pode ser prolongada, o recalque diferencial no aterro sanitário tende a ser menor, a produção de gás metano e de chorume tendem a ser menores e os compostos produzidos podem ser utilizados como fertilizantes naturais. Segundo o PMGIRS do Rio de Janeiro, a COMLURB produz na Usina do Caju o composto orgânico FERTILURB a partir dos resíduos orgânicos que passam pela ETR Caju. A figura 15 mostra as leiras de composto curado e a unidade de peneiramento da Usina do Caju:

Figura 15 - Leiras produzidas pelo programa FERTILURB na ETR Caju | Fonte: Rio de Janeiro, 2015.



O **programa de compostagem** do projeto não abrange de forma efetiva o volume de produção de resíduos envolvido em toda a gestão integrada do CTR Rio, pois aproveita somente os resíduos que passam pela ETR Caju, por isso a pontuação alcançada nesta avaliação foi de 50% do total de pontos disponíveis. A presença de uma usina de compostagem para cada ETR, bem como uma no CTR Rio para tratamento dos resíduos orgânicos que não passam por ETR seria o ideal, pois desta maneira todos

os resíduos coletados poderiam ser desviados do aterro sanitário. Seria considerado satisfatório um programa de compostagem que abrangesse pelo menos 75% dos resíduos coletados, fator que resultaria numa produção consistente de composto orgânico e na diminuição considerável de resíduos úmidos destinados no CTR Rio.

A **fiscalização e efetividade da logística reversa** empregada no sistema de gestão ajuda a prevenir um número maior do que o previsto de resíduos perigosos dispostos no aterro sanitário e se faz importante para minimizar riscos de contaminação a longo prazo e para garantir um ciclo de vida responsável do produto. O PMGIRS do Rio de Janeiro cria medidas de fiscalização efetivas para garantir o cumprimento da lei e por isso conquistou 100% da pontuação proposta para este indicador.

Apesar de a coleta de resíduos de construção civil (RCC) ser de responsabilidade do gerador, terrenos baldios acabam recebendo este tipo de resíduo indevidamente. A **administração de usina de RCC** pode trazer ganhos econômicos com o uso do material agregado em obras públicas e abaixando o custo do tratamento do RCC produzido pelo próprio poder Público.

O município do Rio de Janeiro conta com o CTR Gericinó para o tratamento de RCC municipal e de pequenas obras residenciais (desde que os resíduos estejam acondicionados em sacos plásticos de 20 litros), por isso a avaliação deste indicador contemplou o total de pontos do último quesito do AQUAGIR.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Método

Este trabalho foi desenvolvido através de pesquisa bibliográfica e análise sistêmica entorno das práticas de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos utilizadas pelo Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa e pelas prefeituras municipais do Rio de Janeiro e de Seropédica.

A avaliação da qualidade ambiental foi feita através de quatorze indicadores definidos pela Avaliação de Qualidade Ambiental da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, levando em consideração as tecnologias e práticas utilizadas e suas estimativas proporcionais em relação à respectiva influência na efetividade da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos do CTR Rio.

A análise da certificação de sustentabilidade Envision aplicada no Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa foi feita através dos resultados apresentados nos sessenta créditos avaliados,

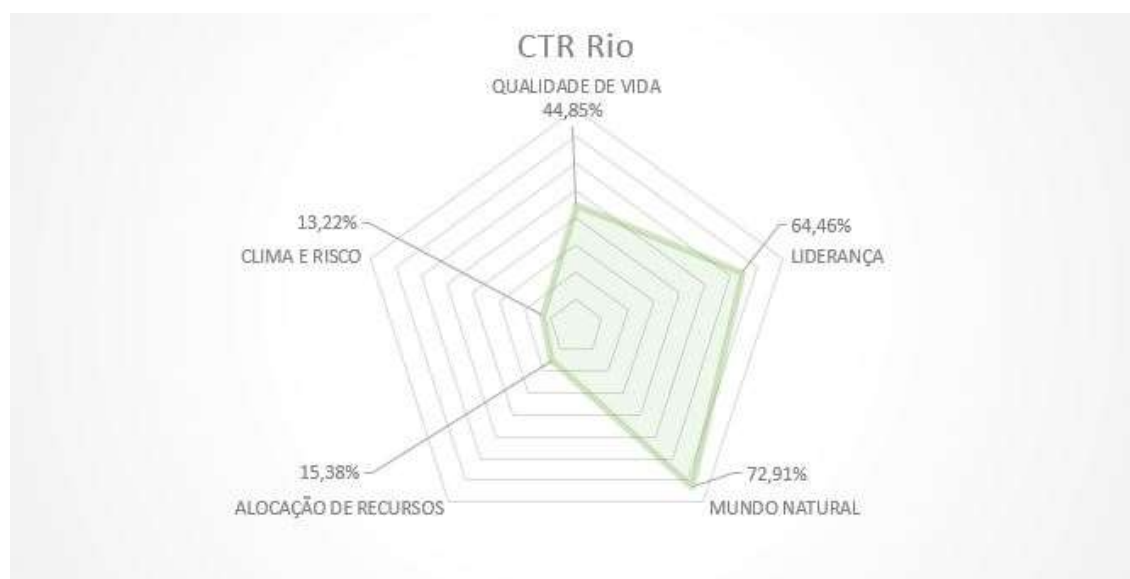
separados por cinco categorias, que expressam uma tendência entre os projetos brasileiros já avaliados pela certificação Envision.

A comparação entre os resultados da avaliação AQUAGIR e da certificação Envision foi feita de modo a denotar os pontos fortes e fracos de cada uma das avaliações no contexto aplicado. O fato de a certificação Envision não ter sido desenvolvida para ser aplicada em países da América do Sul em contraponto com a AQUAGIR, que teve seus 14 indicadores avaliando um sistema de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos pela primeira vez desde o seu desenvolvimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa obteve um desempenho muito satisfatório nas duas avaliações. Na avaliação Envision, o desempenho do CTR Rio na avaliação Envision foi de 43%, correspondendo a um total de 357 créditos conquistados sob um universo de 822 créditos disponíveis e o desempenho em cada categoria está ilustrado na Figura 16:

Figura 16 - Gráfico representando o desempenho do CTR Rio na avaliação Envision | Fonte: Criação própria adaptado de Zofnass, 2014.



Na categoria **qualidade de vida** o CTR Rio não pontuou no crédito '**preservar os recursos históricos naturais**' e nos créditos da subcategoria '**grupos vulneráveis**' criada em parceria com o BID para a premiação Infraestrutura 360°. Esta subcategoria (grupos vulneráveis) foi implementada nas avaliações da premiação Infraestrutura 360° pelo programa Zofnass em parceria com o Banco Interamericano de Desenvolvimento e dentre todos os projetos brasileiros, nenhum acumulou pontuação nesta subcategoria.

Os sete projetos (de um total de 12) sul-americanos avaliados em 2016 pela premiação Infra 360 que não pontuaram na subcategoria grupos vulneráveis foram:

- O projeto Termoverde Caieiras, que se trata de uma planta de usina termelétrica de biogás situada no Centro de Tratamento de Resíduos Caieiras, no estado de São Paulo;
- O projeto Tegram – Terminal de Grãos do Maranhão, que se trata de um terminal portuário de grãos localizado no município de São Luís, no estado do Maranhão;
- O projeto CTR Rio, objeto deste artigo, localizado no município de Seropédica, no estado do Rio de Janeiro;
- O projeto Central Buen Ayre, que se trata de uma planta de usina termelétrica de biogás proveniente de aterro sanitário, localizada em Buenos Aires, na Argentina;
- O projeto de usina eólica Ucuquer, fases I e II, localizada no Chile;
- O projeto de usina de dessalinização Point Fortin, localizada em Trinidad e Tobago;
- Planta fotovoltaica Choluteca I e II, localizada na região de Choluteca, Honduras.

A categoria vencedora do prêmio ‘Infra 360’, **liderança**, pontuou em todos os créditos, enquanto a categoria com o melhor aproveitamento, **mundo natural**, deixou de pontuar apenas no crédito ‘**preservar greenfields**’, que aborda a necessidade e a importância da proteção às áreas de preservação.

Em contraponto ao alto desempenho dessas categorias, **alocação de recursos** e **clima e risco** alcançaram apenas 15,38% e 13,22% dos pontos disponíveis respectivamente. É recomendável que seja feita a comparação com a avaliação Envision de outros projetos brasileiros que concorreram ao prêmio Infraestrutura 360°.

Na categoria **alocação de recursos**, o projeto brasileiro de uma planta termelétrica de biogás, a Termoverde Caieiras, localizada no município de Caieiras, no estado de São Paulo, alcançou 79 pontos dos mesmos 182 disponíveis, ou seja, um desempenho de 43,4% do total, e para conquistar essa marca, sua avaliação só deixou de pontuar em dois créditos: ‘**reduzir a energia final incorporada**’ e ‘**reduzir o consumo de água potável**’. Na categoria **clima e risco**, o projeto recebeu apenas 25 pontos de 122 disponíveis (20,5% de desempenho), mas apesar da pontuação maior do que a registrada na avaliação do CTR Rio, o projeto da termelétrica pontuou em apenas um crédito. (ZOFNASS, 2016a).

O projeto do terminal portuário Tegram, localizado no município de São Luís, no estado do Maranhão, recebeu apenas 18 pontos na categoria **alocação de recursos** e somente 1 ponto na

categoria **clima e risco**, apresentando o desempenho de 9,9% e 0,8% respectivamente (ZOFNASS, 2016b).

Localizado na área do ABC Paulista, no estado de São Paulo, o Aquapolo Ambiental trata-se de um projeto de tratamento de água para reuso que participou da premiação Infraestrutura 360° em 2015 e recebeu 70 pontos na categoria **alocação de recursos**, mas pontuou apenas 12 em **clima e risco**, alcançando o desempenho de 38,46% e 09,83% respectivamente (ZOFNASS, 2015b).

Também participante da premiação de 2015, o projeto da Hidrelétrica Santo Antônio, localizada no rio madeira, na área da Amazônia legal, recebeu 53 pontos em **alocação de recursos** e 46 em **clima e tempo**, refletindo no respectivo desempenho de 29,12% e 37,70% (ZOFNASS, 2015c).

O projeto de linhas de alta tensão do sistema Tucuruí-Macapá-Manaus (LAT T-M-M), localizado na Amazônia brasileira participou da premiação em 2014 e teve como resultado 27 pontos na categoria **alocação de recursos**, ou seja, 14,83% de desempenho, e 40 pontos de 122 disponíveis na categoria **clima e tempo**, que representam 32,78% do total (ZOFNASS, 2014).

A tabela 7 denota que a avaliação Envision de seis projetos brasileiros confirmam uma tendência a resultados de desempenho abaixo da média nas categorias **alocação de recursos** e **clima e risco**:

Tabela 7 - Desempenho de projetos brasileiros nas categorias alocação de recursos, e clima e risco em avaliações Envision. Fonte: Autoria própria.

PROJETO	DESEMPENHO ENVISION		
	Alocação de Recursos	Clima e Risco	Geral
CTR Rio	15,38%	13,22%	43,43%
Termoverde	43,40%	20,50%	40,72%
Tegram	9,90%	0,80%	19,43%
Aquapolo	38,46%	9,83%	44,58%
Hid. Sto Antonio	29,12%	37,70%	42,22%
LAT T-M-M	14,83%	32,78%	30,28%
MÉDIA	25,18%	19,14%	36,78%

Observamos um padrão de baixa pontuação na categoria **alocação de recursos** em diversas avaliações de projetos de infraestrutura brasileiros provavelmente em função de que o Brasil, um país continental. (esse tipo de peculiaridade territorial propicia...) detentor das maiores reservas hídricas mundiais, com abundantes fontes de recursos naturais e energéticos e, portanto, a população não desenvolveu o nível de preocupação que as questões levantadas pela categoria **alocação de recursos** demanda.

As condições geográficas as quais o Brasil se encontra podem explicar um padrão de baixa pontuação na categoria **clima e risco** por parte dos projetos brasileiros. A baixa incidência de grandes abalos sísmicos, de furacões e tornados, tsunamis, e da maioria dos desastres naturais que acontecem ao redor do mundo, não incentivou o desenvolvimento da preocupação que o sistema de avaliação Envision cobra na categoria. (Os desastres naturais existentes no Brasil são enchentes) No Brasil os principais tipos de desastres naturais as enchentes são, mas esta pode ser evitada já na escolha da locação do projeto em si.

O resultado da avaliação AQUAGIR no projeto CTR Rio obteve a nota 6,8 de um total de 10 pontos possíveis, como de acordo com o somatório:

- **Dispõe de aterro sanitário ou incinerador:** nota 1,6;
- **Administra um aterro sanitário:** nota 1,0;
- **Possui um Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos:** nota 0,5;
- **Administra um incinerador:** nota 0,0;
- **Adota solução consorciada:** nota 0,8;
- **Abrangência da coleta regular:** nota 0,8;
- **Programas de educação ambiental:** nota 0,0;
- **Abrangência da coleta seletiva:** nota 0,0;
- **Programas de parceria ou incentivo com associação de catadores:** nota 0,6;
- **Abrangência da central de triagem:** nota 0,3;
- **Quantidade reciclada:** nota 0,0;
- **Abrangência de programa de compostagem:** nota 0,3;
- **Fiscalização e efetividade da logística reversa:** nota 0,6;
- **Administra usina de RCC:** nota 0,3.

O resultado denota alto grau de envolvimento e preocupação com a eficiência e qualidade ambiental do projeto operado pelo CTR Rio nos municípios do Rio de Janeiro, Itaguaí e Seropédica.

A qualidade ambiental do projeto tem como resultado maior eficiência nos processos envolvidos, melhor custo benefício, atendimento das necessidades do cidadão em relação ao projeto, e ganhos ambientais e de qualidade de vida. A viabilidade econômica do projeto de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos é primordial para o sucesso do projeto, pois garante sua manutenção.

O sistema Envision de avaliação de infraestruturas é uma ferramenta com grande potencial, cujos créditos se baseiam em uma realidade ambiental e de aspectos legais dos Estados Unidos da

América e do Canadá, e que pode ser aplicado em países com realidades distintas, como é o caso do Brasil (CORREIA SILVA; QUINTO JR., 2018).

Limitações financeiras e a viabilidade econômica de cada parte do projeto, entretanto, são questões importantes e que devem ser levadas em consideração, em especial quando fazem parte de saneamento básico em um país tão grande como o Brasil.

Inserido na realidade brasileira, onde a grande maioria dos municípios são de pequeno porte, mas com grandes extensões territoriais, vem a ser mais importante que um projeto viável para atender as necessidades básicas da população seja implementado, do que seja desenvolvido um projeto com alto grau de complexidade, que aborde as diversas categorias do sistema Envision, mas que não tenha uma capacidade de manutenção por falta de viabilidade econômica.

Por se tratar de um sistema genérico de avaliação de sustentabilidade para infraestruturas, o Envision acaba por negligenciar algumas particularidades essenciais do projeto que podem fazer diferença no resultado final, tais como a viabilidade econômica de implementação e operação do projeto; fator ligado diretamente à sustentabilidade da infraestrutura.

A diferença entre as realidades econômicas do Brasil e dos EUA, país onde foi desenvolvido o Envision, pode ter influência com a particularidade do sistema de avaliação. O PIB per capita norte-americano⁷ é, aproximadamente, 6,4 vezes maior do que o brasileiro⁸ (BANCO MUNDIAL, 2017a). Enquanto o Brasil é dividido em 5.570 municípios e população de aproximadamente 207 milhões, os EUA são divididos em 3.144 condados⁹ e tem população aproximada de 323 milhões de pessoas (BANCO MUNDIAL, 2017b). Esses fatores resultam em uma densidade demográfica urbana maior e com mais recursos arrecadados pelo poder público e, portanto, **maior margem de viabilidade econômica** média para recorrer a soluções isoladas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, que segundo o TCU (2011), têm seus custos (R\$/população atendida) normalizados em 325 mil habitantes.

O sistema de avaliação AQUAGIR não aborda algumas questões ‘macro’ de sustentabilidade que são abordadas pela avaliação do sistema Envision, tais como preservação do mundo natural, desfazimento do projeto e alocação de recursos naturais. O foco na qualidade ambiental do sistema em

⁷ O PIB per capita dos Estados Unidos da América é de US\$ 56.850 dólares em 2016 segundo o Banco Mundial. Disponível em: <https://data.worldbank.org/country/united-states?view=chart>.

⁸ O PIB per capita do Brasil é de US\$ 8.840 dólares em 2016 segundo o Banco Mundial. Disponível em: <https://data.worldbank.org/country/brazil?view=chart>.

⁹ Cada um dos estados nos Estados Unidos está dividido administrativamente em territórios denominados condados (*county* em inglês), salvo algumas exceções como Alasca e Louisiana. Os condados estadunidenses podem ser considerados equivalentes aos municípios brasileiros.

reflexo à comunidade beneficiada pelo projeto traz uma abordagem que pode ser complementada pelo sistema de avaliação Envision.

5. CONCLUSÃO

O Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa comprovou alto nível de preocupação com sustentabilidade e qualidade ambiental. As categorias, subcategorias e créditos avaliados pelo sistema Envision compõem uma avaliação holística e abordam vários quesitos exógenos ao aterro, mas com grande importância para sua sustentabilidade, como a qualidade de vida das comunidades adjacentes e a proteção da biodiversidade. Não levar a viabilidade econômica em consideração, contudo, é um ponto fraco do sistema de avaliação de infraestruturas sustentáveis Envision.

A Avaliação da Qualidade Ambiental da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos envolve tecnologias de tratamento, questões socioambientais e econômicas, e coloca em pauta a importância da participação de todas as partes envolvidas no ciclo de vida do produto para uma efetiva gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos, contudo é pertinente comparar a avaliação do CTR Rio com a de outros aterros futuramente, para ratificar a adequação dos indicadores de qualidade ambiental à realidade brasileira de modo geral.

Por fim, como proposta para trabalhos futuros, podem ser realizadas: a aplicação da Avaliação de Qualidade Ambiental de Gestão de Resíduos Sólidos em outros sistemas de gerenciamento integrados de aterros sanitários para obtenção de uma base de comparação; propostas de aperfeiçoamento do AQUAGIR; uma comparação entre infraestruturas de aterros sanitários avaliadas pelo Envision por país onde o projeto foi implementado; a complementação de indicadores com a introdução de um estudo sobre a logística dentro do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **ABNT NBR 8.419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**, 1992. Disponível em:

<<https://www.observatorioderesiduos.unb.br/painel/assets/uploads/files/996de-nbr-8.419-nb-843-apresentacao-de-projetos-de-aterros-sanitarios-rsu.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2017

ABNT. **ABNT NBR 10.004 - Resíduos Sólidos - Classificação**, 2004a. Disponível em:

<<http://analiticaqmc.paginas.ufsc.br/files/2013/07/residuos-nbr10004.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2017

ABNT. **ABNT NBR 10.007 - Amostragem dos resíduos sólidos**, 2004b.

ABNT. **ABNT NBR 10.006 - Procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**, 2004c.

ABNT. **ABNT NBR 10.005 - Procedimentos para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**, 2004d.

ABNT. **ABNT NBR 15.116 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos**, 2004e.

ABNT. **ABNT NBR 15.115 - Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - execução de camadas de pavimentação - procedimentos**, 2004f.

ABRECON. **Abrecon**, 2017. Disponível em: <<https://abrecon.org.br/associados/>>. Acesso em: 27 jul. 2017

BANCO MUNDIAL. **Population, total | Data**. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>>. Acesso em: 31 jul. 2017.

BANCO MUNDIAL. **United States | Data**. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/country/united-states?view=chart>>. Acesso em: 18 jun. 2018a.

BANCO MUNDIAL. **Brasil | Data**. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/country/BR?locale=pt>>. Acesso em: 18 jun. 2018b.

BARREIRA, L. P. **Avaliação das Usinas de Compostagem do Estado de São Paulo em Função da Qualidade dos Compostos e Processos de Produção**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2005.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia ambiental**. São Paulo, SP, Brasil: Oficina de Textos, 2008.

BRANDÃO, A. DE O.; SILVA, G. N. DA. Impactos econômicos da implantação de aterros sanitários individuais nos municípios. **Impactos econômicos da implantação de aterros sanitários individuais nos municípios**, v. 3, 2011.

BRASIL. **Lei nº 12.305**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 3 out. 2016.

BRASIL. **Plano Nacional de resíduos Sólidos: Versão após audiências e consulta pública para conselhos nacionais** Ministério do Meio Ambiente, , 2012.

BRASIL, M. M. A. **Compostagem - Site do Ministério do Meio Ambiente**, 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/compostagem.pdf>. Acesso em: 25 maio. 2017

BUSWELL, A. M.; MUELLER, E. F. **Mechanisms of Methane Fermentation**. In: **ENGINEERING CHEMISTRY**. [s.l: s.n.]. v. 44

CEMPRE. **Manual de gerenciamento integrado do lixo municipal**. 1ª ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: [s.n.].

CEMPRE. **Ciclosoft - 2016 | CEMPRE**. Disponível em: <<http://cempre.org.br/ciclosoft/id/>>. Acesso em: 11 out. 2016.

CETESB. **Resíduos Sólidos Industriais**. 2ª ed. [s.l: s.n.].

CONAMA. **Resolução CONAMA Nº 307/2002 - “Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil”**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 26 maio. 2017.

CORREIA SILVA, I. C.; QUINTO JR., L. DE P. Avaliação do Método Envision para Infraestruturas Brasileiras: Estudo das Linhas de Alta Tensão do Sistema Tucuruí-Macapá-Manaus, Usinas hidrelétricas de Santo Antônio do Jari e Santo Antônio, e Aquapolo. 2018.

GOMES OREA, D. **El medio físico y la planificación**. Madri.CIFCA, , 1978.

HESS, S. **Educação Ambiental: Nós no Mundo**. 2º ed. [s.l.] Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, UFMS, 2002.

IBGE. **IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Indicadores Sociais Municipais - 2000**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/indicadores_sociais_municipais/tabela1a.shtm> . Acesso em: 31 jul. 2017.

IBGE (ED.). **Pesquisa nacional de saneamento básico: 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE. **Perfil dos Municípios Brasileiros - 2013**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2013/>>. Acesso em: 30 jun. 2017.

IPEA. **Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos**, 2010.

JAGGI, M. Valor Setorial - Construção Civil. **Reciclagem**, p. 86 à 87, 2011.

MACHADO, G. B. **Central de Triagem**. Disponível em: <<http://www.portalresiduossolidos.com/central-de-triagem/>>. Acesso em: 19 jun. 2017.

MONTEIRO, C. A. DE F. Qualidade Ambiental - Recôncavo e regiões limítrofes. n. Salvador, Centro de Estatísticas e Informações, p. 48p e 3 cartas, 1987.

NASCIMENTO, R. M.; PINTO, A. E. M. Sustentabilidade e Precaução: Uma Avaliação do Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos de Macaé Referenciados na Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Direito da Cidade**, v. 10, n. 1, 11 jan. 2018.

NASCIMENTO, R. M.; QUINTO JR., L. DE P.; GOMES FILHO, H. Indicadores para Análise da Qualidade Ambiental da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos. **INDICADORES PARA A ANÁLISE DA QUALIDADE AMBIENTAL DA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**, 4º Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis. n. 4º, p. 11, 22 maio 2018.

NASCIMENTO, R. M.; QUINTO JR., L. DE P.; GOMES FILHO, H. Tecnologias para Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: uma Revisão de Literatura. **Tecnologias para Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: uma Revisão de Literatura**, n. 8ª, p. 10, 22 maio 2018.

NUCCI, J. C. Qualidade Ambiental e Adensamento Urbano: Um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP). n. 2ª, p. 150, 2008.

PHILIPPI, L. S. Saneamento Descentralizado: Instrumento para o desenvolvimento sustentável. v. 002, p. 1833–1841, 2000.

PMSP, DECRETO 4875. Decreto n. 4875 de 28 de dezembro de 2006. Torna obrigatório o uso de material proveniente de reciclagem de RCD nas obras e serviços de pavimentação de vias públicas. . 2006.

POLETO, J. A.; SILVA, C. L. A influência da separação de resíduos sólidos urbanos para fins de reciclagem no processo de incineração com geração de energia. 23 out. 2007.

REES, W. E. Ecological footprints and bio-capacity: essencial elements in sustainability assessment. p. 143–158, 2006.

RIBEIRO, H.; RIZPAH BESEN, G. Panorama da Coleta Seletiva no Brasil: Desafios a Partir de Três Estudos de Caso. **InterfacEHS - Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 2, n. 4, 11 abr. 2011.

RIO DE JANEIRO. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - PMGIRS - do Rio de Janeiro**, 2015. Disponível em:

<http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/3372233/4160602/PMGIRS_Versao_final_publicacao_DO_dezembro2015_19_ABR_2016_sem_cabecalho1.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2018

RIO, J. C. G. **G1 relata abandono de moradores de Gramacho, 3 anos após lixão fechar**.

Disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2015/06/g1-relata-abandono-de-moradores-de-gramacho-3-anos-apos-lixao-fechar.html>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

SILVEIRA, R. C. E. D. **GESTÃO CONSORCIADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE NAS RELAÇÕES SOCIOAMBIENTAIS**. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

TCU, T. DE C. DA U. **Relatório de Auditoria Operacional - Monitoramento no Programa Resíduos Sólidos Urbanos** Tribunal de Contas da União, , 2011. Disponível em:

<<http://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?inline=1&fileId=8A8182A14D92792C014D9286CE3777FB>>. Acesso em: 10 out. 2016

TOMMASI, L. R. **Estudo de Impacto Ambiental** São Paulo: Cetesb/Terragraph Artes e Informática S/CLtda, , 1994.

UGENDA JÚNIOR, J. C.; AMORIM, M. C. DE C. T. Indicadores ambientais e planejamento urbano. **Indicadores Ambientais e Planejamento Urbano**, v. 2, n. 31, p. 5–35, 2009.

ZOFNASS, – PROGRAM FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE. **XINGÚ AND MACAPÁ HIGH TENSION LINES – BRAZIL** Zofnass Program for Sustainable Infrastructure, , 2014.

Disponível em: <<https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/menu/current-research/infrastructure-360/>>. Acesso em: 17 fev. 2018

ZOFNASS, – PROGRAM FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE. **Envision V2 Guidance Manual** Zofnass Program for Sustainable Infrastructure, , 2015a. Disponível em:

<<https://sustainableinfrastructure.org/portal/files/GuidanceManual.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2018

ZOFNASS, – PROGRAM FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE.

INDUSTRIAL WATER PRODUCTION AQUAPOLO – BRAZIL Zofnass Program for Sustainable Infrastructure, , 2015b. Disponível em:

<<https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/menu/current-research/infrastructure-360/>>. Acesso em: 17 fev. 2018

ZOFNASS, – PROGRAM FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE. **SANTO ANTÔNIO HYDROELECTRIC – BRAZIL**Zofnass Program for Sustainable Infrastructure, , 2015c. Disponível em: <<https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/menu/current-research/infrastructure-360/>>. Acesso em: 17 fev. 2018

ZOFNASS, – PROGRAM FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE. **Termoverde Caieiras - Biogas Thermoelectric Plant – BRAZIL**Zofnass Program for Sustainable Infrastructure, , 2016a. Disponível em: <<https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/menu/current-research/infrastructure-360/>>

ZOFNASS, – PROGRAM FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE. **MARANHÃO GRAIN TERMINAL - TEGRAM – BRAZIL**Zofnass Program for Sustainable Infrastructure, , 2016b. Disponível em: <<https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/menu/current-research/infrastructure-360/>>. Acesso em: 17 fev. 2018

ZOFNASS, – PROGRAM FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE. **CENTER FOR SOLID WASTE TREATMENT, SEROPÉDICA (CTR RIO) - BRAZIL**Zofnass Program for Sustainable Infrastructure, , fev. 2016c. Disponível em: <https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/files/2016/08/11_CTRRio_MunicipalSolidWaste_EN_FinalFormat_2016-v.4.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2018

ZUQUETTE, L. V. **Geotecnia Ambiental**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE I

FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS			
MUNICÍPIO MENOR QUE 325.000 HABITANTES			
INDICADOR	PESO	NOTA	CRITÉRIO PARA NOTA - 100% / 75% / 50% / 25% / 0%
Dispõe Aterro sanitário ou incinerador (aterro como biorreator)	1,6		100% - Em aterro com biorreator / 75% - Em aterro sanitário / 25% - Em aterro controlado / 0% em lixão ou vazadouro
Administra um aterro sanitário	0,5		100% - Sim (consórcio) / 75% - Não / 50% - Sim (isolado)
Possui Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos	0,5		100% - Sim, como pede a PNRS / 50% - Sim, porém deficiente / 0% - Não
Administra um incinerador	0,3		100% - Sim / 0% Não
Solução consorciada ou isolada	1,3		100% - Consorciada / 0% Isolada
Coleta regular (Abrangência)	0,8		100% - >95% / 75% - <95%>90% / 50% - <90%>85% / 25% - <85%>80% / 0% - <80%
Programas de educação ambiental (abrangência)	0,8		100% - >75% da população / 75% - <75%>55% / 50% - <55%>45% / 25% - <45%>35% / 0% - <35%
Coleta Seletiva (Se há e abrangência)	0,7		100% - Acesso da população >70% / 75% - <70%>40% / 50% - <40%>15% / 25% - <15% / 0% - Não possui
Programas de parceria ou incentivo com associação de catadores	0,6		100% - Possui ativamente / 50% - Possui a implementar / 0% Não possui
Central de triagem (se há e como é feita)	0,6		100% - Adequada à demanda / 50% - Inadequada à demanda / 0% - Não possui
Quantidade reciclada	0,8		100% - >35% do RSU gerado / 75% - <35%>30% / 50% - <30%>25% / 25% - <25%>15% / 0% - <15%
Programa de compostagem (Se há e abrangência)	0,6		100% - Há programa Efetivo / 50% - Há programa insuficiente / 0% - Não há programa
Fiscalização e efetividade da logística reversa (abrangência)	0,6		100% - Há programa Efetivo / 50% - Há programa insuficiente / 0% - Não há programa
Administra usina de RCC	0,3		100% - Sim / 0% Não
TOTAL	10	MÉDIA 100%	10

APÊNDICE II

FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DA GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS			
MUNICÍPIO MAIOR QUE 325.000 HABITANTES			
INDICADOR	PESO	NOTA	CRITÉRIO PARA NOTA - 100% / 75% / 50% / 25% / 0%
Dispõe Aterro sanitário ou incinerador (aterro como biorreator)	1,6		100% - Em aterro com biorreator / 75% - Em aterro sanitário / 25% - Em aterro controlado / 0% em lixão ou vazadouro
Administra um aterro sanitário	1		100% - Sim (consórcio) / 75% - Não / 50% - Sim (isolado)
Possui Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos	0,5		100% - Sim, como pede a PNRS / 50% - Sim, porém deficiente / 0% - Não
Administra um incinerador	0,3		100% - Sim / 0% Não
Solução consorciada ou isolada	0,8		100% - Consorciada / 0% Isolada
Coleta regular (Abrangência)	0,8		100% - >95% / 75% - <95%>90% / 50% - <90%>85% / 25% - <85%>80% / 0% - <80%
Programas de educação ambiental (abrangência)	0,8		100% - >75% da população / 75% - <75%>55% / 50% - <55%>45% / 25% - <45%>35% / 0% - <35%
Coleta Seletiva (Se há e abrangência)	0,7		100% - Acesso da população >70% / 75% - <70%>40% / 50% - <40%>15% / 25% - <15% / 0% - Não possui
Programas de parceria ou incentivo com associação de catadores	0,6		100% - Possui ativamente / 50% - Possui a implementar / 0% Não possui
Central de triagem (se há e como é feita)	0,6		100% - Adequada à demanda / 50% - Inadequada à demanda / 0% - Não possui
Quantidade reciclada	0,8		100% - >35% do RSU gerado / 75% - <35%>30% / 50% - <30%>25% / 25% - <25%>15% / 0% - <15%
Programa de compostagem (Se há e abrangência)	0,6		100% - Há programa Efetivo / 50% - Há programa insuficiente / 0% - Não há programa
Fiscalização e efetividade da logística reversa (abrangência)	0,6		100% - Há programa Efetivo / 50% - Há programa insuficiente / 0% - Não há programa
Administra usina de RCC	0,3		100% - Sim / 0% Não
TOTAL	10	MÉDIA 100%	10