



Bruno Rocha Silva Setta

**Avaliação da efetividade da recuperação ambiental do
vazadouro do Município de Volta Redonda - RJ**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio como
requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Urbana e Ambiental

Orientadora: Prof.^a Ana Cristina Malheiros Gonçalves Carvalho.

Co-orientadora: Prof.^a Maria José Lopes Araújo Saroldi.

Rio de Janeiro
Janeiro de 2019



Bruno Rocha Silva Setta

**Avaliação da efetividade da recuperação ambiental do
vazadouro do Município de Volta Redonda – RJ**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre pelo Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e
Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela
Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof.^a Ana Cristina Malheiros Gonçalves Carvalho

Orientadora

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – PUC-Rio

Prof.^a Maria José Lopes Araújo Saroldi

Coorientadora

Universidade Veiga de Almeida – UVA

Prof. Tácio Mauro Pereira de Campos

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – PUC-Rio

Prof. Celso Romanel

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – PUC-Rio

Prof.^a Elisabeth Ritter

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

Prof. Márcio da Silveira Carvalho

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Bruno Rocha Silva Setta

Bacharel em Ciências Biológicas, modalidade Tutorial em Ciências Ambientais, pela Universidade Federal Fluminense. Atuou durante 1 ano na Alliance Serviços Equipamentos LTDA., na área de gerenciamento de resíduos *offshore*. É membro da *Society for Urban Ecology* (SURE). Atualmente estuda gestão de resíduos sólidos urbanos, ecologia urbana e impactos ambientais.

Ficha Catalográfica

Setta, Bruno Rocha Silva

Avaliação da efetividade da recuperação ambiental do vazadouro do Município de Volta Redonda – RJ. / Bruno Rocha Silva Setta; orientador: Ana Cristina Malheiros Gonçalves Carvalho; co-orientador: Maria José Lopes Araújo Saroldi. – 2019.

138f.; il.(color); 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2019.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Engenharia urbana e ambiental – Teses. 3. Resíduos sólidos urbanos. 4. Vazadouro. 5. Volta Redonda. I. Carvalho, Ana Cristina Malheiros Gonçalves. II. Saroldi, Maria José Lopes Araújo. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. IV. Título.

CDD: 624

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, Deise e Alberto por sempre me apoiarem e respeitarem minhas escolhas. Aos incentivos e conselhos para seguir sempre em frente em busca da minha realização profissional e pessoal.

À minha namorada Tainara pelos incentivos e apoio ao longo dessa caminhada, além de ter respeitado os momentos em que tive que me ausentar para concluir as atividades do mestrado.

Às orientadoras Ana Cristina e Maria José, que abdicaram longas horas para sanar dúvidas profissionais, auxiliaram nas buscas e consultas de documentos e pela ótima condução na orientação.

À Paula Enoy e ao Bruno Reis que sempre estiveram disponíveis para sanar dúvidas sobre procedimentos administrativos do mestrado, atendendo com rapidez às solicitações e sempre com bom humor, atenção e educação.

Aos professores do curso do Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio, por todo ensinamento e conhecimento adquirido ao longo do curso.

À Technische Universität Braunschweig, universidade parceira deste mestrado da PUC-Rio, na qual tive a oportunidade de realizar o curso “*Sustainable Waste Management in Emerging Economies*”, em julho de 2017, o qual foi importante para o desenvolvimento deste trabalho e para o meu crescimento profissional.

Resumo

Setta, Bruno Rocha Silva; Carvalho, Ana Cristina Malheiros Gonçalves (Orientador); Saroldi, Maria José Lopes Araújo (Co-orientador). **Avaliação da efetividade da recuperação ambiental do vazadouro do Município de Volta Redonda – RJ**. Rio de Janeiro, 2019. 138 p. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Diante do acelerado crescimento populacional nas cidades, sobretudo de países subdesenvolvidos e emergentes, como o Brasil, a alternativa economicamente viável encontrada para a destinação final dos resíduos foi a construção de vazadouros a céu aberto, popularmente conhecidos como lixões. Apesar da criação de diversas leis ambientais nos últimos anos que visam assegurar a correta gestão de resíduos, como a Lei nº 12.305/2010, conhecida como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, muitos municípios ainda apresentam dificuldades para se adequar às novas determinações impostas, como o encerramento das operações dos lixões, previsto até o ano de 2014. A disposição inadequada de resíduos em lixões provoca impactos à saúde pública e ao meio ambiente, o que tem despertado a preocupação de órgãos ambientais e públicos competentes que, através da aplicação do Termo de Ajustamento de Conduta (TAC), tem buscado remediar os efeitos das atividades dos lixões no Brasil, como é o caso do Município de Volta Redonda, localizado no interior do Estado do Rio de Janeiro, área de estudo escolhida para esta pesquisa. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar a efetividade da recuperação ambiental da área do vazadouro do Município de Volta Redonda. Para tanto, foram realizadas entrevistas aos gestores do município, órgãos públicos ambientais e levantamento bibliográfico da área estudo. Verificou-se que o Município, assim como a maioria dos municípios brasileiros, possui dificuldades para atender as condicionantes para a recuperação ambiental, pois desde a sua criação em 1987 e até o momento, houve apenas parcial regularização da sua situação.

Palavras-chave

Resíduos sólidos urbanos; Vazadouro; Volta Redonda.

Extended Abstract

Setta, Bruno Rocha Silva; Carvalho, Ana Cristina Malheiros Gonçalves (Advisor); Saroldi, Maria José Lopes Araújo (Co-advisor). **Evaluation of the environmental recovery effectiveness of the open dumpsite of the municipality of Volta Redonda - RJ.** Rio de Janeiro, 2019. 138 p. MSc. Dissertation. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Due to the accelerated population growth in cities, especially in emerging countries, such as Brazil, the economically viable alternative to the final disposal of waste was the construction of landfills, popularly known as dumpsites. However, this type of disposal is not considered environmentally appropriate because it can cause many impacts on public health and the environment, such as: production of leachate, highly toxic liquid, methane gas emission, animal attraction vectors of diseases, among others. Legal tools, such as TAC, have been applied by public agencies aiming to replace dumpsites, as a matter of priority, to sanitary landfill, in order to achieve the goals of the National Solid Waste Policy (Law n°12.305/2010), which establishes deadline for the end of brazilian's dumpsite operations.

The new order of economic, social, ecological, political and economical in ascension presents significant changes of paradigms that need to be broken in the 21st century. Environment, waste treatment, sanitation, air pollution, among others, have ceased to be on "clichés" and began to receive holistic talks, which before were resolved in a timely and fragmented.

As a direct result of all anthropogenic processes, we have been experiencing an increase in the production of solid waste, both in quantity and in diversity, especially in large urban centers. Besides the increase in quantity, the waste produced today passed to have in its composition synthetic elements and dangerous to ecosystems and human health. This fact let the waste treatment more expensive and, sometimes, the waste final disposal could be dumpsite.

The improper disposal of waste in dumpsites cause impacts to public health and the environment, which has aroused the concern of environmental bodies and public authorities that through the application of the Conduct Adjustment Agreement (TAC) has sought to remedy the effects of the dumpsite's activities in

Brazil, as the case of the municipality of Volta Redonda, located in the interior of the state of Rio de Janeiro, area of study chosen for this research.

Thus, the main objective of the present research is to evaluate the effectiveness of environmental recovery of the dumpsite area of the city of Volta Redonda.

In this sense, a literature review was carried out in order to gather information to contextualize the research. Besides, interviews were conducted with environmental managers of the municipality, public bodies and bibliographic survey of the study área.

In order to describe the area, were studied the historical formation of the municipal dumpsite, the operation, the environmental characteristics, the legal process of the remediation and field visit. The bibliographical and documental research and visits in the study area allowed the physical characterization of the site, emphasizing geological, water and geomorphic aspects, and also to understand how was the operation before the dumpsite closing. It's important to mention that the use of GIS was also essential for the description of the study area.

The field visit was accompanied by an Environmental Technician from the city hall, who contributed with information about the history of the operations and activities in progress for the environmental recovery. However, a large total of data of this research was based on visual inspection of the site, where we sought to know and assess the aspects related to: existing infrastructure, physical and biological characteristics of the área, historical aspects of the dumpsite's operation, possible environmental impacts on soil, air, water bodies and human health, and presence of animals.

The irregular disposal of waste occurred from 1987 to 2012. The site served as a disposal for household and industrial waste, public cleaning (tree pruning, gardening, etc.) and health services (hospital, medical clinics, pharmacies, laboratories, etc.).

In 1987, the operating license (LO) N°. 332/87 was granted, which would expire in 1992. Its renewal was not approved by FEEMA (current INEA), because the requirements imposed by the environmental agency were not accomplished, but the operations continued and in 2003 a Public Civil Action was filed, 0002992-48.2003.4.02.5104 (former issue of the 2003 process 5104002992-9), by the MPF and MPRJ against the PMVR and the São Gabriel Paper Deposit (the company that

owns the land where the dumpsite is located), in which the defendants were held responsible for the remediation and closure issues.

In 2005, the Municipality of Volta Redonda (PMVR) was activated by the MPF to sign a TAC, number 2003.5104002992-9. In addition, the MPRJ, the Public Labor Ministry (MPT), FEEMA, IBAMA and the company owning the land also signed the term. However, since then, the PMVR has been facing difficulties in meeting the actions imposed by the TAC.

During years of waste disposal and tailings without control, the environmental impacts were evident. According to the Federal Public Ministry, the major environmental damage already identified in the area are: a contamination of groundwater by leachate and contamination of the soil and vegetation of ART (Area of Relevant Ecological Interest) Forest of Cicuta (MPF, 2016)

In 2015, the PMVR required the Environmental Recovery License to INEA, through the process E-07/002.09815/2015, which laid down measures to be implemented aiming at the remediation of dumpsite and mitigation measures to be adopted after the closure (INEA, 2015). Based on this environmental license and on other documents issued by INEA and MPF, the environmental constraints imposed on the PMVR were confronted with what could be seen in the field and with the information available in the project “Adequacy of the Remediation Project of the Volta Redonda Residual Waste – RJ”.

The surface water from the water bodies are derived from water lines, streams and flooded areas upstream. There are no perennial rivers in the site. The dumpsite implantation interrupted the natural drainage, coming from the talvegues, and caused the accumulation of water at the edges, forming the two lakes of gigogas.

By determination of the Environmental Authorization, AA N°. IN017366, from 2011, the creation of plans and programs for the environmental monitoring of surface waters was imposed as a conditioning factor, through condition N°. 34.3. Thus, the PMVR hired a private company to carry out the analysis of 48 parameters of environmental quality, being physical, chemical and biological, of the two lakes of gigogas.

The results from this analysis and what we could see at the site show the state of eutrophication of the lakes, a process that affects the balance of the aquatic ecosystem. The finding of the leachate release on the edge of the massif in the field

visit conducted on May of 2016, without any efficient protection, further compromises the water quality of the lakes of gigogas, since the liquid can percolate through the soil to these lakes.

For the hydrogeological and underground flow analysis, the Project developed by Vereda (2013) proposed the installation of four monitoring wells related to the follow-up of the post-closure environmental liability, for the control of percolate in the groundwater table and to enable the study of hydraulic conductivity, more specifically in the saturated zone of the groundwater aquifer. Further, they used the Slug Test / Bail methodology in all installed piezometers, to obtain the hydraulic conductivity of the saturated zone.

After applying the Slug Test / Bail, the average value found for the calculated permeability (K) was 4.18×10^{-3} cm /s or 4.18×10^{-5} m. The study indicated that the soil is predominantly composed by sand containing a certain fraction of silt and sometimes clay. The effective porosity (ne) found was 21%.

It is also important to inform that there is no referenced chemical and biological data on groundwater quality at the project “Adequacy of the Remediation Project of the Volta Redonda Residual Waste – RJ”, which are fundamental for this type of environmental liability, because the study focused on hydraulic characteristics of the aquifer, such as porosity, conductivity and permeability.

The chemical characteristics of the leachate were obtained through analyzes carried out by the company Bioagri, contracted by PMVR in 2013. The results showed high pH value, low concentration of Total Ammoniacal Nitrogen and also for the BOD₅ / COD, due to the construction of an emergency cell of waste disposal in 2008. The high pH value indicates that the landfill is in the methanogenic phase.

The data from these samples provide a view of the physical-chemical and biological characteristics of the leachate. However, other analyzes should have been carried out in previous years for greater environmental monitoring and thus put in place containment measures. Until this moment, only this sampling has been performed and the environmental impacts due to this neglect are quite significant in the area.

The rainwater drainage system of the landfill is not very effective, as it was observed during the field visit conducted in May 2016 that only the base slope has a gutter to receive these waters. In addition, in other places there was vegetation covering and even plastic waste, mainly plastic bags.

The biogas drainage is performed through preferred paths created inside the mass with the implantation of vertical drains built with steel tubes and gravel or gravel contained by screens. The construction of vertical drains is important to achieve the maximum possible depth of soil.

The capture of biogas from the final waste disposal site should take into account possible future uses of biogas, since the resources directed to this type of objective are high. As the municipal dumpsite has been closed since May 2012, the biogas production is falling steadily, which makes it hard to use for the generation of electric energy or home heating.

According to this latest field visit conducted by INEA, a gas burner was planned to be installed to reduce atmospheric pollution (INEA, 2014_b). However, in the field visit conducted in May 2016 no burner installation was observed in the vertical drains. This fact demonstrates the same disregard for the leachate treatment, which could be avoided if there were more monitoring of the environmental recovery activities by the municipal public power, which endangers the quality of the natural ecosystems and the public health.

Regarding to fauna, no mention was made of the recovery, monitoring or creation of programs specifically addressed to this group in the legal documents issued by INEA, not even in the documents of the surveys carried out by this same body, and even at the project “Adequacy of the Remediation Project of the Volta Redonda Residual Waste – RJ”.

However, on the field visit conducted in May 2016, representatives of the avifauna were observed, such as the South American mackerel (*Netta erythrophthalma*), which were feeding on the lake upstream of the ditch, and synanthropic animals such as domestic dogs (*Lupus familiaris*). In addition, there were no opportunistic species of birds, such as carcará and buzzard, which are attracted by the remains of food and organic debris present in the residues.

In terms of flora, the documents issued by INEA, Environmental Authorization N°. IN017366 and the Environmental Recovery License (LAR) N°. IN031996, contemplate environmental conditions aimed at reforestation, protection of slopes and slopes and planting of seedlings. In the Environmental Remediation Project of the dumpsite made by the company contracted by the Municipality of Volta Redonda, it contemplates the description of species found in the area of the dumpsite and programs aimed at the planting of seedlings.

Though, during the field visit carried out in May 2016, these proposed activities were not observed, but rather a disorderly and abundant growth of *Panicum maximum* Jacq., mainly on slopes and edge regions. If the uncontrolled growth of this specie continues on the site, without any practice or tool that will reduce its propagation, the reestablishment of the original plant community will require even more time and costs.

The dumpsite is located in the Sedimentary Basin of Volta Redonda, whose morpho-sculptural unit is the Sedimentary Basin Board (DIAS *et al.*, 2002), mainly formed by sandstones and argillites, of Cenozoic origin. The soil is superficially formed by refuse slag from the iron and steel activities and by sandstone of fine to medium granulometry, clayey and organic horizons, fragments of granite rocks and altered gneisses.

The bulk re-shifting has occurred but has not been monitored and controlled over the years to avoid possible waste surges, erosion process and opportunistic plant growth. It is worth mentioning the fact of possible collapses, especially in rainy periods, releasing even more waste that can contribute to the generation of leachate and, thus, damage the remediation.

By all these aspects, we can conclude that the environmental remediation process of the Volta Redonda dumpsite has lasted for many years and has had serious consequences for the environment. The example of the municipality shows that the issue of the appropriate treatment for urban waste has so far not been seen as a priority by the competent authorities, mainly by the public administration.

Due to the high level of environmental degradation and stress in the dumpsite area, it is suggested the use of plant species of Leguminosae family as an alternative method to restore the environmental conditions necessary for the nesting of new species. In relation to the release of gases through the vertical drains, it is recommended that the current municipal public authority adopt as actions the implementation of a burner, to avoid the emission of gases into the atmosphere.

Although the legal representative of the Municipality of Volta Redonda was accused and judge for failing to comply the environmental conditions from the Environmental Recovery License, the environmental body performance proved ineffective in controlling compliance with the conditions, requiring the municipal government to regularize the process of licensing the operation and the remediation within the term.

Therefore, we can affirm that the Volta Redonda case shows the same difficulties presented by most Brazilian municipalities, whether technical, structural or financial, to comply with environmental legislation and to solve environmental liabilities.

Keywords

Urban solid waste; dumpsite; Volta Redonda.

Sumário

1. Introdução	21
1.1. Motivação e justificativa	23
1.2. Objetivos	24
2. Revisão bibliográfica	25
2.1. Gestão de resíduos sólidos urbanos	25
2.1.1. Classificação dos resíduos	26
2.1.1.1. Classificação dos resíduos quanto à origem	27
2.1.1.2. Classificação dos resíduos quanto ao grau de degradabilidade	27
2.1.1.3. Classificação dos resíduos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente	28
2.1.1.4. Classificação química	29
2.1.1.5. Classificação biológica	30
2.2. Métodos de destinação final dos RSU	30
2.2.1 Métodos de tratamento dos RSU	33
2.2.1.1. Reciclagem	33
2.2.1.2. Compostagem	35
2.2.1.3. Incineração	38
2.2.1.4. Digestão anaeróbia	39
2.2.2. Disposição final dos RSU	42
2.2.2.1. Lixão	44
2.2.2.2. Aterro controlado	46
2.2.2.3. Aterro sanitário	47
2.3. Remediação ambiental	50
2.3.1. Aspectos gerais e objetivos	50
2.3.2. Técnicas de remediação	55
2.3.3. Investigação e recuperação de áreas contaminadas	59
2.3.4. Contaminação ambiental de lixões desativados	63
2.3.5. Estudos de caso de lixões remediados	64
2.3.6. Panorama de lixões desativados no Estado do Rio de Janeiro	68
2.4. Legislação ambiental aplicada	72
2.4.1. Legislação ambiental federal	72
2.4.2. Legislação ambiental estadual	80
2.4.3. Legislação ambiental municipal	83
3. Recuperação ambiental da área do vazadouro do Município de Volta Redonda - RJ	87
3.1. Coleta de dados primários e secundários	87
3.2. Área de estudo	88
3.2.1. Município de Volta Redonda	88
3.2.2. Caracterização da localização do vazadouro	91
3.2.3. Processo legal visando a remediação ambiental do vazadouro	95
3.2.4. Situação atual do vazadouro municipal	101
3.2.4.1. Meio físico	101
3.2.4.2. Instalações construídas para a remediação ambiental	103

4. Discussão	106
4.2. Análise crítica do atual projeto de remediação ambiental	106
4.2.1. Análises de corpos hídricos	106
4.2.2. Análise hidrogeológica e de fluxos subterrâneos	109
4.2.3. Análise das características do lixiviado	111
4.2.4. Drenagem de gases	115
4.2.5. Fauna e flora	117
4.2.6. Geomorfologia e geologia	121
5. Conclusões e recomendações	122
6. Referências bibliográficas	125

Lista de Tabelas

Tabela 01 – Vantagens e desvantagens do processo de compostagem.	37
Tabela 02 – Vantagens e desvantagens do processo de incineração.	39
Tabela 03 – Variação da composição do lixiviado gerado em aterros brasileiros.	46
Tabela 04 – Fontes de contaminação de água subterrânea e solo.	54
Tabela 05 – Técnicas e medidas de remediação de lixões.	57
Tabela 06 – Principais atividades desenvolvidas na remediação	60
Tabela 07 – Normas técnicas brasileiras para remediação ambiental	62
Tabela 08 – Resumo de resoluções sobre gerenciamento de resíduos no Brasil.	79
Tabela 09 – Resumo de NBRs sobre gerenciamento de resíduos no Brasil.	80
Tabela 10 – Resumo das principais leis/resoluções ambientais do Estado do Rio de Janeiro.	80
Tabela 11 – Demais informações sobre o solo do vazadouro.	95
Tabela 12 – Medidas mitigadoras para remediação do vazadouro.	99
Tabela 13 – Resultados do IET _{PT} para os lagos do vazadouro	102
Tabela 14 – Resultados das análises da qualidade das águas dos lagos de gigogas.	107
Tabela 15 – Localização dos poços de monitoramento.	109
Tabela 16 – Caracterização química do lixiviado.	112
Tabela 17 – Lista de algumas espécies identificadas no entorno do vazadouro.	120

Lista de Figuras

Figura 01 – Hierarquia de prioridade na gestão de resíduos.	31
Figura 02 – Imagem de uma cooperativa de reciclagem de latas de alumínio.	34
Figura 03 – Ilustração de uma compostagem.	35
Figura 04 – Esquema do tratamento biológico por compostagem.	36
Figura 05 – Esquema representativo das câmaras de combustão.	41
Figura 06 – Esquema das reações metabólicas envolvidas na digestão anaeróbia.	43
Figura 07 – Imagem do lixão de Volta Redonda - RJ, em 2009.	45
Figura 08 – Gerenciamento de resíduos nos Estados Unidos com a série histórica desde 1960 até 2007.	48
Figura 09 – Ilustração de um sistema de aterro sanitário.	49
Figura 10 – Fluxo de propagação de poluentes em diferentes meios.	53
Figura 11 – Métodos de remediação de áreas degradadas.	57
Figura 12 – Vista área do aterro sanitário de Canoas – RS, em 21/06/2014.	66
Figura 13 – Mapa com a situação dos lixões no Estado do Rio de Janeiro.	70
Figura 14 – Mapa com arranjos regionais para disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado do Rio de Janeiro.	71
Figura 15 – Localização geográfica de Volta Redonda no Estado do Rio de Janeiro.	88
Figura 16 – Imagem obtida com o início do crescimento urbano da cidade de Volta Redonda, entre os 40 e 50, com a CSN no fundo.	89
Figura 17 – Unidades de Conservação no Município de Volta Redonda.	91
Figura 18 – Localização do vazadouro no Município de Volta Redonda.	92
Figura 19 – Imagem satélite do acesso ao vazadouro de Volta Redonda.	92
Figura 20 – Imagem da estrada que dá acesso ao vazadouro de Volta Redonda.	93
Figura 21 – Imagem satélite da localização do vazadouro na ARIE Floresta da Cicuta.	93
Figura 22 – Imagem do rio Brandão próximo ao vazadouro.	94
Figura 23 – Imagem do solo do vazadouro.	95
Figura 24 – Disposição de resíduos no vazadouro em 2009.	96
Figura 25 – Lixiviado do vazadouro percolando para o rio Brandão.	97
Figura 26 – Imagem do lago de gigogas a montante (vistoria em maio de 2016).	101
Figura 27 – Imagem do talude com a presença de resíduos (vistoria realizada em maio de 2016).	103
Figura 28 – Principais instalações para a remediação do vazadouro.	104
Figura 29 – Estação de tratamento de chorume (ETC) do vazadouro.	113

Figura 30 – Acúmulo de chorume na margem do talude, vistoria em maio de 2016.	114
Figura 31 – Drenos verticais para gases (vistoria em maio de 2016).	116
Figura 32 – Marreco-do-sul (<i>Netta erythrophtalma</i>).	118
Figura 33 - Cão doméstico (<i>Canis lupus familiaris</i>).	118
Figura 34 – Capim colônia (<i>Panicum maximum Jacq.</i>)	120
Figura 35 – Embaúba (<i>Cecropia pachystachya</i>).	120
Figura 36 – Imagem do solo e processos erosivos (vistoria em maio de 2016).	121
Figura 37 – Imagem do talude no ponto mais alto do vazadouro.	121

Lista de abreviaturas e siglas

SIGLA UTILIZADA	NOME COMPLETO
AA	Autorização Ambiental
ABAL	Associação Brasileira de Alumínio
ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira e Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
APA	Área de Proteção Ambiental
ARIE	Área de Relevante Interesse Ecológico
CDLVR	Câmara de Dirigentes Lojistas de Volta Redonda
CECA	Comissão Estadual de Controle Ambiental
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CERCLA	Comprehensive Environment Response, Compensation and Liability Act
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CTR	Central de Tratamento de Resíduos
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPASA-MG	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
DRM-RJ	Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro
EEA	European Environment Agency
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
FIEMG	Federação das Indústrias de Minas Gerais
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GATE	Grupo de Apoio Técnico Especializado
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPPU-VR	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Volta Redonda
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISSO	International Organization for Standardization
LAR	Licença Ambiental de Recuperação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MPRJ	Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro
MPF	Ministério Público Federal
PAMVR	Política Ambiental Municipal de Volta Redonda
PERS	Plano Estadual de Resíduos Sólidos
PL	Projeto de Lei
PMGIRS	Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PMVR	Prefeitura Municipal de Volta Redonda
PNRH	Política Nacional dos Recursos Hídricos
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
POPs	Poluentes Orgânicos Persistentes
RBCA	Risk Based Corrective Action
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RSS	Resíduos de Serviços de Saúde
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEA-RJ	Secretaria de Estado do Ambiente do Rio de Janeiro
SEMA-VR	Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Volta Redonda
SMMA	Sistema Municipal de Meio Ambiente
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
TAC	Termo de Ajustamento de Conduta
TR	Termo de Referência
EU	União Europeia
US-EPA	United States Environment Protection Agency
VRQ	Valor de Referência de Qualidade
WHO	World Health Organization

“A viagem não acaba nunca. Só os viajantes acabam. E mesmo estes podem prolongar-se em memória, em lembrança, em narrativa. Quando o viajante se sentou na areia da praia e disse: ‘Não há mais que ver’, sabia que não era assim. O fim da viagem é apenas o começo doutra. É preciso ver o que não foi visto, ver outra vez o que se viu já, ver na primavera o que se vira no verão, ver de dia o que se viu de noite, com sol onde primeiramente a chuva caía, ver a seara verde, o fruto maduro, a pedra que mudou de lugar, a sombra que aqui não estava. É preciso voltar aos passos que foram dados, para os repetir, e para traçar caminhos novos ao lado deles. É preciso recomeçar a viagem. Sempre. O viajante volta já.”

José Saramago

Introdução

Tendo em vista a tendência de concentração de pessoas em áreas urbanas, que hoje já ultrapassa mais da metade da população mundial (sete bilhões), implicará em demandas cada vez maiores por recursos naturais como água, energia, alimentos e espaço. Para sustentar essa população que possui uma economia baseada no consumo excessivo (sobretudo de bens materiais), com crescimento urbano desordenado e com geração de energia através de fontes fósseis, tem gerado diversos impactos ao meio ambiente. O grande desafio é diminuir a pegada ecológica e planejar cidades resilientes para que sejam sistemas sustentáveis a longo prazo.

O aumento populacional reflete diretamente na estrutura do meio urbano, provocando os fenômenos da horizontalização e a verticalização das cidades, que desencadeiam efeitos significativos na gestão de resíduos. O primeiro promove a expansão da mancha urbana, o que acaba distanciando os centros de disposição de resíduos e elevando os custos da coleta. Já a verticalização permite maior adensamento de habitantes por unidade de área construída, resultando no aumento da taxa de produção de resíduos por unidade de área, o que implicará numa maior velocidade de serviços de coleta e destinação de resíduos.

Além do crescimento populacional, são inúmeros outros fatores que influenciam na produção de resíduos, dentre eles, destacam-se o processo de industrialização e o comportamento cultural dos seres humanos. Estes estabelecem uma relação correspondente à geração de resíduos, de acordo com o nível de desenvolvimento econômico, dada em produção per capita.

Os países desenvolvidos, como os da União Europeia, produzem maiores quantidades de resíduos, contudo possuem maior capacidade de equacionamento da gestão, por meio de recursos econômicos, conscientização ambiental da população e desenvolvimento tecnológico. Enquanto que os países emergentes ainda apresentam deficiências em serviços básicos urbanos, como saneamento,

coleta de lixo, água, déficits de moradia, além do baixo desenvolvimento de tecnologias mais limpas.

A nova ordem econômica, social, ecológica, política e econômica em ascensão apresenta mudanças significativas de paradigmas que precisam ser quebrados no século XXI. Meio ambiente, tratamento de resíduos, saneamento, poluição do ar, entre outros, deixaram de ser assuntos “clichês” e começaram a receber tratativas holísticas, as quais antes eram resolvidas de maneira pontual e fragmentada.

Como decorrência direta de todos os processos antrópicos, vem ocorrendo um aumento na produção de resíduos sólidos, tanto em quantidade como em diversidade, principalmente nos grandes centros urbanos. Além do acréscimo na quantidade, os resíduos produzidos atualmente passaram a abrigar em sua composição elementos sintéticos e perigosos aos ecossistemas e à saúde humana, em virtude das novas tecnologias incorporadas ao cotidiano (FERREIRA, 2001).

Apesar de haver um aumento na preocupação da comunidade internacional com a qualidade do meio ambiente, observa-se que ainda é ineficaz a gestão dos resíduos sólidos municipais, sobretudo em países em desenvolvimento como o Brasil (FERREIRA *et al.*, 2014). Os métodos para a coleta, transporte e depósito dos resíduos sólidos não consideram as consequências que o mau uso e o tratamento inadequado deles podem causar ao meio ambiente (SIMONETTO & LÖBLER, 2013).

Existem diversos tipos de tratamento para os resíduos, tais como compostagem e incineração, e para disposição final como aterros sanitários e lixões. No entanto, considera-se este último a pior forma de disposição final, pois os resíduos são simplesmente despejados sobre o solo, sem critérios técnicos e medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública.

Devido à falta de conhecimento, informação, escassez de tecnologias mais robustas e dificuldades financeiras, a maioria dos municípios brasileiros teve o “lixão” como a destinação final para os seus resíduos. Essa opção, consequentemente, provocou e ainda provoca diversos impactos ambientais à saúde pública e ao meio ambiente, o que torna necessário o envolvimento de autoridades e governantes, da população e de outras entidades ligadas ao meio ambiente para atuarem ativamente na solução destes problemas.

O número de vazadouros desativados, em desativação, ou em processo de remediação, aumentou consideravelmente nos últimos anos, sobretudo, devido à imposição de penalidades compensatórias por órgãos ambientais, como o IBAMA, e de órgãos públicos do judiciário, como os Ministérios Públicos dos Estados e Federal, aos responsáveis pelas unidades. Além disto, a sanção da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei Federal nº 12.305/2010, a qual se determinam as responsabilidades dos geradores, do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis sobre a gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2015), também contribuiu muito para este novo quadro.

Entretanto, existem muitas dificuldades, sejam elas técnicas, jurídicas ou de fiscalização, para a recuperação ambiental das áreas afetadas por estes empreendimentos. Exige-se do corpo técnico conhecimento das características biológicas, físicas e químicas do local de estudo. Os órgãos fiscalizadores devem monitorar continuamente o atendimento às condicionantes ambientais impostas por órgãos ambientais competentes na Licença de Operação (LO), assim como os parâmetros de qualidade ambiental do local, para assegurar o restabelecimento do equilíbrio ecológico.

O Município de Volta Redonda, área de estudo deste trabalho, está localizado na Região Sul Fluminense do Estado do Rio de Janeiro, mais especificamente na Região do Médio Paraíba do Sul, e se enquadra na temática apresentada. Entre 1987 e 2012, o município possuía em operação um vazadouro a céu aberto como a principal destinação final para os resíduos gerados, o qual recebia 169,4 toneladas diárias (IZABELLA *et al.*, 2012).

Diante disto, este trabalho realiza uma avaliação da efetividade da recuperação ambiental da área do lixão municipal de Volta Redonda. Para tanto, foram realizadas visitas à área de estudo, técnicas de SIG, consultas a órgãos públicos e levantamentos bibliográficos para obter informações sobre as características ambientais, histórico das atividades e o andamento do processo de recuperação ambiental, os quais serão discutidos ao longo da dissertação.

1.1.

Motivação e Justificativa

O interesse pela linha de pesquisa em tecnologias ambientais, mais especificamente na área de resíduos, partiu tanto da experiência pessoal como profissional. Trabalhando em projetos de iniciação científica desde a graduação voltados para tecnologias mais limpas, e atuação profissional na área de gerenciamento de resíduos *offshore*, a percepção foi da necessidade de incorporar o tema de gestão de resíduos na execução deste trabalho.

Em relação ao local escolhido para o estudo de caso, o vazadouro municipal de Volta Redonda está localizado em um dos principais vetores com possibilidade de expansão do município e no entorno de uma Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) – Floresta da Cicuta. Associado a estes aspectos, ressalta-se a carência de estudos voltados para a questão ambiental no município, sobretudo da gestão de resíduos.

1.2.

Objetivos

Objetivo Geral

Avaliar a efetividade da recuperação ambiental do vazadouro municipal de Volta Redonda, localizado na Região Sul Fluminense do Estado do Rio de Janeiro, analisando criticamente o atual projeto remediação ambiental do vazadouro.

Objetivos Específicos

- Verificar no atual projeto de remediação ambiental do vazadouro municipal de Volta Redonda o atendimento às condicionantes ambientais impostas pelos órgãos ambientais públicos competentes;
- Discutir, com base na bibliografia, as consequências da possível implantação projeto de remediação ambiental em virtude do não atendimento das condicionantes ambientais em relação aos impactos ambientais e os efeitos na saúde pública;
- Analisar as iniciativas de controle social e ambiental antes e após a implantação do projeto, e suas possíveis repercussões para área;
- Recomendar possíveis alterações no projeto e propor medidas de intervenção na área do vazadouro municipal, visando sua recuperação ambiental.

2

Revisão bibliográfica

Este capítulo é destinado ao estudo e revisão das propriedades mecânicas dos resíduos sólidos e sobre assuntos relacionados à avaliação de impactos ambientais. Uma breve revisão sobre resíduos sólidos, suas propriedades físicas, químicas e biológicas, envolvendo temperatura, umidade, composição gravimétrica, distribuição granulométrica, entre outros, e métodos de destinação final dos RSU. Ainda serão abordados tópicos relacionados à legislação ambiental brasileira e remediação ambiental e suas técnicas.

2.1

Gestão de resíduos sólidos

A busca por uma gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos é inerente a todos os países do mundo. A produção e a destinação final dos resíduos são os principais problemas enfrentados, independentemente do nível de desenvolvimento socioeconômico do país.

Existem dois momentos na história da humanidade que contribuíram significativamente para o aumento na geração de resíduos urbanos. O primeiro foi durante a Revolução Industrial, no século XVIII, o qual provocou a migração de milhares de pessoas do campo para as cidades, em busca de melhores condições e de trabalho, já que as indústrias estavam a todo vapor. Com o aumento de habitantes nas cidades, o consumo por alimentos e produtos também aumentou, e conseqüentemente a geração de resíduos.

O outro momento foi no fim do século XX, entre as décadas de 80 e 90, com o surgimento da “globalização”. A abertura de mercados para o capital estrangeiro em diversos países, sobretudo nos em desenvolvimento, o aumento no fluxo de capitais, melhorias no desenvolvimento tecnológico e na comunicação, propiciaram e ainda propiciam trocas de mercadorias e produtos entre diversos países. Hoje, um produto produzido na China é facilmente encontrado no mercado brasileiro, pois as barreiras econômicas a produtos estrangeiros estão cada vez menores.

Ao mesmo tempo que ocorre um aumento no consumo de produtos, verificou-se que nas últimas décadas houve um crescimento demográfico

populacional significativo no Brasil. No período de 1991 a 2005, a população brasileira teve um crescimento próximo a 38 milhões de indivíduos, saltando de 146.825.475 milhões em 1991 para 184.184.264 milhões (FRANCISO, 2016).

Estima-se que entre 180 e 250 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos já são coletados diariamente no Brasil (IBGE, 2010; ABRELPE, 2014). No entanto, 40,9% dos resíduos coletados no ano de 2017 foram despejados em locais inadequados por 3.352 municípios brasileiros, totalizando mais 29 milhões de toneladas de resíduos em lixões ou aterros controlados (ABRELPE, 2017).

A geração média de resíduos sólidos urbanos é próxima de 1,35 kg por habitante/dia no país, padrão já semelhante ao de alguns países da União Europeia (EEA, 2008; ABRELPE, 2017). Dessa forma, é imprescindível que haja um bom entendimento de todo o comportamento de uma sociedade no sentido de prever nos novos projetos de aterro a evolução na produção de resíduos sólidos.

2.1.1

Classificação dos resíduos

Primeiramente, é necessário distinguir as definições de resíduo e rejeito. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei N° 12.305, define resíduo sólido como:

[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Já os rejeitos são definidos como resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Segundo Saroldi (2005), há várias formas de tratamento das parcelas e classificação dos resíduos que serão mais detalhadas posteriormente, tais como:

- Origem;

- Natureza física: seco e molhado;
- Composição química: matéria orgânica e inorgânica;
- Riscos potenciais ao meio ambiente;
- Grau de degradabilidade.

2.1.1.1

Classificação do resíduo quanto à origem

De acordo com a NBR 10.004 de 2004, os resíduos nos estados sólido e semissólido são aqueles que são resultantes de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

No entanto, a PNRS (2010) traz uma classificação mais complexa para os resíduos sólidos, que podem ser:

- *Resíduos domiciliares*: são originados por atividades residenciais, em localidades urbanas;
- *Resíduos de limpeza urbana*: originados da varrição, limpeza de logradouros, vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- *Resíduos sólidos urbanos (RSU)*: englobam os resíduos domiciliares e de limpeza urbana;
- *Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico*: os gerados nesta atividade, com exceção dos RSU;
- *Resíduos industriais*: os gerados nos processos produtivos e de instalações industriais;
- *Resíduos de serviços de saúde*: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA e do SNVS;
- *Resíduos da construção civil*: os gerados nas construções, reformas, reparos, demolições de obras e preparação de terrenos para a construção civil;
- *Resíduos agrossilvopastoris*: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluindo os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- *Resíduos de serviços de transportes*: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- *Resíduos de mineração*: os gerados na atividade.

2.1.1.2

Classificação do resíduo quanto ao grau de degradabilidade

Os resíduos sólidos também podem ser classificados em relação ao grau de degradabilidade, da seguinte maneira:

- *Facilmente degradáveis*: são resíduos que apresentam alto teor de matéria orgânica;

- *Moderadamente degradáveis*: papel, papelão e outros produtos celulósicos;
- *Difícilmente degradáveis*: pedaços de pano, retalho, aparas, couro (tratado), borracha e madeira;
- *Não degradáveis*: vidro, metais, plásticos, pedras, solo, entre outros. (BIDONE & POVINELLE, 1999).

2.1.1.3

Classificação do resíduo quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente

De acordo com a NBR 10.004 de 2004, os resíduos sólidos, neste caso apenas os resíduos sólidos urbanos, podem ser classificados em três categorias:

- *Resíduos classe I – Perigosos*: são aqueles que apresentam características de periculosidade (inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade) que podem implicar riscos à saúde pública e/ou ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada. Podemos citar nesta categoria os resíduos de pilhas e baterias, pneus e sucata eletroeletrônica;
- *Resíduos classe II-A – Não perigosos e não inertes*: são aqueles que podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Como exemplos desta categoria podemos citar: papéis, papelão e restos vegetais;
- *Resíduos classe II-B – Não perigosos e inertes*: são aqueles que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor. Dentro desta categoria podemos citar: tijolos, rochas e vidros.

Dessa norma vale ressaltar o capítulo 4.2.1.5.2, que informa especificidades da classificação de resíduos domiciliares e sua possível patogenicidade:

[...] “Os resíduos gerados nas estações de tratamento de esgotos domésticos e os resíduos sólidos domiciliares, excetuando-se os originados na assistência à saúde da pessoa ou animal, não serão classificados segundo os critérios de patogenicidade.”

2.1.1.4

Classificação química

Há uma grande dificuldade para a caracterização química dos resíduos sólidos, uma vez que muitos são constituídos por vários elementos, perigosos ou não, e em diferentes proporções. Além disto, com a globalização, a entrada de produtos oriundos de diversos países muitas vezes apresentam na sua composição elementos de natureza desconhecida, o que dificulta ainda mais a caracterização. Dessa forma, ela se torna um processo caro (RIBER *et al.*, 2007), pois exige um tempo considerado para entender a composição do resíduo.

Assim como outras características e propriedades, o conhecimento das características dos resíduos sólidos é importante para a escolha de processos que viabilizem o tratamento e de técnicas de disposição final. De acordo com Saroldi (2005) e Soares (2011), alguns fatores são fundamentais para a classificação química dos resíduos sólidos (apenas os orgânicos), tais como:

- *Composição Química*: consiste na determinação dos teores de cinzas, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, enxofre, matéria orgânica, resíduo mineral total e resíduo mineral solúvel, presentes nos resíduos sólidos urbanos;
- *Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)*: indica o grau de decomposição da matéria orgânica dos RSU nos processos de tratamento e disposição final, tendo em vista que os micro-organismos que atuam na decomposição necessitam de carbono para seu desenvolvimento e de nitrogênio para a síntese das proteínas;
- *Potencial Hidrogeniônico (pH)*: indica o teor de alcalinidade ou acidez da massa de resíduos. O pH está relacionado com a velocidade de degradação e estabilização da matéria orgânica nos resíduos;
- *Teor de Sólidos Totais Voláteis*: pela determinação do teor de sólidos totais voláteis determina-se a percentagem de cinzas e a quantidade de matéria orgânica existente no resíduo sólido. Portanto, esse parâmetro pode ser um indicador da degradabilidade dos RSU ao longo do tempo. Um alto percentual de sólidos totais voláteis (STV) indica a presença de muita matéria orgânica a ser degradada e baixos valores podem indicar que o resíduo já passou por um processo acentuado de degradação.
- *Teor de carbono, teor de hidrogênio, teor de nitrogênio, concentração de cálcio, sódio, potássio e elementos metálicos*: expressa a quantidade em peso de cada um destes elementos na massa do lixo;
- *Salinidade*: representa a quantidade de sais existentes em massas de água, a qual pode ser descrita simplesmente como a razão entre a quantidade total de sólidos (em massa) dissolvidos e a massa da água que lhe serve de solvente (NASCIMENTO, 2014). Segundo Silveira (2004), os estudos para

a determinação da salinidade não obedecem aos procedimentos usados nos ensaios tradicionais, em função da diversidade de granulometria, composição do chorume e pressões no solo.

2.1.1.5

Classificação biológica

As transformações biológicas que ocorrem nos resíduos sólidos, em especial os resíduos orgânicos, ao longo do tempo vão variar a classificação biológica. Através da degradação, os micro-organismos assimilam componentes mais complexos (proteínas, carboidratos e lipídios) para obter energia e produzem, com o tempo e em condições de anaerobiose, biogás, líquidos, matéria orgânica mineralizada e outros compostos orgânicos mais simples.

A degradação, no entanto, pode, no ponto de visto geotécnico, alterar o comportamento dos aterros sanitários. Alguns autores (EDGERS *et al.*, 1992; WALL & ZEISS, 1995; SIMÕES *et al.*, 1996) verificaram que com a perda contínua de massa sólida ao longo do tempo, tem-se o aumento da densidade e a consequente diminuição da permeabilidade e da compressibilidade do aterro.

Tendo como base a constituição de componentes complexos, Saroldi (2005) atribui a seguinte classificação biológica dos resíduos, conforme a seguir:

- *Constituintes solúveis em água*: açúcares, amido, aminoácidos e vários ácidos orgânicos;
- *Proteínas*: constituídas por cadeias de aminoácidos.
- *Semicelulose*: resultante da condensação de 5 ou 6 carbonos dos açúcares;
- *Celulose*: resultante da condensação de 6 átomos de carbono da glicose;
- *Gorduras, óleos e graxas*: ésteres de álcoois e ácidos graxos de longa cadeia;
- *Lignina*: polimérico constituído por anéis aromáticos com grupos metoxi (-OCH₃);
- *Lignocelulose*: resultante da combinação de lignina e da celulose.

2.2

Métodos de destinação dos RSU

Existem diversas alternativas para realizar a destinação final dos RSU, como, por exemplo, os aterros sanitários, a compostagem, a incineração, a digestão anaeróbica, ou até mesmo a combinação destes. Para escolher qual será a alternativa

pretendida, algumas características dos municípios, que influenciam diretamente na escolha da melhor destinação final adequada, devem ser consideradas, dentre elas estão: as condições econômico-financeiras, o tamanho populacional, o volume diário gerado de RSU e as tipologias dos resíduos.

No entanto, antes desta escolha, deve-se pensar em outras formas para minimizar a geração de resíduos. A mudança de hábitos, a diminuição no consumo de produtos industrializados, alimentos processados ou embalagens, o reaproveitamento, o reuso, a reciclagem e a própria educação ambiental são fatores fundamentais que qualquer cidadão deve adquirir e praticar antes de descartar qualquer resíduo.

No Artigo 9º da Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) diz qual deve ser a hierarquia da gestão de resíduos, conforme a Figura 01.

“Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.”



Figura 01 - Hierarquia de prioridade na gestão de resíduos. Fonte: Adaptado de PNRS, 2010.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) define a destinação final ambientalmente adequada como sendo:

[...] a destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do SISNAMA, do SNVS e do SUASA, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

O conceito de não geração de resíduos está ligado à eficiência em toda a cadeia produtiva e de serviços com o uso de tecnologias inovadoras e limpas. A aplicação da eficiência traz grandes benefícios tanto para empresas quanto para a sociedade, proporcionando maior fluidez e diminuindo os custos da produção, podendo ainda gerar empregos. Além disso, tem-se um produto final com menor custo, o que pode ser mais competitivo no mercado.

A redução de resíduos é feita por ações, processos ou atividades que buscam, sempre que possível, consumir apenas o necessário. Significa, de maneira geral, obter o maior aproveitamento das matérias-primas e insumos. Além da diminuição de resíduos e da economia dos recursos naturais, reduzir significa também economia de dinheiro, considerando os custos para tratamento e disposição final de resíduos.

O reuso ou reutilização ou reaproveitamento pode ser definido como processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem seu reprocessamento biológico, físico ou físico-químico. Não se obtém um novo produto, mas o resíduo pode ser utilizado novamente na mesma função ou não.

Diferentemente da reutilização, a reciclagem consiste num reprocessamento das características biológicas, físicas ou físico-químicas de um resíduo com o intuito de produzir um novo produto útil. Por exemplo, as garrafas PET podem se transformar em fibra de poliéster e pneus antigos podem servir como composto para asfalto.

O tratamento dos resíduos é feito através de uma série de procedimentos destinados a reduzir a quantidade ou o potencial poluidor dos mesmos. O não tratamento do lixo, além de promover o desperdício de material reciclável, tem como contrapartida a criação de depósitos inadequados. Como exemplos de métodos de tratamento temos a compostagem, a incineração, a reciclagem e o pré-tratamento mecânico-biológico, os quais serão descritos posteriormente.

A disposição final de resíduos deve ser utilizada quando esgotadas todas as possibilidades de utilização dos resíduos. A PNRS (2010) a define como:

[...] a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

2.2.1

Métodos de tratamento dos RSU

2.2.1.1

Reciclagem

Segundo o IBAM (2001), denomina-se reciclagem a segregação de materiais do lixo domiciliar, tais como papéis, plásticos, vidros e metais, com o objetivo de transformá-los em produtos comercializáveis ao mercado de consumo.

O Brasil é um dos principais países do mundo onde o setor de reciclagem tem um grande potencial de crescimento para a economia. Esse setor movimentava cerca de R\$ 12 bilhões por ano, no entanto, em torno de R\$ 8 bilhões são perdidos anualmente por deixar de reciclar os resíduos que são encaminhados aos aterros ou lixões, segundo dados do IPEA (BRASIL, 2016).

Estima-se que existam 800 mil pessoas atuando no setor da reciclagem, sobretudo na primeira etapa, a coleta (BONDUKI, 2010). No entanto, há necessidade de criação de mais cooperativas, postos de coleta seletiva e programas de educação ambiental, para que uma grande parcela desse montante desperdiçado, cerca de R\$ 8 bilhões, seja mais aproveitado e revertido em novas ações ou até mesmo em tecnologias.

Dentre os materiais mais reciclados no Brasil, o que tem com maior destaque é o de latas de alumínio, conforme a Figura 02. O índice de reciclagem deste material é de 90 a 100% (PINTO-COELHO, 2009; BRASIL, 2016) e grande parte deste alto valor se deve ao mercado de sua sucata, associado ao elevado gasto de energia necessário para a produção de alumínio metálico. Outros materiais, como plásticos e vidros, tem uma porcentagem menor, entre 40 a 55% (PINTO-COELHO, 2009; BRASIL, 2016).



Figura 02 - Imagem de uma cooperativa de reciclagem de latas de alumínio. Fonte: ABAL, 2016.

Os principais benefícios ambientais da reciclagem são a diminuição do consumo de matérias-primas não renováveis, aumento da vida útil dos aterros sanitários e diminuição da emissão de gases estufa para a atmosfera. Em relação a esse último, estima-se que seria possível evitar a emissão de 18 a 28 milhões de toneladas de dióxido de carbono no Brasil, entre 2000 a 2007 (PEREIRA *et al.*, 1999).

Nos campos social e econômico, a reciclagem gera novas oportunidades de serviço e emprego. Empresários já perceberam que as atividades relacionadas à reciclagem são rentáveis e ecologicamente corretas, o que pode demonstrar uma boa imagem da empresa no mercado competitivo. Conforme já dito anteriormente, o Brasil já apresenta bons resultados na reciclagem de latas de alumínio e garrafas PET, superiores até aos países que demonstram preocupação com a questão ambiental há muito tempo, como os países da EU.

Segundo a Associação Brasileira de Alumínio (ABAL, 2016), o Brasil reciclou 267,1 mil toneladas de latas de alumínio para bebidas, das 272,8 mil toneladas disponíveis no mercado em 2012. Esse montante foi responsável pelo incremento de R\$ 630 milhões na economia nacional naquele ano (ABAL, 2016) e colocou o país no ranking mundial de reciclagem de latas de alumínio, com índice de 97,9%, superior ao Japão (92,5%), Argentina (91,1%) e Estados Unidos (67%). Diante do atual cenário de alto índice de desemprego no Brasil, acaba estimulando grande parte da população desempregada a adotar como estratégia de sobrevivência a atividade de “catar lixo” como forma de obter renda para suas famílias. Esses catadores acabam exercendo um papel fundamental no sistema de reciclagem, servindo como elo entre a saúde ambiental e o setor empresarial.

De acordo com o CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem) (2015), no ano de 2012, os catadores foram responsáveis por cerca de 18% dos resíduos separados para reciclagem no Brasil. Eles também são beneficiados pela Lei nº 12.305/2010, na qual diz que o poder público está dispensado de licitação para a contratação de serviços prestados por catadores organizados em associações ou cooperativas.

No entanto, existem alguns riscos associados à saúde dos catadores nas atividades de reciclagem, sobretudo durante a catação, que incluem a exposição a metais e substâncias químicas, a agentes infecciosos como o vírus da hepatite B, doenças respiratórias, osteomusculares e lesões por acidentes (FERREIRA & ANJOS, 2001).

2.2.1.2

Compostagem

A compostagem é um tratamento realizado a partir da ação de micro-organismos que digerem a parte orgânica dos resíduos, através da degradação aeróbica e termofílica, conforme pode ser visualizado na Figura 03. Este processo permite a redução do volume e a transformação destes em compostos orgânicos que podem ser utilizados na agricultura como condicionantes do solo (húmus), no reflorestamento, na jardinagem, dentre outros. No entanto, sugere-se que o húmus não deva ser utilizado como fertilizante, por apresentar baixos teores de macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) e de micronutrientes (cobre, cobalto, níquel, zinco, manganês, boro e ferro) (NASCIMENTO, 2014).



Figura 03 - Ilustração de uma compostagem. Fonte: IPT/CEMPRE, 2000.

Como no Brasil a maior parcela dos resíduos gerados diariamente é de origem orgânica, a compostagem configura como uma das alternativas mais promissoras para o tratamento do composto. No Brasil, existem atualmente mais de 250 usinas de compostagem em operação, as quais são responsáveis por 4% dos resíduos orgânicos tratados no país (CEMPRE, 2005; IBGE, 2010 *apud* Pires & Ferrão, 2017). Cada uma destas usinas tem uma capacidade de reciclar em média 10.000 toneladas por ano, entretanto, este valor é muito baixo para atender a demanda crescente em tratamento dos resíduos gerados no Brasil (SANTOS *et al.*, 2014).

A Figura 04 ilustra o processo de tratamento biológico por compostagem segundo Teixeira (2009). De acordo com esse autor, esse processo deve ocorrer a elevadas temperaturas para transformar a matéria orgânica num resíduo biológico estável, liberando água, calor, dióxido de carbono e inorgânicos.

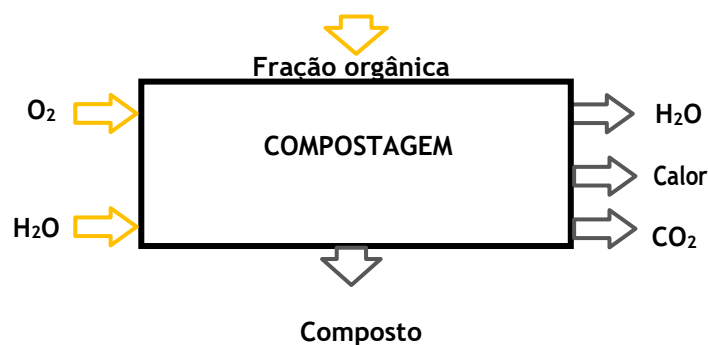


Figura 04 - Esquema do tratamento biológico por compostagem. Fonte: Adaptado de Teixeira, 2009.

Existem alguns fatores que influenciam/interferem diretamente na decomposição, na maturação e na qualidade do produto final. Dentre eles podemos citar a umidade, a temperatura, a relação C/N e os resíduos orgânicos utilizados. Esses fatores podem ser controlados durante o processo de decomposição, contudo, de acordo com alguns autores, a qualidade do produto final é totalmente dependente da qualidade da matéria-prima de origem (LOPEZ-REAL, 1994; SAVAGE, 1996; MERILLOT, 1996; RODRIGUES, 1996 *apud* BARREIRA *et al.*, 2006).

A presença de materiais inorgânicos como terra, vidro e metais, também influenciam na qualidade do produto final, visto que eles contêm uma grande porcentagem de substâncias alcalinas que podem neutralizar os ácidos gerados durante o processo de decomposição (NASCIMENTO, 2014).

Gouvêa e Neto (1997) avaliaram as possíveis formas de contaminação da fração orgânica do lodo de esgoto por metais pesados, provenientes da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA-MG), situada na cidade de Vespasiano- MG. Eles observaram que durante a fase de maturação, a redução dos metais foi mais pronunciada nesta fração, mostrando a importância desta fase no controle da disponibilidade dos metais no produto final. No entanto, esse resultado mostrou um benefício da compostagem na retenção de metais nas outras frações.

A Tabela 01 mostra as principais vantagens e desvantagens do processo de compostagem.

Tabela 01 – Vantagens e desvantagens do processo de compostagem.

Compostagem	
<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Redução na quantidade de resíduos a serem depositados em aterros; - Possibilidade de comercialização do composto orgânico final; - Geração de empresas e empregos; - Economia de energia; - Aumento da produtividade agrícola. 	<ul style="list-style-type: none"> - Altos custos de implementação e manutenção das usinas; - Área grandes para a operação, cerca de 200 m²; - Técnicas apuradas para a triagem de resíduos; - Problemas com a aceitação da população do entorno, devido à emissão de odores; - Possíveis impactos à saúde dos trabalhadores, como alterações na função pulmonar e contaminação bacteriológica do sistema respiratório.

Fonte: Lindenberg, 1992; Da Silva, 2007; Athanasiou *et al.*, 2010.

Vale ressaltar que por segurança ocupacional e ambiental, qualquer estação de compostagem precisa de um aterro sanitário de apoio, utilizado para a deposição dos resíduos não compostáveis nem recicláveis, como também para deposição de emergência em caso de uma eventual parada no processo por avaria ou por manutenção prolongada da instalação (TEIXEIRA, 2009).

2.2.1.3

Incineração

A incineração consiste num processo de transformação térmica dos resíduos a temperaturas elevadas, entre 850 a 1000°C, que provoca a redução da massa e do volume dos resíduos (tóxicos ou não) através da combustão controlada, gerando pequenas quantidades de resíduos inertes, não inertes e gasosos. É uma das opções de tratamento que cresce em muitos países, principalmente em projetos com recuperação energética para produção de eletricidade (WHO, 2007), e na descontaminação de resíduos hospitalares para eliminar potenciais riscos biológicos (DA SILVA, 2007).

Os remanescentes da incineração são geralmente constituídos por gases, como o gás carbônico (CO₂), oxigênio (O₂), vapor d'água (H₂O), e pequenas partículas sólidas, como metais ferrosos, óxidos metálicos e sais. A grande preocupação ambiental com esse processo está relacionada com a liberação de gases contaminantes para a atmosfera, como dioxinas e furanos (WHO, 2007), logo as usinas devem conter as partículas, por meio de filtros, ciclones ou colunas de lavagem.

Segundo Nascimento et al. (2000), com a incineração controlada dos resíduos é possível reduzir o volume em até 90% e o peso em 15%, segundo Gutberlet (2011). As cinzas geradas são em geral inertes, o que diminui a crescente necessidade de áreas de aterros sanitários. Elas podem ser reutilizadas na fabricação de produtos cerâmicos (SOARES, 2011).

Devido ao seu alto custo de manutenção, a incineração é amplamente utilizada em países ricos, sobretudo naqueles que possuem baixa extensão territorial. Holanda, Dinamarca e Suíça processam mais de 40% dos RSU destinados para usinas incineradoras da UE. No Japão esse valor é de 79% (RISCADO *et al.*, 2010). Já nos Estados Unidos foram incinerados, em 2007, 29 milhões de toneladas de resíduos sólidos para a recuperação de energia, equivalente a 12,6% do total de resíduos domésticos gerados neste país (VYHNAK, 2008 *apud* GUTBERLET, 2011 *apud* DIAS & PENA, 2016).

No Brasil, a incineração é bastante difundida no tratamento de resíduos industriais e de saúde, uma vez que 47,6% dos resíduos sólidos do serviço de saúde (RSS) no país tem este tratamento (ABRELPE, 2017). Além disto, a capacidade instalada para o tratamento de RSS foi de 115.121 t/ano, de acordo com o último Panorama de Resíduos Sólidos da ABRELPE (ABRELPE, 2017).

Apesar das inúmeras vantagens e benefícios, a incineração também apresenta algumas desvantagens. Muitos estudos relatam como os principais problemas desse processo, a liberação de gases tóxicos para atmosfera que podem prejudicar a saúde pública da população que reside próxima às usinas. Elliott et al. (2001) apontam que a exposição da população à emissão de poluentes remanescentes da incineração está associada a um risco aumentado de alguns tipos de câncer, como do estômago e pulmão. Os níveis de câncer de estômago podem estar associados à ingestão de alimentos contaminados no solo pelas cinzas da incineração, como legumes, verduras e ovos.

Tabela 02– Vantagens e desvantagens do processo de incineração.

Incineração	
<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Possível redução de 90% no volume de RSU; - As cinzas resultantes da incineração podem ser utilizadas em materiais da construção civil, como cerâmicas; - A fonte de calor da combustão pode ser usada como geração de vapor/eletricidade; - Diminuição nos custos de transporte, salvo as instalações forem localizadas próximas a centros urbanos; - Diminuição da destinação de RSU para aterros, prolongando a vida útil deste. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto custo de implementação em comparação com outras tecnologias; - Necessidade de pessoal qualificado; - Necessidade de filtros ou outras barreiras para evitar a liberação de gases tóxicos; - A população residente próxima às usinas pode desenvolver doenças respiratórias ou até mesmo alguns tipos de câncer.

Fonte: Soares, 2011; Nascimento, 2014; Dias & Pena, 2016.

2.2.1.4

Digestão anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia ou biodigestão anaeróbia consiste em metabolizar substâncias orgânicas complexas, a partir da ação de microorganismos, produzindo metano, dióxido de carbono, gases em menor quantidade (sulfídrico e hidrogênio) e lixiviado.

Ribeiro (2011) destaca como os principais benefícios da utilização dos biodigestores: produção de biogás, descontaminação biológica e química dos dejetos animais e a geração de biofertilizante por meio de processo anaeróbico.

No Brasil existem 35 usinas de biogás em operação, as quais atingiram 135,279 megawatt (MW) de potência instalada. Este aumento representa 14% de crescimento no ano de 2017 em relação a 2016, no qual a potência instalada era de 118,6 megawatt (MW) (CEISE, 2019). No entanto, cerca de 69% da energia elétrica gerada do Brasil é proveniente das usinas hidrelétricas (MME, 2013 *apud* CARVALHO, 2013). Neste sentido, diante da expansão econômica crescente do país, faz-se necessária a obtenção de fontes energéticas que possam suprir essa demanda, diminuindo, assim, a dependência da geração elétrica a partir da força das águas de rios.

Como a maior parcela dos RSU do Brasil é de origem orgânica, o aproveitamento do biogás produzido através da digestão anaeróbia torna-se uma alternativa bastante promissora que, de certa forma, poderia suprir parte da demanda de energia elétrica. Segundo Teixeira (2009), é possível produzir normalmente cerca de 200 m³ de biogás por tonelada de fração orgânica digerida.

O biogás é formado por uma mistura de diferentes gases: metano (40% – 75%), dióxido de carbono (25% – 40%), nitrogênio (0,5% – 2,5%), oxigênio (0,1% – 1%), ácido sulfídrico (0,1% – 0,5%), amoníaco (0,1% – 0,5%), monóxido de carbono (0 – 0,1%) e hidrogênio (1% – 3%) (CASTANON, 2002). A produção desse gás ocorre em um espectro amplo de temperaturas, mas aumenta significativamente em duas faixas, ditas mesofílica - entre 25-40°C, e termofílica - entre 50-65°C (NASCIMENTO, 2014).

Ao longo do processo da digestão anaeróbia a matéria orgânica passa por degradações sucessivas devido a diferentes tipos de bactérias. Pode-se dizer que esse processo dividido em quatro etapas principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (DAVIS; CORNWELL, 1998). Nas duas primeiras etapas, bactérias hidrolíticas e fermentativas convertem compostos de cadeia longa (carboidratos, lipídeos e proteínas) em compostos de cadeia curta facilmente absorvidos através da parede celular, tais como ácidos graxos voláteis, álcoois, gás carbônico, hidrogênio e acetato. Na acetogênese, bactérias acetogênicas transformam os ácidos graxos e álcoois em ácido acético, hidrogênio e gás carbônico. Por último, na metanogênese, as arqueias metanogênicas

hidrogenotróficas convertem o hidrogênio e gás carbônico em metano, enquanto as metanogênicas acetoclásticas utilizam o acetato (FUESS, 2013).

Na Figura 05 encontram-se as reações químicas envolvidas no processo de digestão anaeróbia. As equações químicas, assim como os substratos utilizados em cada etapa, foram descritas segundo Moraes, 2014 apud Pereira et al. (2015):

- *Hidrólise*: que é realizada por enzimas exógenas convertendo particulados em dissolvidos.



- *Acidogênese*: é a metabolização e conversão em compostos mais simples tendo como principal produto ácidos graxos.



- *Acetogênese*: oxidação de subprodutos da fase acidogênica (hidrogênio e acetato) em substratos apropriados para a próxima fase.

- *Metanogênese*: transformação a gás carbônico e metano. Acetoclásticas (geram metano a partir do ácido acético) e hidrogenotróficas (geram metano a partir de gás carbônico e gás hidrogênio).

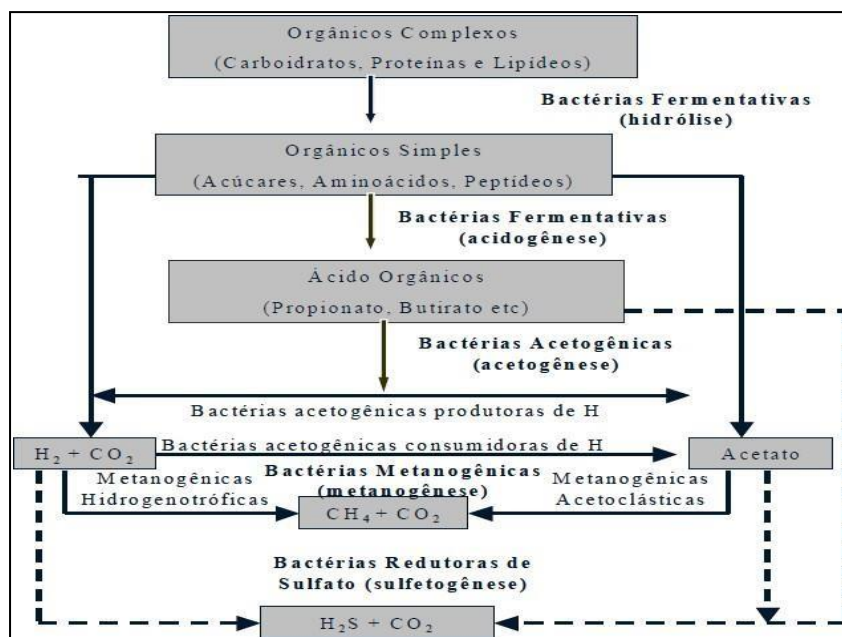


Figura 05 - Esquema das reações metabólicas envolvidas na digestão anaeróbia. Fonte: Chernicharo, 1997.

Para que se haja uma boa otimização da produção de biogás, é necessário que alguns fatores sejam monitorados e manipulados adequadamente. Pereira et al., 2015, sugerem os seguintes fatores:

- *Temperatura*: o controle da temperatura é fundamental para o metabolismo das metanogênicas, pois uma variação de 3°C já é o suficiente para causar a morte da maioria das bactérias (METZ, 2013);
- *Umidade*: a água fornece o substrato e nutrientes requeridos para o metabolismo dos micro-organismos, sendo também fundamental (LOPES *et al.*, 2002);
- *Tipo de resíduo*: essencialmente os resíduos devem ser majoritariamente orgânicos, sejam de origem animal ou vegetal;
- *pH*: O ideal é o pH neutro, em torno de 7 (SAWAZAKI *et al.*, 1985);
- *Relação C/N*: A relação ideal está na faixa de 20 a 30 partes de carbono para uma de nitrogênio (METZ, 2013);
- *Agitação*: a agitação facilita a liberação do gás preso no interior além de uma mistura homogênea do substrato e da população bacteriana, evitando assim a formação de crosta na superfície;
- *Inibidores*: a presença de antibióticos, detergentes e metais pesados podem inibir o processo de biometanização (MEREGE, 2011);
- *Alcalinidade*: a presença de substâncias de caráter básico cria um efeito “tampão” para que o pH não diminua tanto. Valores típicos de alcalinidade para digestão anaeróbica estão entre 1500 e 7500 mg CaCO₃/L (MEREGE, 2011).

Além da realização da triagem dos resíduos, a manutenção operacional dos digestores deve ser feita diariamente, uma vez que o processo se desequilibra facilmente e o retorno à atividade normal pode ser demorado ou inviável (CHERNICHARO, 2000) e, conseqüentemente, pode afetar o desempenho dos micro-organismos.

2.2.2

Disposição final dos RSU

Sem dúvida a disposição final do RSU é um dos grandes desafios nas cidades do mundo todo. Desde o final do século XIX, os países desenvolvidos já

apresentavam uma certa preocupação com o meio ambiente e com os possíveis impactos que as atividades humanas poderiam desencadear.

Por outro lado, o crescimento exarcebado das cidades e do consumo de materiais e insumos em países em desenvolvimento e subdesenvolvidos, sobretudo na metade do século XX, aumentaram a quantidade de geração de resíduos. Como solução imediata adotada, no Brasil as formas de disposição final mais adotadas foram aquelas em que os resíduos são aterrados sem tratamento prévio, isto é, em lixão.

Segundo a ABRELPE (2017), existem lixões em todos os estados brasileiros, os quais receberam cerca de 35.368 toneladas de resíduos por dia, com um aumento de 0,5% em relação a 2016, enquanto houve apenas um aumento de 0,1% de destinação a aterros sanitários em relação ao ano anterior (114.189 para 115.801 t/dia). Tais aspectos podem ser observados na Figura 06.

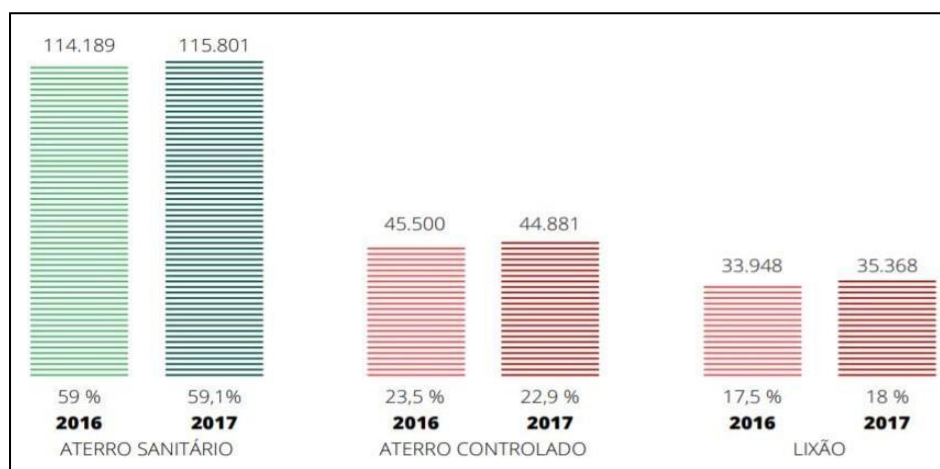


Figura 06 - Locais de destinação final de RSU no Brasil em 2016 e 2017. Fonte: Adaptado de ABRELPE, 2017.

Desde a aprovação da PNRS (2010), o prazo para o fim dos lixões no Brasil estava estipulado até agosto de 2014, ou seja, os 5.570 municípios brasileiros teriam 4 anos para adequar a gestão de seus resíduos sólidos. Por se tratar de uma meta bastante ambiciosa e diante da precária situação técnica e financeira da maioria dos pequenos e médios municípios brasileiros, muitos ainda possuem lixões ou aterros controlados como locais de disposição final, os quais receberam cerca de 29 milhões de toneladas de resíduos, correspondentes a 40,9% do coletado em 2017 (ABRELPE, 2017).

Já que a maioria dos municípios brasileiros não cumpriu a meta de acabar com os lixões em 2014, o senado brasileiro aprovou e encaminhou para a Câmara um projeto lei, PL 2289/15, que estabelece novos prazos para o fim dos lixões, que vão de julho de 2018 a julho de 2021, de acordo com o tamanho da população (BRASIL, 2016). Segundo o PL 2289/15, caso aprovado, os prazos para cada município ocorrerão da seguinte forma:

- Até 31 de julho de 2018: capitais de estados e municípios integrantes de região metropolitana;
- Até 31 de julho de 2019: municípios com população superior a 100 mil habitantes e também naqueles cuja mancha urbana da sede municipal esteja situada a menos de 20 quilômetros da fronteira com outros países;
- Até 31 de julho de 2020: municípios com população entre 50 mil e 100 mil habitantes;
- Até 31 de julho de 2021: municípios com população inferior a 50 mil.

Para um melhor entendimento, alguns aspectos e conceitos serão descritos a seguir sobre lixões, aterros controlados e aterros sanitários.

2.2.2.1

Lixão

A definição de lixão pode ser entendida como a disposição dos resíduos sólidos no solo sem critérios técnicos que preservem o ambiente e evitem problemas sanitários (ALCÂNTARA, 2010). Em virtude disso, considera-se o “lixão” como a pior forma de disposição final, conforme pode-se visualizar na Figura 07.

Devido à falta de planejamento, de infraestrutura de serviços urbanos e de conhecimento sobre as possíveis consequências ao meio ambiente, a solução imediata adotada pela maioria dos municípios brasileiros foi o descarte dos resíduos sólidos urbanos em “lixões”.



Figura 07 - Imagem do lixão de Volta Redonda - RJ, em 2009. Fonte: <http://g1.globo.com/rj/sul-do-rio-costa-verde/noticia/2013/05/mp-abre-processo-penal-contra-prefeitura-de-volta-redonda-no-rj.html>.

Muitas pessoas (catadores de lixo), além de viverem em condições insalubres, obtêm a renda familiar dos resíduos recicláveis despejados nesses locais para a venda, e muitas vezes, se alimentam de restos de alimentos encontrados na massa de lixo (MASSUKADO, 2004). De acordo com Neto (2007), os lixões propiciam condições favoráveis (habitats) à proliferação de vetores (moscas, baratas, ratos e mosquitos), que podem alcançar as residências e causar doenças, tornando-se questão de saúde pública.

Além da atração de vetores, a decomposição anaeróbica da matéria orgânica encontrada no lixo produz um líquido denominado de chorume, que possui coloração escura com cheiro desagradável e pode percolar as camadas do solo e atingir as águas subterrâneas (ARAÚJO *et al.*, 2013). Este processo anaeróbico também libera o gás metano, um dos principais gases intensificadores do efeito estufa.

Metais pesados podem estar presentes na composição do lixiviado e são extremamente tóxicos mesmo em pequenas concentrações. Caso a dispersão do lixiviado alcance corpos hídricos utilizados para a agropecuária, os metais pesados poderão acumular-se ao longo da cadeia alimentar e afetar a saúde humana.

Segundo Renou *et al.* (2008), as características do lixiviado podem ser representadas por alguns parâmetros fundamentais, como a demanda química de oxigênio (DQO), relação da demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio (DBO/DQO), pH, nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$), metais pesados, dentre outros. Na Tabela 03 podem ser encontrados estes parâmetros com as

devidas variações na composição do lixiviado gerado em diferentes aterros do Brasil.

Tabela 03 - Variação da composição do lixiviado gerado em aterros brasileiros.

Variável	Faixa máxima	Faixa mais provável
pH	5,7 - 8,6	7,2 - 8,6
Alcalinidade total (mg/L de CaCO ₃)	750 - 11.400	750 - 7.100
Dureza (mg/L de CaCO ₃)	95 - 3.100	95 - 2.100
DBO (mg/L de O ₂)	< 20 - 30.000	< 20 - 8.600
DQO (mg/L de O ₂)	190 - 80.000	190 - 22.300
Óleos e graxas (mg/L)	10 - 480	10 - 170
NTK (mg/L de N)	80 - 3.100	Não há
N-amoniaco (mg/L de N)	0,4 - 3.000	0,4 - 1.800
N-orgânico (mg/L de N)	5 - 1.200	400 - 1.200
P-total (mg/L)	0,1 - 40	0,1 - 15
Sulfeto (mg/L)	0 - 35	0 - 10
Sulfato (mg/L)	0 - 5.400	0 - 1.800
Cloreto (mg/L)	500 - 5.200	500 - 3.000

Fonte: Miorim & Miranda, 2016.

Como a PNRS (2010) instiga o fim dos lixões no Brasil, observa-se que ocorrem adequações a antigos lixões a condição de aterros controlados ou até sanitários na grande maioria dos municípios brasileiros (SCHULER, 2010). No entanto, o ideal que é que se encaminhasse apenas para a construção de aterros sanitários ou outros tratamentos integrados a esse, como compostagem ou incineração, pois, assim como os lixões, os aterros controlados não apresentam critérios eficientes para a preservação ambiental e para a saúde pública.

2.2.2.2

Aterro controlado

O aterro controlado é uma forma de disposição final para RSU em solos, mas que se apresenta como uma melhor opção a frente do lixão. Diferentemente desse último, nos aterros controlados utilizam-se princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, como a cobertura de solo sobre os resíduos dispostos

ao final de cada jornada de trabalho e a compactação para redução de volume (FUNASA, 2006). No entanto, não promovem a coleta e o tratamento do lixiviado e a coleta e a queima do biogás (IBAM, 2001), os quais são grandes causadores de impactos ambientais.

Durante a transformação de um lixão para aterro controlado, esse último mostra-se como uma alternativa mais viável por um tempo determinado até a concretização da solução ambientalmente adequada, por ser menos agressivo do ponto de vista ambiental. Alguns municípios do Estado do Rio de Janeiro dispõem seus resíduos em aterros controlados em fase de saturação e com operação ineficiente, transformando-se em fontes potenciais de contaminação ambiental e de riscos à saúde humana (SAROLDI, 2005).

Por exemplo, o aterro controlado do Morro do Céu, localizado no Município de Niterói-RJ, foi construído em uma área de florestas secundárias e nascentes (SISINNO & OLIVEIRA, 2000), cujo potencial de contaminação ambiental tem sido avaliado em alguns estudos, como os de Pereira Netto et al. (2002) e Sisinno & Moreira (1996).

2.2.2.3

Aterro sanitário

Nos países em desenvolvimento, esse método tem sido a mais importante meta a alcançar, com vistas a um tratamento adequado dos resíduos em alternativa à prática dos lixões. No Brasil já existe um número significativo de aterros sanitários em operação, principalmente nas Regiões Sudeste, Sul e Nordeste. De acordo com os últimos dados da ABRELPE (2017), cerca de 75.135 t/dia, 14.971 t/dia e 15.520 t/dia de resíduos foram dispostos em aterros sanitários nas Regiões Sudeste, Sul e Nordeste, respectivamente, no ano de 2017. No entanto, para este mesmo ano, cerca de 4.410 t/dia de resíduos foram dispostos nesta mesma disposição na Região Norte, enquanto que foram 4.523 t/dia dispostos em lixões nesta mesma região (ABRELPE, 2017), os quais são as piores formas possíveis de disposição final para resíduos.

Ao contrário com o que ocorre em países em desenvolvimento, observa-se uma tendência na diminuição da utilização de aterros sanitários para a destinação de RSU em países desenvolvidos. Nos Estados Unidos, por exemplo, os aterros

eram predominantes na década de 60, no entanto com o desenvolvimento tecnológico, aumento da consciência ambiental pela população e o surgimento de novas opções de destinação, como reciclagem, compostagem e incineração, esses fatores reduziram gradativamente a utilização de aterros (SANTOS, 2011). Essas tendências podem ser observadas na Figura 08.

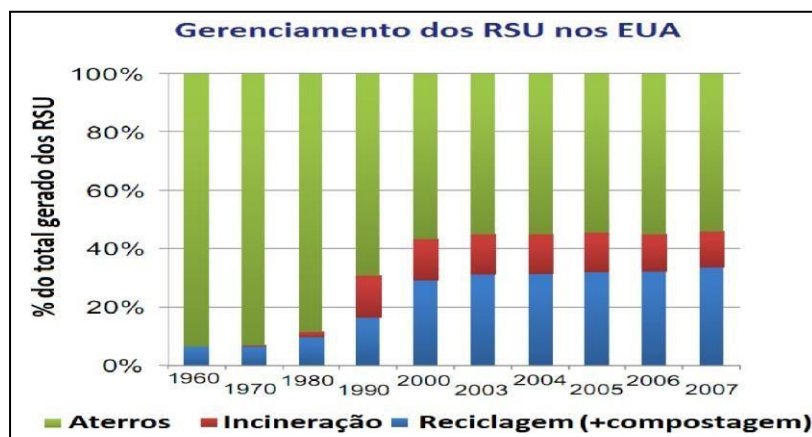


Figura 08 - Gerenciamento de resíduos nos Estados Unidos com a série histórica desde 1960 até 2007. Fonte: US EPA, 2008 *apud* Santos, 2011.

De acordo com a NBR 13896 (ABNT, 1997), o aterro sanitário é a forma de disposição de RSU que obedece a critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permitindo o confinamento seguro em termos de controle da poluição ambiental e proteção a saúde pública. Eles são constituídos por células de disposição em que ocorre a compactação dos resíduos, o recobrimento do maciço, instalação do sistema de drenagem, coleta de gases e o tratamento do lixiviado, além da impermeabilização de base e monitoramento geotécnico e ambiental.

Dentre algumas vantagens dos aterros sanitários está a diminuição a poluição ambiental, quando bem executado, planejado e monitorado corretamente, conforme a Figura 09. Eles representam uma situação mais favorável do ponto de vista sanitário em relação às outras formas de disposição, por restringir o acesso de catadores, a proliferação de vetores, poluição do ar, água e o espalhamento do material no entorno, quando gerenciados de forma eficiente (BOSCOV, 2008).

Em termos econômicos, os custos para a manutenção são relativamente baixos, a partir de uma escala de sustentabilidade definida pelo porte de operação, quando comparados com outras tecnologias, como a incineração, podendo ser complementado com outra tecnologia, principalmente com o aproveitamento do

CH₄, que pode ser transformado em energia. Tal aspecto demonstra que o Brasil poderia usufruir deste tipo de energia, havendo mais investimentos nessa área e que se investisse adequadamente poderia abastecer uma parte dos 1,3% de domicílios sem energia elétrica (IBGE, 2010).

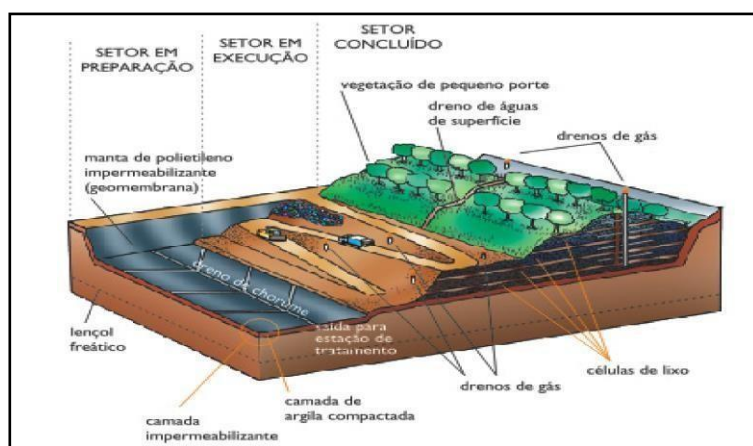


Figura 09 – Ilustração de um sistema de aterro sanitário. Fonte: Urban, 2010 *apud* Santos, 2011.

Para a escolha do local apropriado para a implantação de um aterro sanitário deve-se, primeiramente, observar o tamanho populacional do município. Em cidades pequenas como o volume de geração é baixo, o custo para a implantação não se torna viável economicamente, enquanto que para cidades grandes ocorre o oposto, tornando-se mais viável. Além disso, outros fatores precisam ser considerados, como: a distância dos centros geradores para o local de disposição, as restrições de localização, a disponibilidade da área, o acesso a área, as condições do solo, as condições climatológicas, as condições ambientais locais e as condições geológicas e hidrogeológicas (SOARES, 2011).

Áreas sensíveis, devido ao seu grande valor ecológico, não estão aptas para a instalação de aterros. De acordo com NBR 13896 (ABNT, 1997), áreas sensíveis são “Áreas de recarga de aquíferos, áreas de proteção de mananciais, mangues e habitat de espécies protegidas, áreas de preservação permanente conforme declaradas pelo Código Florestal, ou áreas de proteção ambiental – APAs”.

A escassez de espaços grandes disponíveis em regiões metropolitanas do Brasil e de outros países em desenvolvimento está cada vez maior, devido ao crescimento acelerado e desordenado das cidades. Em virtude disso, o custo de terras disponíveis nessas regiões está altíssimo, o que acaba favorecendo a implantação de aterros em locais mais afastados e, conseqüentemente, encarece o

custo de transporte, além de aumentar os riscos de acidentes e poluição ao longo do trajeto.

A maior preocupação na utilização dos aterros sanitários como forma de destinar os RSUs são os passivos ambientais gerados durante as operações, que ainda perduram por muitos anos após o seu encerramento, inviabilizando a utilização de grandes áreas por longos períodos (SANTOS, 2011). Essas áreas estagnadas podem, ao longo do tempo, comprometer a qualidade do solo, da água e do ar, por serem fontes de compostos orgânicos voláteis, pesticidas, solventes e metais pesados, entre outros (GIUSTI, 2009).

O tempo de vida útil de um aterro sanitário recomendado pela NBR 13896 (ABNT, 1997) é de no mínimo 10 anos, considerando as dimensões da área sujeita a implantação do aterro, suas características topográficas, a geração de resíduos e o crescimento populacional. No entanto, com o aumento do consumo e, conseqüentemente, da geração de resíduos nas grandes cidades, esse tempo de vida poderá diminuir.

Outra desvantagem apontada por Gomes et al. (2012) está em relação a produção do gás metano nos aterros sanitários. Esses autores relatam que para erradicar a utilização de lixões, muitos municípios optam por aterros sanitários que, embora no Brasil sejam opções tecnológicas consideradas adequadas, em países desenvolvidos não são considerados ambientalmente corretos, pois mesmo com os sistemas de coleta e queima do biogás gerado, uma porção significativa deste gás não é captada pelo sistema, sendo então emitida diretamente para a atmosfera.

2.3

Remediação ambiental

2.3.1

Aspectos gerais e objetivos

De acordo com o inciso XVII do artigo 6º da Resolução CONAMA N.º420/2009, de 28 de dezembro de 2009, a remediação ambiental é definida como uma das ações de intervenção para reabilitação de área contaminada, que consiste em aplicação de técnicas, visando à remoção, contenção ou redução das concentrações de contaminantes (BRASIL, 2009). As técnicas de remediação vêm

sendo utilizadas amplamente para recuperar a qualidade de solos, águas subterrâneas e superficiais, em função da produção de quantidades cada vez maiores de resíduos, oriundos de atividades potencialmente poluidoras que causam impactos ambientais significativos nestes meios.

Quanto maior a presença de atividades industriais em uma determinada área, maiores são as chances de haver a contaminação de águas subterrâneas, ar ou solos. A emissão dos poluentes ou contaminantes resultantes das atividades industriais pode concentrar-se em nestes compartimentos, além de poderem concentrar-se nas paredes, nos pisos e nas estruturas de construções, gerando passivos ambientais.

Para Martins & De Luca (1994),

[...] os passivos ambientais referem-se a benefícios econômicos que serão sacrificados em função de obrigação contraída perante terceiros para preservação e proteção ao meio ambiente. Têm origem em gastos relacionados ao meio ambiente, que podem constituir-se em despesas do período atual ou anteriores, aquisição de bens permanentes, ou na existência de riscos de esses gastos virem a se efetivar (contingências).

Já Galdino et al. (2002), definem passivos ambientais como:

“uma obrigação adquirida em decorrência de transações anteriores ou presentes, que provocaram ou provocam danos ao meio ambiente ou a terceiros, de forma voluntária ou involuntária, os quais deverão ser indenizados através da entrega de benefícios econômicos ou prestação de serviços em um momento futuro.”

De maneira geral, o termo passivo ambiental baseia-se nos impactos ambientais causados ou que possam a vir surgir por uma determinada atividade humana, em operação ou cessada, que devem ser identificados e reparados a fim de restabelecer a qualidade ambiental de um determinado local, sem haver qualquer risco de contaminação ou dano à saúde pública ou aos ecossistemas naturais.

Segundo Sanchez (2001), os passivos ambientais também podem gerar como impactos sociais: risco à segurança dos indivíduos e da propriedade, redução do valor imobiliário da propriedade e restrições ao desenvolvimento urbano.

Entre as décadas de 40 e 50, houve um rápido crescimento da industrialização e da urbanização no Brasil. As indústrias automobilísticas tiveram seu crescimento acelerado, facilitadas pela construção de rodovias e por incentivos do governo. Em 1943, foi instalada a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), que foi responsável pela produção do aço, e, em 1953, foi instituída uma das mais

poderosas empresas da atualidade: a Petrobras. As matérias-primas produzidas por estas empresas, sobretudo o petróleo da Petrobras, possibilitou o crescimento e o desenvolvimento de diversos tipos de indústrias e até mesmo de cidades, como Macaé na Região dos Lagos no Estado do Rio de Janeiro.

Entretanto, durante todo o crescimento ao longo das décadas seguintes, sejam das cidades ou das indústrias, não houve qualquer preocupação com a preservação do meio ambiente, havendo muitas áreas contaminadas por substâncias perigosas ou resíduos dispostos inadequadamente. Como exemplos de compartimentos ambientais potenciais armazenadores de contaminantes, podemos citar: o solo, os sedimentos, as águas subterrâneas e superficiais. Vale lembrar que os poluentes podem ser transportados a partir destes compartimentos, propagando-se por diferentes vias, como, por exemplo, o ar, o solo, as águas subterrâneas e superficiais, alterando suas qualidades e impondo impactos negativos sobre os bens a proteger, localizados na própria área ou em seus arredores (SILVA, 2007).

Estima-se que no Brasil podem existir mais de 20 milhões de toneladas de resíduos industriais perigosos em situação de se tornarem passivos ambientais (ÁVILA, 2002). Apenas no Estado de São Paulo, em dezembro de 2012, havia 4.572 áreas cadastradas pela Companhia Ambiental do Estado São Paulo (CETESB) como área contaminada sob investigação, contaminadas, em processo de remediação ou remediadas (CETESB, 2015).

No cenário internacional é notório também que os dados de áreas contaminadas são preocupantes. Nos Estados Unidos da América (EUA), até o ano 2000, foram registradas 63.000 áreas contaminadas. Em outros países, sobretudo na Europa, o problema também é evidente: a Holanda possui algo em torno de 60.000 áreas contaminadas; a Alemanha apresenta cerca de 55.000 áreas contaminadas; e na França este quantitativo é da ordem de 3.500 (CETESB *apud* SILVA, 2007). Os principais meios de transferência de poluentes nos compartimentos ambientais encontram-se no esquema da Figura 10.

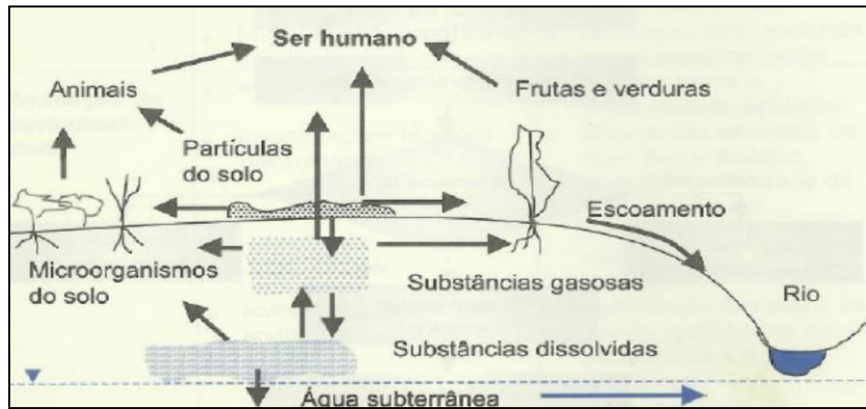


Figura 10 - Fluxo de propagação de poluentes em diferentes meios. Fonte: Schianetz, 1999.

As áreas industriais, comerciais, lixões ou depósitos de lixo abandonadas ou inutilizadas, são chamadas de *brownfields*. De maneira geral, são áreas as quais apresentavam empreendimentos que um dia foram desativados, sofreram a ação do tempo, e foram degradadas naturalmente, transformando-se em zonas mortas (SILVA, 2007).

Nos Estados Unidos, o termo *brownfield* é bastante difundido no cotidiano da população e legalmente conhecido desde 1980, na seção 101 da CERCLA (*Comprehensive Environment Response, Compensation, and Liability Act*) (VASQUES, 2006). McKeehan (2000) apud Vasques (2006) estima que existam mais 600.000 *brownfields* no país e a origem dos mesmos é, geralmente, o legado do passado urbano-industrial. A EPA (*Environmental Protection Agency*), principal órgão responsável pelos programas para redensolvimento dos *brownfields*, vem atuando ativamente para o controle e recuperação destas áreas.

Sánchez (2004) ressalta que o termo *brownfield* não deve ser confundido com o de área contaminada. Para tanto, ele diz que nem toda área contaminada é um *brownfield*, como é o caso de áreas contaminadas localizadas em indústrias ativas (terreno industrial contaminado).

Segundo Leite & Cortez (2006), os aterros ou lixões desativados são:

“*brownfields* / entraves espaciais quando permanecerem sem recuperação após sua desativação, quando contribuem para desvalorizar o entorno e enquanto não são reintegrados à dinâmica urbana com novas funções. Nessas condições, são espaços desperdiçados que dificultam o uso mais eficiente do espaço e provocam descontinuidades espaciais quando atingidos pelo crescimento urbano.”

Ainda de acordo com estas autoras, são áreas que apresentam todas ou algumas das características seguintes:

- Sem funcionalidade na dinâmica espacial na qual estão inseridas;
- Contaminadas e gerando problemas ambientais durante alguns anos, como a emissão de gases e lixiviados, que afetam a saúde das populações vizinhas;
- Necessidade ações de intervenção para agilizar sua recuperação ambiental, de modo a diminuir os riscos para o uso sequencial das mesmas.

Compostos orgânicos, como os POPs (Poluentes Orgânicos Persistentes), derivados dos subprodutos do petróleo e poluentes emergentes, como fármacos e produtos de cuidados pessoais estão entre os poluentes com maior potencial de degradação ambiental (FRANCO, 2015). Seus efeitos ao meio ambiente merecem atenção, uma vez que podem se acumular nos principais compartimentos ambientais, como solo e águas subterrâneas, e ao longo da cadeia alimentar.

A Tabela 04 mostra outros tipos de fontes de contaminação de água subterrânea e solo.

Tabela 04 – Fontes de contaminação de água subterrânea e solo.

Tipo	Característica	Exemplos
I	Fontes projetadas para descarga de substâncias.	- Fossa séptica; - Poços de injeção.
II	Fontes projetadas para armazenar, tratar e/ou dispor substâncias; descargas através de vazamentos.	- Aterros sanitários; - Lagoas de decantação; - Barragens de rejeitos.
III	Fontes projetadas para transporte de substâncias.	- Oleodutos; - Tubulações; - Vazamentos durante transporte
IV	Fontes que descarregam substâncias como consequência de outras atividades.	- Irrigação; - Drenagem de mineração; - Drenagem urbana.
V	Fontes que induzem uma alteração no padrão de fluxo subterrâneo.	- Escavação de produção; - Escavações subterrâneas.
VI	Fontes que ocorrem naturalmente e que podem ser influenciadas pela ação antrópica.	- Interação entre água superficial e subterrânea; - Intrusão de água salgada; - Lixiviação natural.

Fonte: Adaptado de Fetter, 1993.

O solo é capaz de reter sedimentos para corpos hídricos, promover a ciclagem de nutrientes e favorecer o ciclo da água. A presença de microorganismos, matéria orgânica, sais e minerais, em equilíbrio na sua constituição, permitem a vida da Terra (DINIZ FILHO *et al.*, 2007). No entanto, existe uma escassez de dados em relação à contaminação dos solos por hidrocarbonetos, compostos considerados persistentes por longo período no ambiente se comparados com aqueles disponíveis para a contaminação de ecossistemas aquáticos (MARANHO *et al.*, 2009).

Aproximadamente 97,5 % do volume total de água do planeta está presente nos oceanos, mares e lagos na forma de água salgada (SHIKLOMANOV, 1998). Na parte formada pela água doce, mais de 2/3 estão nas calotas polares e geleiras, inacessíveis para o uso humano pelos meios tecnológicos atuais. Nesta parcela a água subterrânea corresponde a 97,5%, perfazendo um volume de 10,53 milhões de km³ (DRM-RJ, 2016).

Além de ser fundamental a preservação da qualidade das águas subterrâneas para o abastecimento público e para toda a biodiversidade, elas são essenciais para a manutenção da umidade solo, do fluxo dos rios e lagos. Entretanto, os compostos orgânicos, constituídos, sobretudo, por espécies benzeno, tolueno e xilenos (BTXs), são as principais ameaças para a contaminação destas águas, pois são, geralmente, encontrados em vazamentos em tanques de estocagem (MOHAMMED *et al.*, 1997).

Como as atividades humanas afetam direta e indiretamente os recursos naturais, principalmente da água e do solo, a preservação destes é necessária para obter-se uma qualidade ambiental adequada. Em se tratando de contaminação por lixões, as ações corretivas devem ser priorizadas, assim como muito bem planejadas para que ocorra uma remediação eficiente, já que é comum a presença de uma grande variedade de contaminantes e poluentes que afetam a qualidade ambiental. Assim, as técnicas de remediação ambiental são fundamentais para restabelecer as condições ambientais propícias para a manutenção da vida.

2.3.2

Técnicas de remediação

Após o encerramento das atividades de um lixão, as tecnologias de remediação representam uma alternativa para obter êxito na minimização dos

impactos, possibilitando, assim, a mitigação dos passivos ambientais. Vale lembrar que este tipo de disposição não é mais permitido pela legislação ambiental brasileira, pois gera diversos impactos ambientais que, muitas vezes, demandam longos períodos para a remediação da área.

A remediação será bem sucedida quando houver conhecimento, além das características hidrogeológicas do local, das propriedades físico-químicas do contaminante (solubilidade, volatilidade, densidade, alcalinidade, viscosidade), da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, sondagens e caracterização geotécnica do local.

As tecnologias disponíveis para remediação de uma área contaminada são classificadas em dois tipos: *in situ* e *ex situ*. A primeira envolve aplicações em que os contaminantes são removidos do solo contaminado, sem a necessidade de escavar o local, ou seja, o tratamento é realizado no mesmo local em que se deu a contaminação. Já as técnicas *ex situ* requerem a escavação ou qualquer outro processo para remover o solo contaminado antes do seu tratamento que pode ser realizado no mesmo local (*on site*) ou fora dele (*off site*).

Recomenda-se ainda um estudo técnico-econômico para analisar a viabilidade de determinada técnica de remediação a ser implantada na área de estudo, a fim de se evitar custos excessivos envolvidos no projeto. Neste sentido, vale lembrar que as tecnologias *in situ*, geralmente, apresentam custos menores por não haver necessidade de escavação, mas levam mais tempo para o tratamento. Já as tecnologias *ex situ* levam menos tempo para o tratamento, embora exijam maiores custos para equipamentos e equipe de engenharia. A Figura 11 apresenta um esquema com as principais técnicas empregadas nestes tipos de remediação.

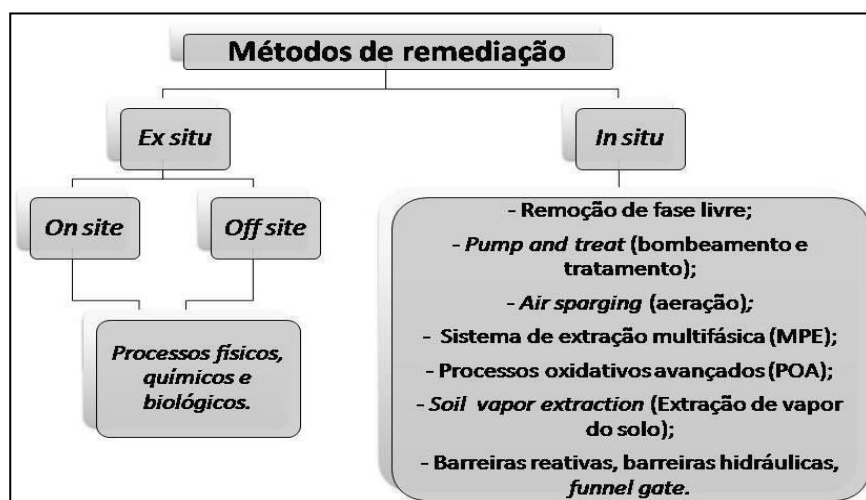


Figura 11 - Métodos de remediação de áreas degradadas. Fonte: Adaptado de FIEMG, 2011.

Considerando as áreas contaminadas por lixões, a desativação dos mesmos é feita, muitas vezes, através do simples abandono e fechamento da área, sem critérios técnicos adequados (SALVADOR, 2012). Diante da grande probabilidade de riscos e impactos ambientais, os lixões devem ter suas atividades encerradas de maneira tecnicamente correta ou até mesmo utilizando técnicas de remediação que minimizem ou cessem os impactos, tendo em vista como objetivo técnico tornarem-se aterros sanitários ou outra alternativa economicamente viável, como áreas de lazer.

Na Tabela 05 encontram-se algumas medidas técnicas incorporadas na remediação de lixões e de suas áreas de influência, baseando-se em alguns estudos de caso, trabalhos acadêmicos e documentos técnicos.

Tabela 05 – Técnicas e medidas de gerenciamento de lixões.

Técnicas/Medidas	Observação
Isolamento e vigilância da área	Evita possíveis riscos de contaminação à saúde pública; controle do acesso e a proliferação de vetores; evita o descarte de resíduos clandestinos.
Bombeamento e Tratamento (<i>Pump and Treat</i>) e SVE (extração de vapores)	Considerando o espaço físico e a viabilidade financeira, estes são úteis para corrigir as condições do terreno.

Biorremediação/fitorremediação	Utiliza micro-organismos ou plantas capazes de degradar substâncias perigosas, encontradas nos resíduos, e torná-las menos danosas. Metais pesados, geralmente, não são degradados por estes organismos.
Recobrimento/Cobertura dos resíduos	Reduz criadouros de vetores de doença; diminui odores, poeira e particulados; evita a exposição de resíduos; diminui a formação de lixiviados.
Captação e tratamento de percolados	Reduz a contaminação de águas superficiais e subterrâneas e do solo e subsolo. É ideal aplicar, já havendo a impermeabilização total do maciço de lixo com manta impermeabilizadora de polietileno de alta densidade (PEAD), e aplicar outras tecnologias, como sistema de lagoas de retenção; a aplicação de tratamentos biológicos; aplicação de tratamentos biológicos aeróbios com remoção de nitrogênio em sistemas de lodos ativados.
Disposição Adequada e Segura dos Resíduos dos Serviços de Saúde	É necessário ter uma área destinada para o recebimento e posterior tratamento dos resíduos de saúde, principalmente com o uso de autoclaves. Caso não possua, o ideal é não destinar os resíduos para o local e/ou contratar uma empresa especializada para a destinação adequada.
Monitoramento da qualidade de águas superficiais e subterrâneas	Visa verificar periodicamente os parâmetros físico-químico e biológicos de qualidade de água, assim como os possíveis riscos de contaminação por lixiviados.
Monitoramento da qualidade do solo	Visa verificar periodicamente os parâmetros físico-químico e biológicos de qualidade do solo, realizar sondagens para conhecer o estágio de decomposição dos resíduos e das condições de estabilidade e permeabilidade do solo.
Impermeabilização do solo	Protege a fundação do maciço de resíduos, evitando a contaminação do subsolo e aquíferos subjacentes, pela migração do lixiviado e/ou biogás.
Tratamento de resíduos gasosos	Realiza-se a combustão controlada, cuja execução faz-se fora da célula, por meio de sistema de extração forçado e destruição térmica dos componentes orgânicos do biogás à baixa temperatura. Além disto, recomenda-se a reutilização, através da combustão de biogás, para geração de energia e para geração de energia térmica.
Investigação geológica	Tem como objetivo mostrar a altura das camadas de resíduos, aterro e nível do lençol freático. Assim, é possível ter uma estimativa da quantidade de resíduos que foram depositados.

Revegetação da área	Busca-se minimizar a erosão do solo por meio do rápido estabelecimento das raízes.
Implantação de um sistema de drenagem de águas pluviais	Visa assegurar o fluxo normal das águas superficiais para evitar o acúmulo de águas pluviais. Ressalta-se que deve haver manutenção e limpeza constante do sistema.

Fonte: Cavazzana et al., 2012; Salvador, 2012; Souza, 2013; Silva et al., 2014; Nascimento et al., 2018.

2.3.3

Investigação e recuperação de áreas contaminadas

As grandes quantidades de resíduos depositados inadequadamente em solo evidenciam claramente que compostos orgânicos podem permanecer num sítio por longos períodos de tempo (MACHADO *et al.*, 2013). Sendo assim, há uma enorme demanda por tecnologias de remediação, que visem à completa remoção de poluentes em baixas concentrações e metodologias analíticas que permitam o isolamento e detecção de tais compostos.

Para que seja possível a remoção ou atenuação de compostos poluidores nos compartimentos ambientais, é necessário maior rigor no gerenciamento de áreas contaminadas. Para tanto, sempre que houver alguma suspeita quanto à existência de contaminação, é importante realizar investigações de campo para comprovar ou refutar a mesma; além do mais, estes trabalhos são, em geral, custosos, podendo representar uma porcentagem considerável do valor do terreno (SILVA, 2007).

De acordo com o Arend et al. (2011), o gerenciamento de áreas contaminadas pode ser definido como:

“o conjunto de medidas tomadas com o intuito de minimizar o risco proveniente da existência de áreas contaminadas, à população e ao meio ambiente, proporcionando os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas.”

No gerenciamento de áreas de contaminadas, deve-se preocupar primordialmente com a proteção e preservação dos “bens a proteger”. Segundo a Resolução N.º 420/2009, os bens a proteger podem ser definidos por:

“a saúde e o bem-estar da população; a fauna e a flora; a

qualidade do solo, das águas e do ar; os interesses de proteção à natureza/paisagem; a infraestrutura da ordenação territorial e planejamento regional e urbano; a segurança e ordem pública”.

O gerenciamento, segundo a Resolução CONAMA nº420/2009, contém três etapas: identificação, diagnóstico e intervenção. Na etapa de investigação são feitos os seguintes estudos para confirmar a suspeita de contaminação:

- Definição da região de interesse;
- Identificação de áreas potencialmente contaminadas;
- Avaliação preliminar;
- Investigação confirmatória.

Já o processo de recuperação de áreas contaminadas tem como objetivo principal, a aplicação de medidas corretivas necessárias para isolar, conter, minimizar ou eliminar a contaminação, visando à utilização da área para um determinado uso. Nesta parte, adota-se o princípio da “aptidão para o uso”. Segundo Silva (2007), este princípio:

“é mais viável técnica e economicamente em países onde os recursos são escassos do que o princípio da “multifuncionalidade” (restaurar as condições naturais, viabilizando todos os tipos de uso de uma área), que vem sendo abandonado pela maioria dos países.”

A tabela 06 mostra, de maneira resumida, as principais atividades a serem desenvolvidas em cada uma das etapas da metodologia.

Tabela 06 – Principais atividades desenvolvidas na remediação.

Identificação	Definição da região de Interesse	Definição dos limites da região a ser abrangidos pelo gerenciamento e estabelecidos os objetivos principais a ser alcançados por este, considerando os principais bens a proteger. A região de interesse pode ser um estado, um município, uma área industrial, entre outras.
	Identificação de áreas potencialmente contaminadas	Identificação das áreas existentes na região de interesse onde são ou foram manipuladas substâncias, cujas características físico-químicas, biológicas e toxicológicas possam causar danos aos bens a proteger, caso estas entrem em contato com os mesmos. Estes dados devem ser tratados e apresentados em base cartográfica com escala apropriada.

	Avaliação Preliminar	Avaliação inicial, realizada com base nas informações históricas disponíveis e inspeção do local, com o objetivo principal de encontrar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação na área.
	Investigação Confirmatória	Etapa do processo de identificação de áreas contaminadas que tem como objetivo principal confirmar ou não a existência de substâncias de origem antrópica nas áreas suspeitas, no solo ou nas águas subterrâneas, em concentrações acima dos valores de investigação. O processo de confirmação da contaminação se dá basicamente pela análise de amostras de solo e/ou água subterrânea.
Recuperação	Investigação Detalhada	Etapa do processo de gerenciamento de áreas contaminadas, que consiste na aquisição e interpretação de dados em área contaminada sob investigação, a fim de entender a dinâmica da contaminação nos meios físicos afetados e a identificação dos cenários específicos de uso e ocupação do solo, dos receptores de risco existentes, dos caminhos de exposição e das vias de ingresso.
	Avaliação de risco	Processo pelo qual são identificados, avaliados e quantificados os riscos à saúde humana ou a bem de relevante interesse ambiental a ser protegido. A quantificação é baseada em princípios de toxicologia, química e no conhecimento sobre o comportamento e transporte dos contaminantes.
	Investigação para Remediação	Seleção, dentre as várias técnicas existentes, aquelas, ou a combinação destas, que são possíveis, apropriadas e legalmente permissíveis para o caso considerado.
	Projeto de Remediação	Deverá ser confeccionado para ser utilizado como base técnica para o órgão gerenciador ou órgão de controle ambiental, avaliar a possibilidade de autorizar ou não a implantação e operação dos sistemas de remediação propostos. Este projeto deverá conter todas as informações sobre a área contaminada, levantadas nas etapas anteriores do gerenciamento, além de planos detalhados de segurança dos trabalhadores e vizinhança e de implantação e operação do sistema de remediação, contendo procedimentos, cronogramas e o plano de monitoramento da eficiência do sistema, com os pontos de coleta de dados definidos, parâmetros a ser analisados, frequência de amostragem e os limites ou padrões definidos como objetivos a serem atingidos pela remediação.
	Remediação da AC	Implementação de medidas que resultem no saneamento da área e/ou na contenção e isolamento dos contaminantes, de modo a atingir os objetivos definidos no projeto.
	Monitoramento	Medição ou verificação, que pode ser contínua ou periódica, para acompanhamento da condição de qualidade de um meio ou das suas características.

Fonte: Adaptado de Arend *et al.*, 2011; Brasil, 2016.

A tabela 07 mostra algumas normas técnicas brasileiras específicas para a remediação ambiental de áreas contaminadas.

Tabela 07 – Normas técnicas brasileiras para remediação ambiental.

Avaliação Preliminar	ABNT NBR 15515- 1:2007	Estabelece procedimentos mínimos para avaliação preliminar de passivo ambiental visando a identificação de indícios de contaminação do solo e água subterrânea.
Investigação Confirmatória	ABNT NBR 15515- 2:2011	Estabelece os requisitos necessários para o desenvolvimento de uma investigação confirmatória em áreas onde foram identificados indícios reais ou potenciais de contaminação de solo e água subterrânea após a realização de uma avaliação preliminar, conforme a ABNT NBR 15515-1.
Investigação Detalhada	ABNT NBR 15515- 3:2013	Estabelece os procedimentos mínimos para a investigação detalhada de áreas onde foi confirmada contaminação em solo ou água subterrânea com base em série histórica de monitoramento, avaliação preliminar, investigação confirmatória ou estudos ambientais.
Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares	ABNT NBR 15495- 1:2007	Fixa os requisitos exigíveis para a execução de projeto e construção de poços de monitoramento de águas subterrâneas em meios granulares.
Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares	ABNT NBR 15495- 2:2008	Apresenta métodos e procedimentos aplicáveis no desenvolvimento de poços de monitoramento instalados em aquíferos granulares, construídos e instalados de acordo com as condições definidas na ABNT NBR 15495-1.
Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimentos	ABNT NBR 15492:2007	Apresenta os equipamentos e descreve métodos de perfuração para a caracterização ambiental de áreas (sondagens ambientais em solo, rocha, para instalação de poços de monitoramento e para outros dispositivos de monitoramento da qualidade da água subterrânea), com as respectivas vantagens e desvantagens que estão associadas aos métodos apresentados. Entretanto, não contempla os métodos de amostragem de solo e de água subterrânea, métodos de construção, desenvolvimento ou instalação de poços.
Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga	ABNT NBR 15847:2010	Estabelece métodos para a purga de poços usados para investigações e programas de monitoramento de qualidade de água subterrânea em estudos e remediação de passivos ambientais.

Fonte: Brasil, 2007_a; 2007_b; 2007_c; 2008; 2010; 2011; 2013.

2.3.4

Contaminação ambiental de lixões desativados

Com a crescente preocupação com o meio ambiente e o aumento da rigidez e de restrições aos usos dos recursos naturais pelas leis ambientais, através de altas penalidades e multas impostas pelas violações ambientais, muitas cidades brasileiras substituíram os lixões por aterros sanitários, preocupadas e atentas também aos perigos que poderiam expor seus habitantes aos passivos ambientais. Estas mudanças foram motivadas, principalmente, pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010).

No caso dos lixões, eles são fechados por impedimento legal e ambiental, uma vez que no Brasil com a Lei N.º 12.305/2010, exige-se a extinção de lixões e aterros controlados em operação no país. No entanto, quando cessadas as atividades nestes locais, muitas vezes elas ocorrem sem qualquer segurança ambiental. Muitos são abandonados e, juntamente com os resíduos deixados no local após anos de operação, podem, por exemplo, liberar substâncias nocivas no solo, de caráter cumulativo e de alta mobilidade, que conseguem se propagar para áreas mais distantes, comprometendo a rede hídrica de superfície e as águas subterrâneas, solos, vegetação, atmosfera e biodiversidade.

Um dos maiores desafios da desativação de lixões, ou mesmo de um aterro sanitário a ser desativado, é, num futuro, dar um uso apropriado e seguro (ao meio ambiente e à saúde pública) da área utilizada durante a operação. Para tanto, é necessário atingir sua estabilização (física, química e biológica) e, posteriormente a esta estabilização (período geralmente não inferior a 10-15 anos) analisar e estudar possíveis formas de uso compatível (D'ALMEIDA, 2000).

Os danos causados ao solo, devido aos anos de operação do lixão, sem qualquer forma de manejo ou tratamento, podem alterar as características físicas, químicas e biológicas. Ainda, nos casos de disposição em encostas, pode ocorrer a instabilidade dos taludes pela sobrecarga e absorção de água da chuva, provocando deslizamentos (ALBERTE *et al.*, 2005 *apud* AREND *et al.*, 2011).

A disposição de diversos tipos de resíduos no lixão pode, ao longo dos anos, acumular detritos de toda natureza, constituindo-se como fonte permanente de poluição do ar pela migração de gases (gás carbônico, metano, gás sulfídrico, por exemplo) e outras substâncias voláteis. O maior problema, portanto, é que, se não

houver intervenção, a migração destes gases poluentes pode prolongar-se por 20 a 50 anos (LIMA, 2005).

A capacidade de diagnosticar a contaminação dos corpos hídricos não é também uma tarefa fácil a ser cumprida, quando um lixão for desativado. As características físicas, como cor e transporte de sedimentos, químicas, como alterações na potabilidade por metais pesados e materiais biológicas, como presença de detritos com agentes patogênicos (bactérias, vírus, fungos, etc.), são os principais problemas a serem reparados tanto nas águas superficiais quanto nas subterrâneas (LIMA, 2005). Vale lembrar que, através destes meios, as plumas contaminantes podem atingir longas distâncias, contaminando ecossistemas naturais, outros compartimentos hídricos (lagos, córregos, nascentes) e, assim, afetar a saúde pública.

A questão mais emblemática é a produção contínua de lixiviado, mesmo após o fim da operação do lixão. Segundo Possami et al. (2007), a geração de lixiviado pode continuar contaminando o ambiente ao longo de décadas. Sendo assim, é recomendável que não utilize áreas próximas ao lixão para práticas agrícolas, pois substâncias químicas encontradas tanto nos resíduos industriais como no lixiviado poderão ser retidas pelo solo e assimiladas pelos vegetais (SISSINO, 2000).

É importante também salientar que é possível encontrar resíduos de serviços de saúde (RSS), como farmacêuticos, perfurocortantes e infectocontagiosos nos lixões. Em virtude dos atuais métodos de tratamento de água, mesmo os mais sofisticados, não serem capazes de remover as substâncias contidas nestes resíduos, tais como hormônios, antibióticos e enzimas, torna o problema ainda mais grave (LIMA, 2005).

2.3.5

Estudos de caso de lixões remediados

Apesar da Resolução CONAMA N.º 420/2009 dispor de informações e diretrizes relevantes para o gerenciamento ambiental adequado de áreas contaminadas, há outros aspectos que também devem ser considerados para uma adequada remediação em se tratando de áreas contaminadas por lixões. Teixeira et al.(2007) relataram em seu trabalho sobre a remediação do Lixão de Salvaterra,

localizado no Município de Juiz de Fora – MG, a importância de dados quantitativos das leituras da instrumentação geotécnica implantada no lixão encerrado, as análises dos gases coletados no sistema de drenagem de gases, além dos resultados do monitoramento das águas superficiais e subterrâneas do entorno, bem como os dados pluviométricos e de caracterização dos lixiviados.

A realização eficiente destas atividades, assim como o atendimento às condicionantes ambientais da Licença de Operação, proporcionou ao Município de Juiz de Fora – MG sua inclusão na lista dos municípios inscritos no ICMS Ecológico, Sub-critério Saneamento (Teixeira *et al.*, 2007). Vale ressaltar que o lixão de operou de 1999 e foi encerrado em 2005 (Teixeira *et al.*, 2007), o que, mesmo gerando impactos ambientais significativos na área, foi possível realizar a recuperação ambiental num curto intervalo de tempo.

A partir desta experiência positiva do Município de Juiz de Fora – MG e da importância dos aspectos apontados por Teixeira et al. (2007) para a realização adequada da remediação de áreas contaminadas por lixões, outros trabalhos nesta mesma temática são detalhados a seguir, considerando os mesmos aspectos propostos por estes autores.

- *Remediação do lixão de Canoas-RS*

Até o ano de 1983, os resíduos sólidos urbanos coletados pelo Município de Canoas-RS, localizado na Região de Metropolitana de Porto Alegre, eram depositados em depressões, banhados e margens de rios. A partir daquele ano o lixo começou a ser depositado a céu aberto, em uma antiga jazida de argila na Fazenda Guajuviras (GODECKE *et al.*, 2012). Esta área está inserida numa APP (Área de Preservação Permanente) de 13 hectares (AMBIÉTICA, 2014). As operações do lixão duraram 11 anos. Devido à ocorrência de um incêndio, o município de Canoas iniciou, em 1994, o processo de remediação, que durou por cerca de dois anos (AMBIÉTICA, 2014).

Em 1998 passou a operar como aterro sanitário, sem que a antiga área fosse totalmente recuperada (GODECKE *et al.*, 2012 *apud* PMC, 2006). Durante o período de operação como aterro controlado foram realizadas as seguintes atividades de recuperação: a impermeabilização com argila, o tratamento de

lixiviado, instalação de drenos de gases e a instalação de um sistema de monitoramento ambiental com 10 poços (AMBIÉTICA, 2014).

A licença de operação do aterro da Fazenda Guajuviras expirou em dezembro de 2010, sendo a destinação final dos resíduos sólidos urbanos realizada por transbordo até o aterro da empresa SIL Soluções Ambientais Ltda, situado no Município de Minas do Leão, localizado a 80 km de distância do Município de Canoas (GODECKE *et al.*, 2012), conforme pode ser visto na Figura 12.



Figura 12 – Vista área do aterro sanitário de Canoas – RS, em 21/06/2014.

Fonte: Ambiética, 2014.

Além de conseguir encerrar as atividades operacionais do seu lixão, o Município de Canoas se destaca por suas ações desenvolvidas no âmbito da gestão municipal de resíduos sólidos urbanos. O município registra uma das experiências de organização de catadores de materiais recicláveis mais antigas do Estado do Rio Grande do Sul (BEM *et al.*, 2017).

Deve-se também destacar as ações desenvolvidas pelo poder público municipal de Canoas em relação à gestão de resíduos, tais como: criar ações educativas para prevenir e reduzir a geração de resíduos sólidos. Tais ações são traduzidas através dos seguintes projetos: Programa Resíduos, Coleta Seletiva Compartilhada - Porta-a-Porta, Projeto Peixe Dourado: Oficinas de Reciclagem, Programa A3P. Há também ações como as capacitações de agentes ambientais da coleta seletiva através dos seguintes programas: Programa Escola Comunidade Mais Educação e Programa Permanente de Educação Ambiental do Comitesinos (BEM *et al.*, 2017).

- *Remediação sustentável do aterro de Sicília, sul da Itália*

Baseando-se nos princípios de Análise de Ciclo de Vida (ACV) e da Análise de Benefício Ambiental Líquido (NEBA), com o propósito de avaliar as mudanças nos valores de recursos naturais associados a diferentes alternativas de manejo do solo em aterros, Roccaro et al. (2013) propuseram uma diretriz para avaliar a sustentabilidade da remediação e de projetos a reutilização da área do aterro de resíduos no município de Sicília, localizado na Região Sul da Itália. Esta diretriz foi baseada em uma abordagem holística que leva em conta todos os fatores relacionados às ações corretivas do local, incluindo fatores político-decisórios, fatores socioeconômicos e fatores técnicos (Roccaro *et al.*, 2013).

O aterro está localizado na parte sul da Sicília, com uma extensão de 157.200 m² e um volume de resíduos de cerca de 700.000 m³ (Roccaro *et al.*, 2013). Como resultado da caracterização do local e análise de risco, dentre as atividades corretivas conduzidas estavam:

- Estabilização de encostas do aterro;
- Contenção por cobertura de aterro (nivelamento);
- Realização de um sistema de coleta e gerenciamento de biogás;
- Realização de um sistema de coleta e gerenciamento de lixiviados;
- Sistema de coleta e descarte de águas superficiais.

Todas estas ações corretivas foram possíveis graças ao financiamento do Comissário responsável pelo órgão público do país, Resíduos de Emergência e Remediação de Locais Contaminado, o qual disponibilizou um montante de € 6577.00 (Roccaro *et al.*, 2013). Após terem feito a remediação local do aterro, Roccaro e seus colaboradores elaboraram, por meio de um diagnóstico ambiental, considerando aspectos sociais, econômicos e ambientais da área, e de estudos técnicos, envolvendo reaproveitamento de águas residuais, do gás e resíduos, purificação do ar, entre outros, um projeto de reutilização da área com fins de reaproveitamento energético, baseado na energia solar.

Para tanto, seria necessário subsídios do governo da Itália através da tarifa de incentivo, que foi reconhecida por 20 anos a partir da data de comissionamento do sistema fotovoltaico (PV). No entanto, deve-se salientar que a taxa de incentivo

(€/ kWh) diminuiu ao longo dos anos. A capacidade instalada seria de 3,0 MW, o custo por kW variável ao longo do tempo, devido à redução do preço de mercado dos painéis fotovoltaicos, e a produção específica de energia seria de 1.400 kWh / kWp (para o valor de irradiação adotado na Sicília) (Roccaro *et al.*, 2013).

Assim, a partir de 2012, com a queda de subsídios do governo italiano, as instalações fotovoltaicas no solo não foram mais permitidas. Dessa forma, Roccaro *et al.* (2013) concluíram que o subsídio para a usina solar é de fundamental importância para a sustentabilidade da restauração de aterros abandonados e, portanto, este subsídio deve ser fornecido pelo governo para casos específicos, dando a devida prioridade e atenção.

2.3.6

Panorama de lixões desativados no Estado do Rio de Janeiro

Pela falta de conhecimento nas últimas décadas, as prefeituras não souberam gerir adequadamente os resíduos sólidos (SÁNCHEZ, 2004), resultando na formação de lixões. Mais recentemente, com grandes avanços nas leis ambientais brasileiras e com novos conhecimentos técnicos, os problemas dos lixões vêm sendo fiscalizados, monitorados e gerando processos judiciais contra prefeitos, como é o caso do Prefeito Antônio Francisco Neto de Volta Redonda – RJ, área de estudo deste trabalho, através de ações do Ministério Público e do INEA.

Mesmo com a aplicação de simples cobranças estatais e formalização de Termo de Ajustamento de Conduta (TAC), tais ações jurídicas não têm sido eficazes na busca de uma solução adequada para o problema (LIMA, 2005). Na verdade, muitas vezes, há municípios que não apresentam recursos financeiros suficientes ou espaços geográficos favoráveis para implantação de aterros ou corpo técnico capacitado e qualificado para solucionar os problemas ambientais provenientes dos lixões. Estes fatores tornam esta questão ainda mais emblemática para ser resolvida.

Neste sentido, no caso do Estado do Rio de Janeiro, o Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro (MPRJ), durante os últimos 16 anos, vem realizando ações coordenadas, por meio de suas Promotorias de Justiça, com o objetivo de erradicar os lixões, recuperar as áreas degradadas e promover a inserção social dos catadores. Muitas das ações realizadas são publicadas em boletins, tornando as

informações sobre a gestão de resíduos sólidos mais acessíveis ao público em geral.

Na última edição do Boletim CAO Meio Ambiente nº 01/2016, foi realizado o panorama da situação dos lixões no Estado do Rio de Janeiro, por meio da colaboração entre o Instituto de Educação e Pesquisa do MPRJ (IEP-MPRJ), o GATE Ambiental e a equipe do projeto “MP em Mapas”, a partir da consolidação de informações extraídas do Programa Lixão Zero, gerido pela Secretaria de Estado do Ambiente (SEA/INEA), do Plano Estadual de Resíduos Sólidos– PERS (SEA, 2013) e da atuação do GATE Ambiental (MPRJ, 2016).

Observa-se na Figura 13 que a concentração de municípios com lixões ativos é pertencente aos consórcios públicos constituídos para gestão de resíduos sólidos com a participação do Estado: Consórcio Noroeste Fluminense; Consórcio Serrana II; Consórcio Vale do Café e Consórcio Centro Sul Fluminense I (MPRJ, 2016). Vale ressaltar que são 25 municípios do Estado do Rio de Janeiro nesta situação, o que corresponde a 27,17% do total de municípios do Estado.

Os municípios que possuem em seu território uma ou mais áreas abandonadas após a desativação do lixão e sem a implantação de medidas adequadas para sua recuperação ambiental representam 46% do total, e os que possuem lixões desativados e já implementaram ações para a remediação/recuperação dos seus lixões, representam 10% do total (MPRJ, 2016)

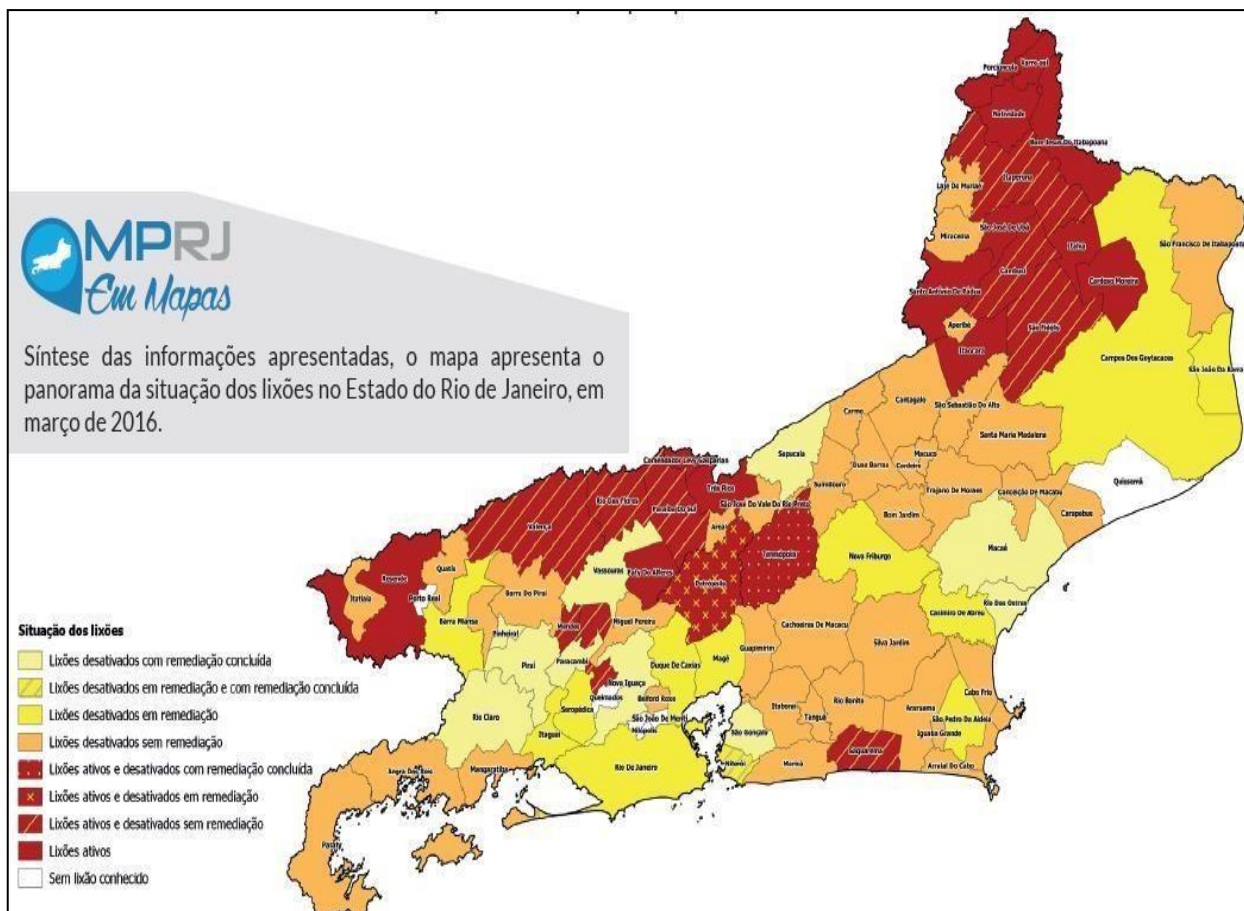


Figura 13 - Mapa com a situação dos lixões no Estado do Rio de Janeiro. Fonte: http://iep.mprj.mp.br/documents/221399/221664/meio_ambiente.pdf, 2016.

Além da ação do MPRJ, o Governo do Estado do Rio de Janeiro, por meio do Programa Lixão Zero, criado em 2007, que visa erradicar todos os lixões do estado, estimula os municípios a realizarem consórcios, com soluções de aterros sanitários regionais, assim o custo operacional é menor e dá mais agilidade no alcance do objetivo. Como resultados deste programa, existem 17 lixões ainda ativos no Estado do Rio de Janeiro, que representam apenas 2% (342 t/dia) dos resíduos sólidos gerados no território fluminense. Além disso, 94,3% do total de 16.971 toneladas/dia já seguem para aterros sanitários e 3,7% para aterros controlados (SEA, 2016).

Há também no Estado do Rio de Janeiro a proposta de arranjos regionais, que são agrupamentos de municípios que, mesmo sem estarem ainda organizados em consórcios intermunicipais, levam seus resíduos para uma central de tratamento de resíduos ou aterro sanitário comum (SEA, 2016). Para demonstrar a atual situação destes arranjos regionais, a Secretária de Estado do Ambiente elaborou um

mapa com os consórcios públicos, arranjos em definição, soluções individuais, e os aterros sanitários, Centrais de Tratamento de Resíduos em operação e previstos, conforme a Figura 14.



Figura 14 - Mapa com arranjos regionais para disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado do Rio de Janeiro. Fonte: SEA, 2016.

Como instrumento facilitador e estimulador para a criação de consórcios intermunicipais e para a gestão adequada de resíduos, a PNRS, Lei 12.305/2010, atribui à União a função de repasse de recursos nos programas voltados para a implementação da política, através da criação de Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), exigidos para Estados e Municípios. Tais planos visam à adequada gestão dos resíduos municipais e estaduais, sendo garantido o repasse de recursos da União àqueles que não operarem mais com lixões. Esta medida também acaba facilitando a implementação das políticas e dos programas governamentais do Rio de Janeiro voltados para esta área, como o Lixão Zero.

De acordo com o Art.18 da PNRS,

“a elaboração do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos é condição para o Distrito Federal e os Municípios terem

acesso a recursos da União, ou por ela controlados, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade.”

A responsabilidade de dispor de forma ambientalmente correta os resíduos sólidos e erradicar lixões é do Poder Público Municipal. Neste sentido, a figura do Prefeito fica em evidência, devendo-se preocupar em mudar suas práticas ambientais e garantir que as leis ambientais sejam cumpridas na íntegra, como a gestão de resíduos.

Os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos devem ser elaborados com um horizonte de 20 anos e revisados a cada 4 anos. No entanto, aqueles municípios que optarem por soluções consorciadas intermunicipais, que é permitido por lei, ficam dispensados da elaboração individual de PMGIRS, em substituição a elaboração de Plano Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Nesta situação, o plano intermunicipal deve seguir o conteúdo mínimo previsto no Art. 19º da PNRS (BRASIL, 2010).

Vale ressaltar que o conteúdo mínimo do Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos pode ser diferenciado de acordo com o porte do município. Aqueles que possuem menos de 20.000 habitantes terão conteúdo simplificado, exceto para aqueles integrantes de áreas de especial interesse turístico, inseridos na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional ou cujo território abranja, total ou parcialmente, unidades de conservação (BRASIL, 2010).

A adoção de planos municipais de gestão de resíduos sólidos ou consórcios intermunicipais são formas de garantir uma adequada gestão dos resíduos municipais, prevenindo possíveis impactos ambientais. No entanto, é fundamental, para um bom andamento dos processos, que o conhecimento tecnológico esteja bastante difundido nas partes envolvidas, assim os riscos de possíveis falhas ocorrerem podem ser minimizados.

2.4

Legislação Ambiental Aplicada

2.4.1

Legislação Ambiental Federal

Conforme foram ocorrendo eventos internacionais importantes na área de meio ambiente, como a Conferência de Estocolmo (1972), Protocolo de Montreal (1987), Eco-92 (1992), Protocolo de Kyoto (1997) e Rio+20 (2012), alertando sobre os possíveis impactos ambientais decorrentes do expressivo crescimento industrial e da urbanização desenfreada, as autoridades e governantes de diversos países precisaram se adequar a uma nova ordem político, social e econômica, o desenvolvimento sustentável. Desde 1981, o Brasil vem criando leis ambientais que visam assegurar a preservação dos recursos naturais com o crescimento das atividades econômicas, formulando medidas punitivas e restritivas ao uso dos recursos naturais.

Diante de todo o crescimento econômico e urbano das cidades brasileiras que ocorriam de maneira acelerada, sobretudo após da década de 50 do século XX, havia a necessidade de uma legislação federal específica para o gerenciamento das áreas contaminadas, uma vez que a economia sempre foi baseada em fontes fósseis, como o petróleo. No entanto, apenas no dia 28 de dezembro de 2009, com a criação da Resolução CONAMA nº 420/09, é que se teve a primeira legislação voltada para esta temática.

A Resolução CONAMA nº 420/2009 faz referência ao gerenciamento de áreas contaminadas onde,

“Art.1º - Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.”

O parágrafo único do referido artigo determina que se comprovada a ocorrência de concentrações de substâncias químicas que possam causar risco à saúde humana, os órgãos competentes deverão desenvolver ações específicas para a proteção da população exposta. Neste sentido, os valores das substâncias deverão ser analisados físico-quimicamente, e se os resultados encontrados forem maiores que os valores de investigação (VI), que correspondem à concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo e estabelecidos pelos

órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal, haverá a necessidade de intervenção na área.

Além da Resolução CONAMA n° 420/2009, que é específica para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas, os estados e municípios brasileiros podem usufruir de outros instrumentos capazes de auxiliar no processo de gerenciamento de sítios degradados ou poluídos. Dentre eles podemos citar, por exemplo, a imposição da recuperação de áreas degradadas, contida na Lei n° 6.938/81 (Política Nacional do Meio Ambiente); a aplicação de sanções penais e administrativas aos responsáveis pela prática de atos lesivos ao meio ambiente – conforme previsto na Lei n° 9.605/98 (Lei de Crimes Ambientais); bem como a Ação Civil Pública, orientada pela Lei n° 7.347/85 utilizada como mecanismo de responsabilização civil pelo Ministério Público ou pelos Órgãos Públicos Ambientais, pela poluição no solo e na água subterrânea; etc.

A seguir, serão comentados alguns dispositivos legais brasileiros, em nível federal, que estão relacionados com a proteção do meio ambiente¹.

I - Lei n° 6.938, de 31/08/1981 – Política Nacional do Meio Ambiente.

- Define como poluidor, a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental;

– Visa à difusão de tecnologias de manejo do meio ambiente, à divulgação de dados e informações ambientais e à formação de uma consciência pública sobre a necessidade de preservação da qualidade ambiental e do equilíbrio ecológico;

- Institui e estabelece as competências dos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e seus instrumentos de gestão;

- Legitima o Ministério Público, tanto da União quanto dos Estados, a proporção de responsabilidade civil e criminal por danos causados ao meio ambiente.

II – Resolução CONAMA n° 001, de 23/01/1986 – Exigência de EIA/RIMA para atividades potencialmente poluidoras.

¹ Disponíveis em <http://www.senado.gov.br/sf/legislacao/>. Acesso em: 22/10/2017.

- Em seu artigo 1º, considera impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- as atividades sociais e econômicas;
- a biota;
- as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- a qualidade dos recursos ambientais.

- Em relação ao tema gestão de resíduos sólidos, o artigo 2º desta resolução estabelece que dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental (EIA) e respectivo relatório de impacto ambiental (RIMA), a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e do IBAMA em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, como no inciso X, referente a aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos;

III – Resolução CONAMA nº 308, de 21/03/2002 – Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte.

- Ficam excluídos desta resolução os resíduos perigosos que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde ou ao meio ambiente;

- No artigo 3º está expresso que esta resolução se aplica em municípios com população urbana até trinta mil habitantes, conforme dados do último censo do IBGE, e com geração diária de até trinta toneladas;

- Conforme § 1º, do artigo 4º, caso o sistema de disposição final seja implantado na mesma área onde se encontra operando o atual lixão, o projeto deverá ser compatibilizado com essa condição, de modo a garantir a eficácia do sistema, a minimização dos impactos ambientais e a recuperação ambiental da área;

- De acordo com o § 2º, do artigo 4º, caso o sistema de disposição final venha a ser localizado em área diferente da do atual lixão, esta área deverá ser objeto de recuperação ambiental, incluindo a indicação do uso futuro da mesma;

- O órgão ambiental competente poderá dispensar o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) na hipótese de ficar constatado por estudos técnicos que o empreendimento não causará significativa degradação ao meio ambiente.

IV – Resolução CONAMA n° 404 de 11/11/2008 – Licenciamento ambiental simplificado de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.

- No artigo 1º, consideram-se aterros sanitários de pequeno porte aqueles com disposição diária de até vinte toneladas de resíduos sólidos urbanos;

- Determina-se no artigo 2º a não obrigatoriedade de EIA/RIMA no processo de licenciamento destes aterros, salvo o órgão ambiental competente verifique que o aterro proposto é potencialmente causador de significativa degradação ambiental;

- De acordo com o artigo 3º, somente não poderão ser dispostos nestes aterros: resíduos perigosos, aqueles que tenham características similares aos gerados em domicílios, bem como aos resíduos de serviços de saúde que requerem tratamento prévio à disposição final e aqueles que pela sua classificação de risco necessitam de tratamento prévio à disposição final.

V - Lei n° 9.605, de 17/02/1998 – Lei de Crimes Ambientais.

- Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Em relação à poluição ambiental, estão as seguintes situações:

Capítulo V – Seção III – Da Poluição e Outros Crimes Ambientais

(...)

Art. 54: Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora:

(...)

§ 2: Se o crime:

I – tornar uma área, urbana ou rural, imprópria para a ocupação humana;

(...)

V – Ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, ou detritos, óleos ou substâncias oleosas, e desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos;

(...)

Art. 56: Produzir, processar, embalar, importar, exportar, comercializar, fornecer, transportar, armazenar, guardar, ter em depósito ou usar produto ou substância tóxica, perigosa ou nociva à saúde humana ou ao meio ambiente, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou nos seus regulamentos (...).

VI - Lei nº 7.347, de 24 de julho de 1985 – Lei da Ação Civil Pública.

- Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico.

VII – Lei nº 4.333, de 08 de janeiro de 1997 – Política Nacional dos Recursos Hídricos.

- Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

- Visa assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, promovendo a gestão ambiental adequada de bacias hidrográficas.

VIII – Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos.

- Reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos;

- No inciso XII do artigo 3º, o conceito de logística reversa é: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada;

- No inciso XVII do artigo 3º, observa-se o conceito de responsabilidade compartilhada: conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos;

- No artigo 9º determina a seguinte ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

- Há cinco tipos de planos sob competência do Poder Público para a gestão adequada de resíduos sólidos, que são:

- O plano nacional de resíduos sólidos;
- Os planos estaduais de resíduos sólidos;
- Os planos microrregionais de resíduos sólidos e os planos de resíduos sólidos de regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas;
- Os planos intermunicipais de resíduos sólidos; e
- Os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos.

IX – Decreto nº 7.404/2010 – estabelece normas para a execução daPNRS.

- Cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, coordenados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA);

- De acordo com o artigo 3º, o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos visa apoiar a estruturação e implementação da PNRS, por meio da articulação dos órgãos e entidades governamentais;

- O Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa avalia a necessidade de sua revisão, os acordos setoriais, os regulamentos e os termos de compromisso que disciplinam a logística reversa no âmbito federal;

- De acordo com o artigo 5º, os fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos são responsáveis pelo ciclo de vida dos produtos;

- O não atendimento previsto no sistema de logística reversa implica em infração ambiental por poluição, nos termos do art. 61 do Decreto 6.514/2008, aplicando multas que variam entre cinco mil e cinquenta milhões de reais.

Magrini (2010) elaborou uma tabela com diversas outras resoluções CONAMA que regulam o gerenciamento de resíduos no Brasil. A Tabela 08 mostra de maneira sucinta as resoluções.

Tabela 08 – Resumo de resoluções sobre gerenciamento de resíduos no Brasil.

Resolução	Descrição
Portaria MINTER 053/1979	Estabelece obrigatoriedade de aprovação de órgão estadual para projetos de tratamento e disposição de resíduos sólidos
Resolução CONAMA 1-A/1986	Dispõe sobre transporte de produtos perigosos
Resolução CONAMA 05/1993	Dispõe sobre gerenciamento de resíduos sólidos gerados em portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários
Resolução CONAMA 023/1996	Regulamenta a importação e uso de resíduos perigosos e dispõe sobre classificação de resíduos
Resolução CONAMA 307/2002	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.
Resolução CONAMA 313/2002	Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais
Resolução CONAMA 316/2002	Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos
Resolução CONAMA 358/2005	Dispõe sobre tratamento e disposição final dos resíduos dos sistemas de saúde
Resolução CONAMA 401/2008	Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado
Resolução CONAMA 404/2008	Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos
Resolução CONAMA 416/2009	Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada

Fonte: Adaptado de Magrini, 2010.

Além das resoluções acima, Magrini (2010) também elaborou um resumo das principais normas técnicas lançadas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), referentes ao gerenciamento de resíduos no Brasil. Tais NBRs são importantes, pois algumas leis/resoluções exigem a utilização de determinada NBR e elas compõem normas praticadas internacionalmente através da ISOs

(*International Organization for Standardization*). A Tabela 09 traz de maneira resumida as principais NBRs.

Tabela 09 - Resumo de NBRs sobre gerenciamento de resíduos no Brasil.

Resolução	Descrição
NBR 10.004	Resíduos Sólidos - Classificação
NBR 10.007	Amostragem de Resíduos
NBR 8418	Apresentação de Projetos de Aterros de Resíduos Industriais Perigosos
NBR 8419	Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos
NBR 10.157	Aterros de Resíduos Perigosos – Critérios para Projeto, Construção e Operação
NBR 13.896	Aterros de Resíduos Não - Perigosos – Critérios para Projeto, Construção e Operação
NBR 11.174	Armazenamento de Resíduos
NBR 13.221	Transporte de Resíduos
NBR 12.808	Resíduos de Serviços de Saúde - Classificação
NBR 12.810	Coleta de Resíduos de Serviços de Saúde - Procedimento

Fonte: Adaptado de Magrini, 2010.

2.4.2

Legislação Ambiental Estadual

Os dispositivos legais que serão abordados a seguir fazem parte de políticas e instrumentos de gestão ambiental utilizados pelo INEA (Instituto Estadual do Ambiente), antiga FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente), no que se refere ao controle e manejo de atividades potencialmente poluidoras. A Tabela 10 mostra sucintamente as principais leis ambientais do Estado do Rio de Janeiro, disponíveis para consulta no endereço eletrônico: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Legislacao/index.htm&lang=PT-BR>; <http://assaerj.org.br/index.php/legislacao!>;

Tabela 10 - Resumo das principais leis/resoluções ambientais do Estado do Rio de Janeiro.

Resolução/Lei	Descrição
Decreto-Lei nº30/1975	Institui a FEEMA, atual INEA, como órgão técnico e executor da Política Estadual de Controle Ambiental, e a

	Comissão Estadual de Controle Ambiental (CECA), como órgão normativo, exercendo o poder de polícia.
Decreto-Lei nº134/1975	Dispõe sobre a prevenção da Poluição do Meio Ambiente no Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências.
Decreto nº1.633/1977	Regulamenta, em parte, o Decreto-Lei nº 134, de 06/06/1975, e institui o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras.
Decreto nº 8.974/1986	Regulamenta a aplicação das penalidades de interdição ou multas previstas no Decreto nº 134, de 06/06/1975, quando as pessoas físicas ou jurídicas causarem a poluição das águas, do ar ou do solo, deixarem de observar as disposições do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras (SLAP), a critério da Comissão Estadual de Controle Ambiental (CECA) ou do INEA (Instituto Estadual do Ambiente).
Deliberação CECA/CN ° nº3.425/1995	Dispõe sobre a suspensão de atividade real ou potencialmente causadora de dano ambiental.
Lei nº 2.803/1997	Veda a utilização e a instalação subterrâneas de depósitos e tubulações metálicas, para armazenamento ou transporte de combustíveis ou substâncias perigosas, sem proteção contra a corrosão, e dá providências correlatas.
Lei nº 3.239/1999	Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro e cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Esta Lei contempla em seu escopo, a proteção e a manutenção da qualidade, regime e disponibilidade da água subterrânea no território estadual.
DZ – 1.841.R-0/2002	Diretriz para o licenciamento ambiental e para a autorização do encerramento das atividades dos postos de serviços que disponham de sistemas de condicionamento e armazenamento de combustíveis, e seus respectivos resíduos.
Lei nº 4.191/2003	Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Rio de Janeiro
DZ-0077.R-0	Diretriz para encerramento de atividades potencialmente poluidoras ou degradadoras do meio ambiente que tem como objetivo estabelecer procedimentos, definir responsabilidades e instituir o Termo de Encerramento (TE) de atividades consideradas potencialmente poluidoras ou degradadoras do ambiente, de forma a evitar o abandono de instalações, substâncias perigosas e a minimizar os riscos ao ambiente e à saúde da população, compondo o Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras (SLAP).
Lei nº 6.805/2014	Inclui artigos na Lei nº 4.191, de 30 de setembro de 2003 - Política Estadual de Resíduos Sólidos, instituindo a obrigação da implementação de sistemas de logística reversa para resíduos eletroeletrônicos, agrotóxicos, pneus e óleos lubrificantes no âmbito do Estado do Rio de Janeiro.

Fonte: Adaptado de Magrini, 2010.

2.4.3

Legislação Ambiental Municipal

O Município de Volta Redonda se emancipou em 17 de julho de 1954 e até 1997 não havia qualquer legislação ambiental vigente. A primeira legislação foi a Lei Municipal nº 3.326/1997, a qual dispõe sobre a Política Ambiental do Município de Volta Redonda (PAMVR) (VOLTA REDONDA, 1997). Os principais aspectos desta lei serão abordados a seguir:

– O artigo 2º indica que a PAMVR tem como objetivo, respeitadas as competências da União e do Estado, preservar, controlar, recuperar e manter ecologicamente equilibrado o meio ambiente, considerado bem de uso comum do povo;

– No artigo 4º a PAMVR institui normas disciplinadoras do funcionamento dos estabelecimentos produtores, industriais, comerciais e prestadores de serviço: estatui as necessárias relações jurídicas entre o Poder e os munícipes, visando a disciplinar o uso e o gozo dos direitos individuais em benefício do bem-estar geral;

– O artigo 7º estabelece o Sistema Municipal de Meio Ambiente – SMMA, para a administração da qualidade ambiental no Município;

– O SMMA é composto de (Art.10):

- Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente;
- Coordenadoria de Defesa do Meio Ambiente;
- Fundo Municipal de Conservação Ambiental.

– De acordo com o artigo 8º, o objetivo do SMMA é organizar, coordenar e integrar as ações e entidades da administração pública municipal direta ou indireta;

– Segundo o artigo 14 do capítulo III, o lançamento no meio ambiente de qualquer forma de matéria, energia, substância ou mistura de substâncias, em qualquer estado físico, prejudiciais ao ar, ao solo, ao subsolo, às águas, à fauna e a flora deverá obedecer às normas estabelecidas visando reduzir, previamente os efeitos:

- Impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde;
- Inconvenientes, inoportunos ou incômodos ao bem-estar público;
- Danosos aos materiais, prejudiciais ao uso, gozo e segurança da propriedade bem como ao funcionamento normal das atividades de coletividade.

– Segundo o parágrafo único do artigo 96 a utilização do solo com destino final de resíduos potencialmente poluentes, deverá ser aprovado pelo Órgão Ambiental Municipal, estabelecendo normas, técnicas de coleta, armazenagem, transporte e destino final dos mesmos, ficando vetada a simples descarga ou depósito, seja em propriedade pública ou particular;

– O parágrafo único do artigo 97 estabelece a proibição das seguintes formas de disposição dos resíduos sólidos urbanos:

- A deposição indiscriminada de lixo em locais impróprios em áreas urbanas e agrícolas;
- A queima e a disposição final de lixo a céu aberto;
- A utilização de lixo *in natura* para alimentação de animais, adubação orgânica ou em qualquer tipo de agricultura;
- O lançamento de lixo em água de superfície, sistemas de drenagem de águas pluviais, poços, cacimba e áreas erodidas;
- O assoreamento de fundo de vale através de colocação de lixo, entulhos e outros materiais.

– O artigo 107 diz que a recuperação de áreas degradadas pela disposição de resíduos é de inteira responsabilidade técnica e financeira da fonte geradora ou na impossibilidade de identificação desta, do proprietário da terra responsável pela degradação, cobrando-se deste os custos de serviços executados quando realizados pelo Município ou Estado em razão da eventual emergência de sua ação.

– De acordo com o artigo 108, a utilização do solo como destino final de resíduos potencialmente poluidores deverá ser autorizada pelo Órgão Ambiental Municipal, estabelecendo normas, técnicas de coletas, armazenagem, transporte e destino final dos mesmos, ficando vetada a simples descarga ou depósito seja em propriedade pública ou particular;

– O artigo 110 veda a instalação de aterros em áreas inundáveis, em áreas de recarga de aquíferos, em áreas de proteção de mananciais, habitais de espécies protegidas, em áreas de preservação ambiental permanente e em áreas definidas como Unidades de Conservação da Natureza. Para tanto, estabelece algumas medidas reguladoras e protetoras do meio ambiente para a instalação de aterros, que são:

- § 1º - Os efluentes líquidos que venham a ser gerados por aterros, deverão ocorrer dentro dos padrões e critérios estabelecidos;
- § 2º - Os aterros deverão situar-se fora da faixa marginal de proteção de qualquer corpo d'água, respeitada a distância mínima de 200 (duzentos) metros;
- § 3º - A área útil do aterro deverá se localizar a uma distância mínima de 500 (quinhentos) metros de residências, hospitais, clínicas, centros médicos, de reabilitação, de escolas, de asilos, de orfanatos, de creches, de clubes esportivos e de parques públicos;
- § 4º - Os aterros deverão ser isolados por faixa de proteção arbórea (cinturão verde), numa faixa mínima de 20 (vinte) metros;
- § 5º - É obrigatório o monitoramento do percolado do aterro e sua influência em águas superficiais e subterrâneas, devendo os dados ser encaminhados ao Órgão Ambiental Municipal, trimestralmente.

Posteriormente, em 2008, criou-se o Código Municipal de Meio Ambiente de Volta Redonda, através da Lei Municipal nº 4.438/08 (VOLTA REDONDA, 2008). Ela estabelece os princípios, objetivos e instrumentos para a Política Municipal de Meio Ambiente (PMMA), atualizando, assim, a Lei Municipal nº 3.326/1997.

O artigo 2 orienta os seguintes princípios para a PMMA:

- Promoção do desenvolvimento integral do ser humano;
- Racionalização do uso dos recursos ambientais, naturais ou não;
- Proteção de áreas ameaçadas de degradação;
- Direito de todos ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e a obrigação de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações;

- Função social e ambiental da propriedade;
- Obrigação de recuperar áreas degradadas e indenizar pelos danos causados ao meio ambiente;
- Garantia da prestação de informações relativas ao meio ambiente.

Dentre os objetivos estabelecidos pela PMMA, conforme o artigo 3º, estão:

- Articular e integrar as ações e atividades ambientais desenvolvidas pelos diversos órgãos e entidades do Município com aquelas dos órgãos federais e estaduais, quando necessário;
- Articular e integrar ações e atividades ambientais intermunicipais, favorecendo consórcios e outros instrumentos de cooperação;
- Identificar e caracterizar os ecossistemas do Município, definindo as funções específicas de seus componentes, as fragilidades, as ameaças, os riscos e os usos compatíveis;
- Compatibilizar o desenvolvimento econômico e social com a preservação ambiental, a qualidade de vida e o uso racional dos recursos ambientais, naturais ou não;
- Controlar a produção, extração, comercialização, transporte e o emprego de materiais, bens e serviços, métodos e técnicas que comportem risco para a vida e/ou comprometam a qualidade de vida e do meio ambiente;
- Estabelecer normas, critérios e padrões de emissão de efluentes e de qualidade ambiental, bem como normas relativas ao uso e manejo de recursos ambientais, naturais ou não, adequando-os permanentemente em face da lei e de inovações tecnológicas;
- Estimular a aplicação da melhor tecnologia disponível para a constante redução dos níveis de poluição;
- Preservar e conservar as áreas protegidas no Município;
- Estimular o desenvolvimento de pesquisas e o uso sustentável dos recursos ambientais, naturais ou não;
- Promover a educação ambiental na sociedade e especialmente na Rede de Ensino;
- Promover o zoneamento ecológico-econômico.
- Zoneamento ecológico-econômico;

- Criação de espaços territoriais especialmente protegidos;
- Estabelecimento de parâmetros e padrões de qualidade ambiental;
- Avaliação de impacto ambiental;
- Licenciamento ambiental;
- Auditoria ambiental;
- Monitoramento e fiscalização ambiental;
- Sistema Municipal de Informações e Cadastros Ambientais;
- Fundo Municipal de Conservação Ambiental- FUMCAM;
- Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente– COMDEMA/ VR;
- Educação ambiental;
- Mecanismos de benefícios e incentivos a preservação e a conservação dos recursos ambientais, naturais ou não;
- Conferência Municipal de Meio Ambiente – CMMA;
- Agenda 21 Local.

A abordagem referente à gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, líquidos e gasosos é semelhante à Lei Municipal no 3.326/1997, logo não foi necessário mencionar aspectos destes temas novamente.

3

Recuperação ambiental da área do vazadouro do Município de Volta Redonda - RJ

Neste capítulo serão apresentadas as características gerais, de interesse para a dissertação, referentes ao Município de Volta Redonda - RJ e ao local de estudo, o vazadouro municipal, no que concerne as características físicas da área e as condições de operação do mesmo, assim como seus aspectos históricos. Além disto, serão apresentadas as informações coletadas sobre a recuperação ambiental da área do vazadouro, consultadas no Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro (MPRJ) e na Prefeitura Municipal de Volta Redonda (PMVR).

3.1

Coleta de dados primários e secundários

Os dados primários foram obtidos por meio de entrevistas com os representantes legais dos órgãos ambientais, tais como Secretaria de Meio Ambiente de Volta Redonda (SEMA-VR), a Unidade Administrativa da ARIE Floresta da Cicuta e Instituto Estadual do Ambiente, e no Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro (MPRJ), mediante agendamento prévio, a fim de se obter possíveis informações como aspectos históricos do vazadouro, fatos legais que ocorreram para a desativação e características peculiares da área.

Visitas *in loco* também foram realizadas para observar características físicas e biológicas da área e obter informações a respeito da operação e desativação do vazadouro. Além disto, as visitas foram necessárias para verificar o andamento do processo de recuperação ambiental da área.

Já os dados secundários foram obtidos através de pesquisas sobre estudos ou trabalhos publicados em plataformas de pesquisas, como o Google Acadêmico, *Scielo* ou Periódicos Capes. Além disto, foram utilizados livros, revistas, legislação, repositórios acadêmicos, bibliotecas digitais de instituições de ensino e artigos científicos como fontes de consulta.

A pesquisa bibliográfica e documental e visitas na área de estudo permitiram a caracterização física do local, ressaltando aspectos geológicos, hídricos e geomórficos.

3.2

Área de estudo

3.2.1

Município de Volta Redonda

O Município de Volta Redonda é o mais populoso da região sul do Estado do Rio de Janeiro, com 262.970 mil habitantes (IBGE, 2016), e representa umas das mais importantes economias da região. Emancipou-se pela Lei nº 2185 de 17 de julho de 1954, possui 182 km² e se localiza no trecho médio do vale do rio Paraíba do Sul, entre as serras do Mar e da Mantiqueira, entre os paralelos 22°24'11" e 22°38' de latitude sul e os meridianos 44°9'25" e 44°25' de longitude oeste, segundo Greenwich (FEEMA, 1991).

O clima predominante em Volta Redonda é caracterizado por ser tropical mesotérmico (Cwa), apresentando chuvas de verão (outubro a abril, com média anual de 24 °C) e inverno seco (maio a setembro, com média anual de 17 °C) (CARAUTA *et al.*, 1992). A temperatura média de 21,8 °C e índice pluviométrico anual de aproximadamente de 1.350 milímetros (PINTO *et al.*, 2006). A Figura 15 mostra a localização geográfica do Município de Volta Redonda no Estado do Rio de Janeiro.

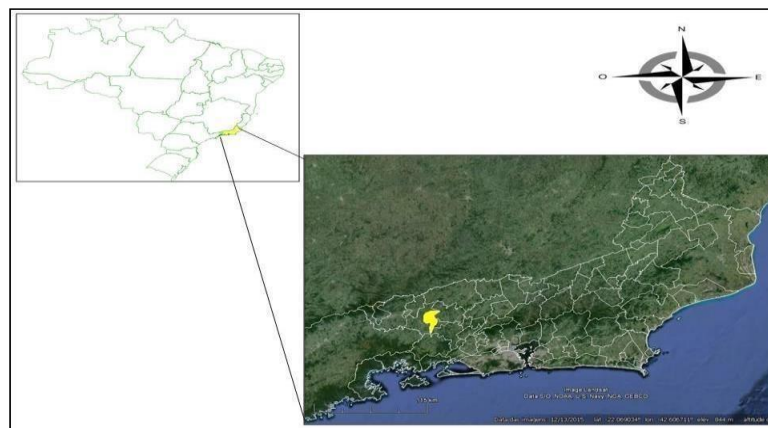


Figura 15 - Localização geográfica de Volta Redonda no Estado do Rio de Janeiro. Fonte: Google Earth, 2016.

Durante o Governo de Getúlio Vargas, através do Decreto-Lei nº 3.002, de 30 de janeiro de 1941, foi aprovado o plano da instalação da usina, a qual só iria efetivamente ser instalada em abril do mesmo ano. Com a instalação da CSN, muitos moradores de áreas rurais e alguns até de áreas urbanas de municípios vizinhos e, principalmente, de outros estados, como Minas Gerais e São Paulo, migraram para Volta Redonda em busca de melhores empregos e condições de vida.

À medida que o núcleo urbano se expandia e o setor terciário crescia paralelamente, Volta Redonda apresentava certa autonomia de expansão, fazendo com que comerciantes e proprietários começassem a reivindicar a emancipação do 8º Distrito do Município de Barra Mansa, visando à aplicação, no local, dos tributos ali produzidos. A emancipação de Volta Redonda à categoria de Município concretizou-se em 17 de julho de 1954. Na Figura 16, pode-se visualizar a expansão urbana do município e a CSN ao fundo.

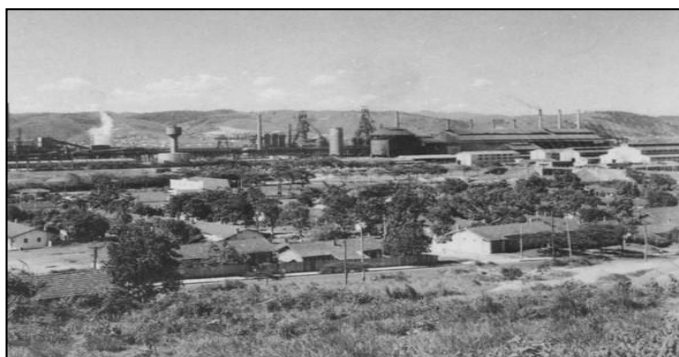


Figura 16 - Imagem obtida com o início do crescimento urbano da cidade de Volta Redonda, entre os 40 e 50, com a CSN no fundo. Fonte: IBGE, 2016.

Em 1993, após a privatização da siderúrgica, a grave crise econômica e social que se abateu sobre o município fez com que a cidade procurasse novos rumos, com menor dependência da CSN. Esta nova ideia foi responsável pela formação de uma nova identidade e pelo desenvolvimento econômico-social da cidade, para buscar um novo modelo econômico e social.

De acordo com Paulo Biajoni, presidente da Câmara de Dirigentes Lojistas de Volta Redonda (CDLVR), o município tornou-se um pólo de prestação de serviços para a região, na área de saúde e na área de educação, com universidades. Segundo dados da CDLVR, o comércio de bens e serviços emprega 40 mil pessoas na cidade (VOLTA REDONDA TEME. 2013 *apud* MAGALHÃES & RODRIGUES, 2014).

No entanto, o crescimento urbano ocasionou danos significativos ao meio ambiente, sobretudo ao que se refere às consequências geradas pela industrialização, pois não houve qualquer planejamento que considerasse a preservação e a manutenção dos recursos naturais. Hoje, a poluição atmosférica, sem dúvida, é o principal problema ambiental no município devido à presença da siderurgia e metalurgia, que liberam gases tóxicos para a atmosfera.

É considerado o segundo município com o maior potencial poluidor do Estado do Rio de Janeiro, ficando apenas atrás da capital (SOR *et al.*, 2008). Outro problema em crescimento, que potencializa a poluição atmosférica, é o intenso tráfego de veículos que tem ocasionado em diversas internações por doenças respiratórias, grande parte pela exposição dos indivíduos ao monóxido de carbono (PAIVA, 2014).

Os corpos hídricos urbanos também sofreram bastante com o processo de urbanização, sobretudo com o crescimento das atividades industriais. O rio Paraíba do Sul, principal manancial superficial utilizado para abastecimento público, sofre uma redução em sua vazão média, com relação ao município localizado mais a montante, de cerca de 318 m³/s, enquanto que em Barra Mansa a vazão média é superior em, pelo menos, 6m³/s. Tal fato se deve ao grande volume de água captado pela CSN, cerca de 12 m³/s (PORTAL VR, 2016)².

A cobertura vegetal é baixa nas áreas centrais de Volta Redonda. A ausência de áreas verdes expressivas e de poucas unidades de conservação contribuem para a baixa qualidade do ar, sobretudo nas áreas mais adensadas. Conforme a Figura 17, a distribuição de áreas verdes é desigual, havendo maior vegetação nas porções extremas, com maior evidência ao norte, e praticamente ausente nas áreas centrais, onde está a maior parte da população.

²Antiga página virtual da Prefeitura Municipal de Volta Redonda, agora atualizada como <http://www.voltaredonda.rj.gov.br/>.



Figura 17 - Unidades de Conservação no Município de Volta Redonda. Fonte: *Google Earth*, 2016.

É dentro da zona de amortecimento da ARIE Floresta da Cicuta que se encontra o vazadouro municipal de Volta Redonda, foco deste estudo. Após os 25 anos de operação, a paisagem, solo, fauna e flora desta unidade de conservação foram afetados direta ou indiretamente pelas atividades operacionais, sendo, desta forma, contempladas algumas medidas mitigadoras no projeto de remediação ambiental do vazadouro, que serão discutidos com maior detalhes posteriormente.

3.2.2

Caracterização da localização do vazadouro

O vazadouro possui uma área total de 175.950 m², sendo que a área do maciço do lixo é de 57.103 m² (INEA, 2015). De acordo com o Plano Diretor de Volta Redonda, aprovado em 2008 (Lei Municipal nº. 4.441), o vazadouro está localizado no Setor Sul do município. É uma área que era predominantemente rural, mas, nos últimos anos, tem correspondido a um dos principais eixos de crescimento da cidade, recebendo novos loteamentos e vias de acesso (PINTO *et al.*, 2006). A Figura 18 mostra a localização do vazadouro no município.

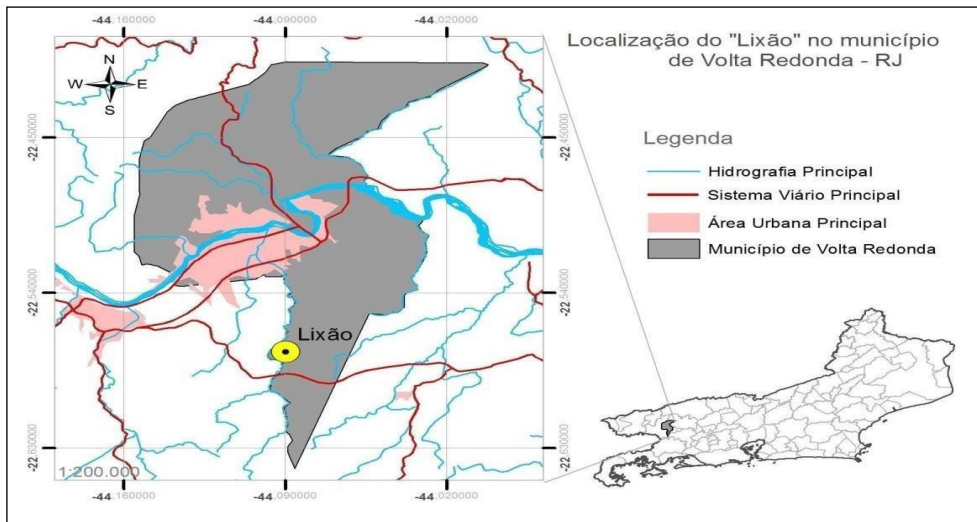


Figura 18 - Localização do vazadouro no Município de Volta Redonda. Fonte: Próprio autor.

O acesso ao vazadouro é feito pela Rodovia dos Metalúrgicos (VRD001), principal acesso da Rodovia Presidente Dutra à cidade. No entorno do acesso há importantes indústrias do setor alimentício e casas de evento, conforme pode ser visto na Figura 19.

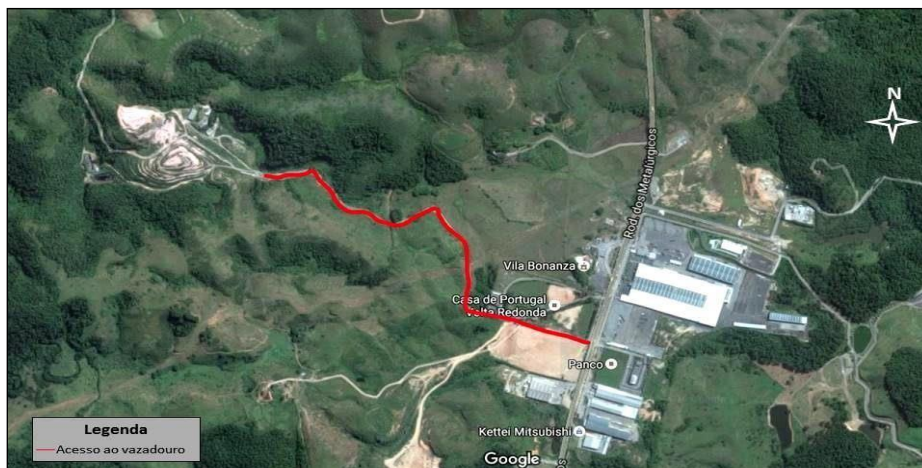


Figura 19 - Imagem satélite do acesso ao vazadouro do Município de Volta Redonda. Fonte: Google Earth, 2016.

Na altura do quilômetro 8,5 da Rodovia dos Metalúrgicos, no sentido à Rodovia Presidente Dutra, deve-se virar à direita e seguir por uma estrada rural em leito natural por aproximadamente 1,8 km, conforme a Figura 20.



Figura 20 – Imagem da estrada que dá acesso ao vazadouro de Volta Redonda (vistoria realizada em maio de 2016). Fonte: Próprio autor.

O vazadouro está inserido na Zona de Amortecimento da Unidade de Conservação da Floresta da Cicuta, a uma distância de 1,6 km, de acordo com a Resolução INEA N° 71 de 18 de junho de 2013, Art.1º, Parágrafo Único. Tal aproximação se torna de extrema importância para analisar e monitorar possíveis impactos ambientais, uma vez que esta unidade de conservação está inserida em fragmentos de Mata Atlântica e apresenta espécies da fauna e flora ameaçadas de extinção. A imagem representada na Figura 21 mostra a localização próxima do vazadouro à ARIE Floresta da Cicuta.



Figura 21 - Imagem satélite da localização do vazadouro na ARIE Floresta da Cicuta. Fonte: Adaptado de ICMBio, 2016.

Na lateral direita do vazadouro corre o rio Brandão que, após cruzá-lo, chega à Floresta da Cicuta, recebe outros tributários que percorrem o município, como os córregos Cachoeirinha e Cafuá, e deságua no rio Paraíba do Sul. Toda a malha hidrográfica inserida nos limites municipais de Volta Redonda tem o rio Paraíba do

Sul como seu corpo receptor final, que corresponde a 0,3% do total da bacia (FEEMA, 1991).

Devido à proximidade com o vazadouro, a qualidade da água do rio Brandão foi muito afetada pelo recebimento de efluentes e do lixiviado, provenientes das operações do vazadouro durante 25 anos sem o devido tratamento. Neste sentido, registra-se a ausência de dados analíticos referentes às características químicas do lixiviado nas águas do rio Brandão, sobretudo no trecho próximo ao vazadouro. Na Figura 22 é possível observar a proximidade entre o rio Brandão e o vazadouro.

No trabalho de Fonseca et al.,(2017), os autores analisaram a qualidade da água do rio Brandão num trecho entre o vazadouro e a ARIE Floresta Cicuta, e verificaram que o valor da concentração de oxigênio dissolvido foi de 4,5 mg/L, mas o limite da Resolução CONAMA N° 357/05 estabelece 5 mg de O₂/L, e para coliformes termotolerantes de 1355 NMP/100mL, ultrapassando os limites de 1000NMP/100 mL estabelecido pela mesma resolução, no ponto mais próximo ao vazadouro. No entanto, os autores constataram a influência positiva que a unidade de conservação possui em beneficiar a autodepuração do rio, pois os valores para estes parâmetros foram menores conforme o rio percorre para o interior dela.

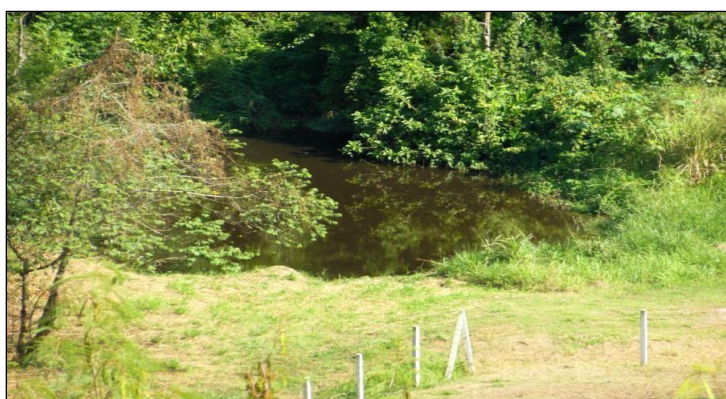


Figura 22 - Imagem do rio Brandão próximo ao vazadouro (vistoria realizada em maio de 2016). Fonte: Próprio autor.

Quanto à caracterização do solo, de acordo com Valadão et al. (2012), este possui pH igual a 5,11, contém 37% de fração argila (fração < 5 μ m), com a caulinita como argilomineral predominante e com capacidade de troca catiônica de 4,2 cmol/kg. Outras informações encontradas por estes autores, a respeito do solo, estão disponíveis na Tabela 11.

Tabela 11 - Demais informações sobre o solo do vazadouro de Volta Redonda.

Componente	Valor
Densidade (k/m ³)	2,66
Massa específica aparente do solo seco (kg/m ³)	16,51
Umidade natural média	23%
Limite de Liquidez (NBR-6459)	55%
Limite de Plasticidade (NBR-7180)	33%
Índice de Plasticidade	22%

Fonte: Adaptado de Valadão *et al.*,2012.

O solo é caracterizado por ser do tipo Argilossolo Vermelho-Amarelo (LOPES, 2016), como pode ser observado na Figura 23. Este tipo de solo caracteriza-se por apresentar acumulação de argila no horizonte B, com cores vermelho-amareladas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita. Apresentam baixa fertilidade natural, com reação fortemente ácida, e são profundos (AGEITEC-EMBRAPA, 2016).



Figura 23 - Imagem do solo do vazadouro (vistoria realizada em maio de 2016). Fonte: Próprio autor.

3.2.3

Processo legal visando a remediação ambiental do vazadouro

A expansão urbana levou a Prefeitura Municipal de Volta Redonda (PMVR) a construir um depósito de resíduos coletados em uma área a cerca de 2 km da Rodovia dos Metalúrgicos. Além de Volta Redonda, por algum período, os municípios de Pirai e Rio Claro também utilizaram este mesmo local para disposição de seus resíduos.

A disposição irregular de resíduos ocorreu desde 1987 até maio de 2012. O local serviu de deposição para o lixo domiciliar e industrial, do serviço de limpeza pública (poda de árvores, roça de jardins etc.) e dos serviços de saúde (hospitalar, clínicas médicas, farmácias, laboratórios, etc.). Na Figura 24 pode-se observar as operações do vazadouro em 2009.



Figura 24 – Disposição de resíduos no vazadouro em 2009. Fonte: INEA, 2009.

Em 1987, foi concedida a licença de operação LO nº 332/87, a qual teria o prazo de expiração em 1992. Sua renovação não foi aprovada pela FEEMA (atual INEA), pois as exigências impostas pelo órgão ambiental não foram atendidas, mas as operações continuaram e, no ano de 2003, foi movida uma Ação Civil Pública nº 0002992-48.2003.4.02.5104 (número antigo do processo 2003 5104002992-9), pelo MPF e MPRJ contra a PMVR e o Depósito de Papel São Gabriel (empresa proprietária do terreno onde fica o vazadouro), na qual os réus foram responsabilizados pelas questões de remediação e encerramento.

De acordo com Lopes (2016),

o órgão gestor da unidade conservação na época (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis- IBAMA) deveria dar anuência em relação ao empreendimento através de solicitação da prefeitura (Resolução CONAMA nº 13/1990), ação não identificada nos autos do

processo. Verificou-se a atuação do órgão federal em dezembro de 2011 (Instituto Chico Mendes de Biodiversidade - órgão federal administrador da Floresta da Cicuta), que procedeu a notificação à Prefeitura de Volta Redonda em relação à contaminação da área – Ordem de Fiscalização nº 01/2011.

Durante anos de disposição de resíduos e rejeitos sem o controle adequado, os impactos ambientais foram evidentes. De acordo com o Ministério Público Federal, os principais danos ambientais já identificados na área são: a contaminação do lençol freático por lixiviado e contaminação do solo e da vegetação da ARIE (Área de Relevante Interesse Ecológico) Floresta da Cicuta (MPF, 2016). Vale ressaltar que o rio Brandão, como pode ser observado na Figura 25, se enquadra na classe especial, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, por estar localizado dentro de uma unidade de conservação de proteção integral.

O contrato firmado entre a Prefeitura Municipal de Volta Redonda e o Depósito São Gabriel, proprietário do terreno, permitiu a coleta dos resíduos recicláveis depositados na área. Os catadores eram contratados pelo próprio proprietário do terreno, os quais separavam os materiais recicláveis e, então, poderiam ser revendidos pelo proprietário (INEA, 2009).

Em 2005, a Prefeitura Municipal de Volta Redonda (PMVR) foi acionada pelo MPF para assinar um TAC, nº 2003.5104002992-9. Além disto, também assinaram o termo o MPRJ, Ministério Público do Trabalho (MPT), a FEEMA, o IBAMA e a empresa proprietária do terreno (MPF, 2016). No entanto, desde então, a PMVR tem encontrado dificuldades para atender as ações impostas pelo TAC.



Figura 25 – Lixiviado do vazadouro percolando para o rio Brandão.
Fonte: ICMBio, 2016.

Houve discussões entre a PMVR e os Municípios de Pinheiral, Rio Claro, Barra do Piraí (somente o bairro Califórnia) e Barra Mansa, para formar um consórcio e construir um Centro de Tratamento de Resíduos (CTR) regional, para processamento e destinação final de resíduos domiciliares, de serviços públicos e resíduos de serviços de saúde. No entanto, posteriormente, Barra Mansa optou por construir um aterro sanitário próprio e, para isto, contou com apoio da Secretaria de Estado de Meio Ambiente.

Para concretização da proposta do consórcio intermunicipal havia duas áreas disponíveis, uma em Barra Mansa e outra em Volta Redonda. No entanto, a área de Barra Mansa foi considerada inadequada pelos técnicos da FEEMA, atual INEA, após vistoria realizada no dia 17/05/07, e a área apresentada pelo Município de Volta Redonda localizada na estrada Nossa Senhora do Amparo, próximo ao bairro Santa Cruz, local conhecido como “Granja Cascata”, foi considerada adequada.

Em 2009, em atendimento ao que foi estabelecido em uma reunião realizada no Ministério Público Federal, Gabinete do 1º Ofício, foi encaminhada pelo INEA uma orientação técnica de forma a nortear as ações emergenciais a serem executadas no vazadouro municipal.

Após cinco anos de estudos e discussões, no ano de 2010 a Câmara de Vereadores de Volta Redonda foi palco de uma audiência pública, no dia 18/05/2010. A implantação do CTR no bairro Santa Cruz estava em pauta. A audiência foi requerida pelo vereador Edson Quinto (PR), devido à mobilização dos moradores dos bairros que não concordaram com a localização proposta. Portanto, a ideia de formar consórcio intermunicipal não foi concretizada e o Município de Volta Redonda teve que prosseguir com a remediação do vazadouro.

Em 2011, o Ministério Público, o INEA e o ICMBio cobraram ações mais concretas e efetivas por parte do Município para o cumprimento do TAC, assim sendo algumas medidas foram tomadas, como: projetos de remediação com as revisões solicitadas pelo INEA, para a obtenção da autorização Licença de Operação e Recuperação (mais de dois projetos foram rejeitados pelo INEA); obras de melhorias no lixão evitando o descarte de lixiviado no Rio Brandão; compra da autoclave: equipamento para esterilização de resíduos de serviço de saúde (RSS); contratação de empresa para estudo locacional de nova área para instalação do CTR.

Em 2011, em razão do descumprimento do TAC, por parte do Município de Volta Redonda, o Ministério Público Federal ajuizou mais duas ações civis públicas contra o Município (Processo 2010.51.04.001168-1 e 2003.51.04.002535-3), relacionadas, respectivamente, aos itens 1.8 (tratamento do lixiviado) e 2.1 (projeto de adequação ambiental da área do lixão). Na ocasião o Procurador da República Dr. Rodrigo da Costa Lines determinou algumas recomendações, inclusive que o INEA deveria notificar o Município sobre o cumprimento das determinações do TAC, e caso não cumprisse deveria interditar o vazadouro.

Como o novo prazo estabelecido para atender as recomendações do Procurador não foram cumpridas, que seria até 30 de dezembro de 2011, os resíduos sólidos domiciliares deveriam ser encaminhados para o CTR de Barra Mansa, o qual foi construído e operado pela empresa Haztec. Além disto, o MPF determinou que os resíduos sólidos do município de Volta Redonda deveriam ser encaminhados para o CTR Barra Mansa a partir do 28 de maio de 2012, o que foi cumprido na íntegra pelo Município. Para tanto, segundo Negrão (2012), a PMVR teria que pagar cerca de R\$40,00 por tonelada de lixo ali destinada.

Em 2014, a decisão judicial (Processo 0001167-25.2010.4.02.5104), referente ao projeto de remediação do vazadouro e ao tratamento de lixiviado, inferiu uma multa pessoal ao Prefeito do Município de Volta Redonda, na época Antônio Francisco Neto, por não atender às determinações do MPF.

Em 2015, a PMVR requereu a LAR ao INEA, através do processo E-07/002.09815/2015, o qual estabeleceu medidas a serem implantadas objetivando a remediação do vazadouro e medidas mitigadoras a serem adotadas após o encerramento (INEA, 2015), tendo o prazo de até 29 de setembro de 2018 para ser atendida. Tais medidas imputadas pelo INEA se encontram na Tabela 12.

Tabela 12 – Medidas mitigadoras para remediação do vazadouro.

Medidas mitigadoras para o encerramento
--

<ul style="list-style-type: none"> - O fechamento da área remediada com cerca e replantio onde não houver mata nativa; - Readequação das instalações de apoio para segurança, fiscalização, e controle de veículos, equipamentos e pedestres; - Implantação de sistema de drenagem de águas superficiais visando minimizar os fluxos de água no interior da massa aterrada e de seu entorno; - Instalação de um sistema de monitoramento do maciço com placas de recalque e marcos superficiais; - Adotar medidas de controle de modo a evitar que odores característicos da atividade atinjam a área externa do vazadouro; 	<ul style="list-style-type: none"> - Encerramento da célula de Resíduos de Serviços de Saúde; - Conformação de platôs e taludes; - Encerramento da célula de aterro com recobrimento final das áreas aterradas com camada mínima de 0,50m de solo compactado, geomembrana e camada de no mínimo 0,40 m de solo vegetal para garantir o recobrimento com vegetação nativa raízes não axiais; - Tratar e/ou destinar adequadamente o lixiviado gerado no aterro extinto, informando previamente ao INEA; - Manter a área isolada de tal forma que impeça o acesso a pessoas estranhas e comsinalização adequada, segundo a ABNT NBR 12235.
Medidas mitigadoras após o encerramento	
<ul style="list-style-type: none"> - Implantar um queimador de gases com “flare” para coletar o biogás na massa de resíduos; - Construção de uma fossa séptica, filtro anaeróbio e sumidouro para armazenar e tratar efluentes sanitários; 	<ul style="list-style-type: none"> - Implantar sistema de drenagem e coleta de lixiviado, conduzindo-o por gravidade até tanques de acumulação; - Implantar serviço de coleta municipal para resíduos domésticos e contratar empresa licenciada pelo INEA para coletar resíduos provenientes de fossa séptica/filtro anaeróbio.

Fonte: INEA, 2015.

De acordo com o Vice-Secretário de Meio Ambiente de Volta Redonda, em entrevista realizada em março de 2017 em seu gabinete, o atual governo municipal abrirá um processo licitatório para um novo projeto de remediação ambiental para o vazadouro municipal, pois o último realizado em 2013 necessitava da aplicação de R\$ 9.152.925,08 (nove milhões cento e cinquenta e dois mil novecentos e vinte e cinco reais e oito centavos). Este valor foi considerado muito elevado e que no momento, de acordo com última auditoria financeira nas contas públicas do município, seria inviável realizar a remediação com todas as propostas apresentadas no último estudo, as quais poderiam ter recuperado ambientalmente a área se fossem aplicadas dentro do prazo.

Considerando que a Secretária de Meio Ambiente do Município, vigente até dezembro de 2018, Daniela Vidal Vasconcelos, solicitou a prorrogação do prazo da Notificação do INEA N.º 010795292, referente ao processo n.º E-07/202078/2007, a fim de verificar a dotação orçamentária municipal e abertura de processo licitatório para contratação de uma empresa especializada em estudo geoambiental.

Desta forma, conclui-se que o caso de Volta Redonda mostra as mesmas dificuldades apresentadas pela maioria dos municípios brasileiros, seja técnica, estrutural ou financeira, em atender a legislação ambiental e solucionar os passivos ambientais.

3.2.4

Situação atual do vazadouro municipal

3.2.4.1

Meio físico

- *Corpos hídricos*

Os efeitos de anos de deposição de resíduos no vazadouro são evidentes até o momento nos corpos hídricos encontrados no local. A liberação de efluentes e de compostos orgânicos, sobretudo os provenientes da degradação da matéria orgânica pelos micro-organismos, contaminaram os lagos, o que favoreceu o crescimento exacerbado de algas que formam verdadeiros “tapetes” na superfície destes lagos, como é possível observar na Figura 26, referente à porção do lago a montante, em maio de 2016.



Figura 26 – Imagem do lago de gigogas a montante (vistoria em maio de 2016). Fonte: Próprio autor.

Lopes (2016) realizou em seu trabalho o índice de estado trófico para fósforo (IET_{PT}) nos lagos encontrados no vazadouro de Volta Redonda. Aplicou a equação modificada por Toledo Jr. *et al.*, (1990), pois não havia dados referentes à clorofila *a* disponíveis. Os resultados encontrados por Lopes (2016) encontram-se na Tabela 13. A equação utilizada para o IET_{PT} se dá seguinte forma:

$$IET_{PT} = 10 \{6 - [\ln (80,32 / PT) / \ln 2]\};$$

tal que,

IET_{PT} = índice de estado trófico para fósforo; e

PT = concentração de fósforo total, medida à superfície da água ($\mu\text{g.L}^{-1}$).

Tabela 13 – Resultados do IET_{PT} para os lagos do vazadouro.

	Concentração de Fósforo ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	IET_{PT}	Classificação
Lago a montante	2003	88,37	Hipereutrófico
Lago a jusante	480	79,71	Hipereutrófico

Fonte: Adaptado de Lopes, 2016.

A classificação do estado de eutrofização em hipereutrófico ocorre, pois, segundo Toledo *et al.*, (1990), os valores de IET_{PT} foram maiores que 7,4, indicando o maior grau de eutrofização possível de ser obtido. Por se encontrarem em áreas de baixo relevo e sem um exutório, a não ser a infiltração pelo solo, estes fatores acabam favorecendo a alta concentração de fósforo nos lagos (LOPES, 2016).

O estado de eutrofização do lago, processo este que afeta o equilíbrio do ecossistema aquático, podendo impedir a entrada de luz solar no sistema, que é necessária para a fotossíntese, afetando toda cadeia trófica aquática. A constatação da liberação de lixiviado na borda do maciço na vistoria realizada em maio de 2016, sem qualquer proteção eficiente, compromete ainda mais a qualidade da água dos lagos de gigogas, pois o líquido pode percolar pelo solo até estes lagos.

Por percolar até os lagos de gigogas, o lixiviado acaba alcançando o rio Brandão, importante corpo hídrico da área urbana do município. Além da possibilidade de estar contaminando este rio, o lixiviado pode estar ainda percolando no subsolo, atingindo os fluxos subterrâneos, e que, devido à falta de dados secundários mais robustos referentes a estes compartimentos, não se pode mensurar os possíveis impactos ambientais e os riscos de contaminação.

- **Aspectos físicos**

A área do vazadouro não faz divisa com residências particulares, apesar de estar a uma distância de pelo menos 5 minutos de carro de algumas indústrias localizadas na Rodovia dos Metalúrgicos. Há um cercamento de arame logo início

da estrada que dá acesso ao vazadouro e na entrada do mesmo, para dificultar a entrada de pessoas e animais. No local também não há mais a presença de catadores de lixo desde o fechamento da área em 2012.

Atualmente, o talude encontra-se com a vegetação secundária em estágios de regeneração, composto majoritariamente por gramíneas, distribuídas de forma isolada em determinados pontos do solo. Além disto, o talude apresenta processos erosivos, alguns resíduos expostos, sobretudo plásticos, e em grande parte recoberto por capim-colônia (*Panicum maximum Jacq.*), conforme pode ser observado na Figura 27.



Figura 27 – Imagem do talude com a presença de resíduos (vistoria realizada em maio de 2016). Fonte: Próprio autor.

Pode-se observar pela Figura 27 que o retaludamento do maciço ocorreu, mas não foi monitorado e controlado ao longo dos anos para evitar possíveis extravazamentos de resíduos ou até mesmo o crescimento plantas oportunistas. Vale alertar para o fato de possíveis desmoronamentos, sobretudo em períodos chuvosos, liberando ainda mais resíduos que podem favorecer a geração de lixiviado e, assim, prejudicar a remediação.

3.2.4.2

Instalações construídas para a remediação ambiental

Como exigência dos órgãos públicos fiscalizadores e ambientais, algumas instalações foram necessárias de serem construídas para a remediação do vazadouro

municipal de Volta Redonda. Na Figura 28 é possível observar algumas instalações que foram construídas para este objetivo.

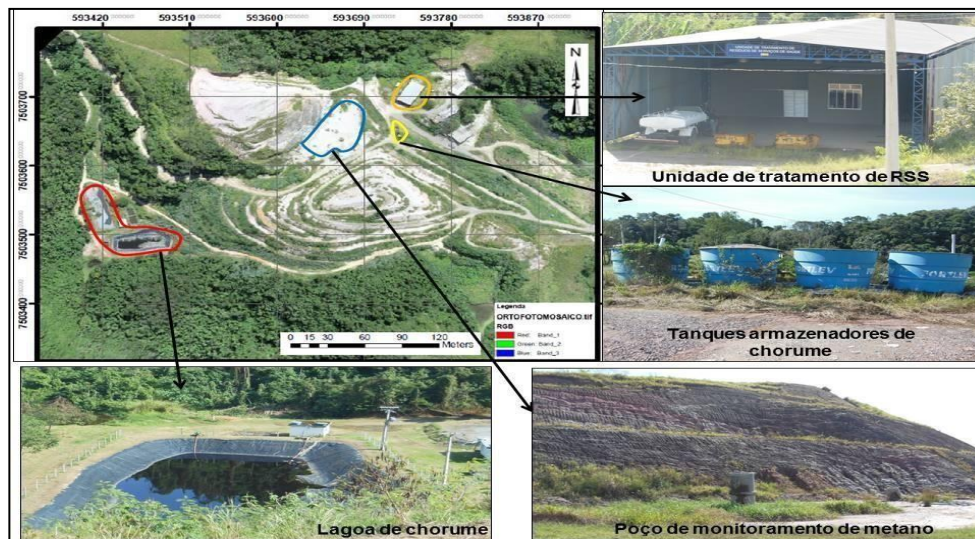


Figura 28 – Principais instalações para a remediação do vazadouro. Fonte: Próprio autor.

O lixiviado que percola pelos taludes são coletados por uma rede de drenagem e redirecionados para uma lagoa de estabilização. Anteriormente, havia duas lagoas em operação, mas apenas uma está em funcionamento (INEA, 2014).

A unidade de tratamento de RSS foi construída no ano de 2011, devido à exigência do INEA. No entanto, ela não está mais em operação desde dezembro de 2012, pois, de acordo com os funcionários presentes no dia da visita, o encerramento das operações naquele ano proibiu o recebimento de resíduos de serviços de saúde, não sendo mais necessária a utilização da autoclave e outros equipamentos para a esterilização destes resíduos.

De acordo com a vistoria do INEA realizada em julho de 2014, os Resíduos de Serviço de Saúde gerados no Município são recolhidos pela Prefeitura Municipal de Volta Redonda e a empresa SERVIOESTE faz a destinação e o tratamento do mesmo (INEA, 2014_a).

Como exigência da LAR (INEA, 2015), foram construídos 10 poços de monitoramento da produção do metano (Figura 28) formado a partir da decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos. Segundo relatos dos funcionários do local, no início da instalação destes poços, a produção deste gás era muito alta e havia até o risco de explosão. No entanto, segundo os próprios funcionários, atualmente, a produção de metano é muito baixa, não havendo

qualquer risco aos funcionários do local. Vale ressaltar que não foram encontrados dados disponibilizados pela PMVR, referentes à produção de metano que comprovem efetivamente a ausência de riscos aos funcionários.

Na Figura 28, próximo ao ponto de monitoramento de metano, também se pode verificar processos erosivos na encosta, mesmo apresentando o crescimento de gramíneas. A implantação e a operação destes empreendimentos envolvem constantes atividades de remoção, adição e/ou substituição do solo, o que acaba removendo a proteção natural fornecida pela cobertura vegetal, deixando o solo exposto à ação de intempéries (chuvas, ventos e irradiação solar excessiva).

4

Discussão

4.1 Análise crítica do projeto de remediação ambiental

O Projeto de Remediação Ambiental do Vazadouro Municipal de Volta Redonda foi realizado pela empresa de consultoria ambiental Vereda Estudos e Execução de Projetos Ltda., em abril de 2013. O projeto contempla um diagnóstico ambiental bem detalhado dos aspectos físicos (geomorfologia, geologia e corpos hídricos) e biológicos (flora), além da descrição das técnicas adotadas para o controle do lixiviado e de drenagem para gases, medições de condutividade hidráulica do lixiviado e dados secundários de análises de parâmetros físicos, químicos e biológicos dos lagos de gigogas. (VEREDA, 2013). Todos estes aspectos serão detalhados resumidamente e analisados criticamente a seguir em tópicos para o melhor entendimento.

4.1.1

Análises de corpos hídricos

As águas superficiais dos corpos hídricos do vazadouro são provenientes de linhas d'água, córregos e alagados de áreas mais a montante. Não há rios perenes. A implantação do vazadouro interrompeu as drenagens naturais, provenientes dos talwegues, e provocou o acúmulo de água nas bordas, formando os dois lagos de gigogas.

Por determinação da Autorização Ambiental, AA N° IN017366, de 09 de agosto de 2011, foi imposta como condicionante a criação de planos e programas de monitoramento ambiental das águas superficiais, através da condicionante N° 34.3. Para tanto, a PMVR contratou uma empresa privada para realizar a análise de 48 parâmetros de qualidade ambiental, sendo eles físicos, químicos e biológicos, dos dois lagos de gigogas, pertencentes à zona de descarga local, os quais estão dispostos na Tabela 14, com seus respectivos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005 para corpos lênticos.

O primeiro lago se refere àquele localizado próximo à entrada do vazadouro e o segundo localiza-se próximo à lagoa de lixiviado. A metodologia de análise

utilizada foi a *USEPA/Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

Tabela 14 – Resultados das análises da qualidade das águas dos lagos de gigogas.

Parâmetro	Unidade	1° lago	2° lago	CONAMA 357/2005
Temperatura	°C	26	23	-
pH	-	6,48	6,89	6-9
OD	mg/l	<0,01	0,86	>5
Condutividade	µg/cm	1521	381	-
SDT	mg/l	913	229	500
Materiais flutuantes	-	Ausente	Ausente	Ausente
Resíduos solúveis	-	Ausente	Ausente	Ausente
Corantes artificiais	-	Ausente	Ausente	Ausente
Cor	-	303	345	75
Turbidez	UNT	70	36	100
Odor	-	Sim	Ausente	Ausente
Nitrogênio amoniacal	mg/l	29,5	<0,05	3,7
Nitrato	mg/l	0,1	0,14	10
Nitrito	mg/l	0,019	<0,001	1
Fenol	mg/l	0,081	0,044	0,03
DBO	mg/l	72	75	5
DQO	mg/l	135	134	125
Coliformes fecais	NMP/100 ml	35000	4300	1000/100 ml
Alumínio	mg/l	<0,01	<0,01	0,1
Antimônio	mg/l	<0,001	<0,001	0,005
Arsênio	mg/l	<0,001	<0,001	0,01
Bário	mg/l	0,0922	0,2235	0,7
Berílio	mg/l	<0,01	<0,01	0,04
Boro	mg/l	<0,01	<0,01	0,5
Cádmio	mg/l	<0,005	<0,005	0,001
Chumbo	mg/l	0,0041	0,0021	0,01
Cianeto	mg/l	<0,001	0,001	0,005
Cobalto	mg/l	0,1129	0,0875	0,05
Cobre dissolvido	mg/l	<0,001	<0,001	0,009
Cromo	mg/l	<0,001	<0,001	0,05
Ferro dissolvido	mg/l	1,118	0,4992	0,3
Fósforo total	mg/l	2,003	0,4843	0,1
Lítio	mg/l	0,0137	<0,01	2,5
Magnésio	mg/l	<0,00005	<0,00005	0,002
Prata	mg/l	<0,001	<0,001	0,01
Selênio	mg/l	<0,001	<0,001	0,01
Urânio	mg/l	<0,001	<0,001	0,02
Vanádio	mg/l	0,0447	0,127	0,1
Zinco	mg/l	0,0223	0,0126	0,18
Óleos e graxas	mg/l	Ausente	Ausente	-
Surfactantes	mg/l	0,46	0,39	0,5
Cloro	mg/l	107,03	37,8	250
Flúor	mg/l	0,272	0,0141	1,4
Sulfato	mg/l	7,5	2,9	250
Sulfeto	mg/l	0,024	0,256	0,002
Alcalinidade	mg/l	559	108	-

Notas: valores acima dos padrões segundo CONAMA 357/05; valor abaixo do esperado pelos padrões segundo CONAMA 357/05. Fonte: Vereda, 2013.

Com base nestes dados, em relação aos parâmetros de qualidade da água referentes à presença de matéria orgânica no corpo d'água, observa-se que, em função da grande disponibilidade de resíduos orgânicos e da ausência do tratamento de água fluviais, os valores de OD apresentam-se inferiores ao limite da Resolução CONAMA N° 357/2005 para classe I. Paralelamente, observa-se um aumento dos valores de DBO e Coliformes fecais, em função do consumo de matéria orgânica e consequentemente diminuição dos valores de OD, conforme já mencionados.

Em relação aos parâmetros de fósforo total e nitrogênio amoniacal apresentaram valores mais elevados que os limites estabelecidos pela CONAMA N° 357/2005. Cabe ressaltar que estes parâmetros são característicos de corpos hídricos eutrofizados. As origens desses compostos são em maior escala devido a efluentes domésticos e industriais, no entanto devido à alta concentração de nitrogênio em lixiviados, esse também se torna uma fonte local de poluição. Além disso, em ambientes lênticos, como os lagos da área de estudo, a concentração destes elementos é favorecida devido ao baixo hidrodinamismo.

Os parâmetros pH e temperatura se mantiveram dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005. Segundo SEMAD (2005), os corpos hídricos brasileiros, geralmente, não recebem cargas térmicas elevadas, por isso estes parâmetros não apresentaram variações significativas.

O parâmetro Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) apresentou valores acima do limite da Resolução CONAMA N° 357/2005, que é de 500 mg/l, no lago próximo à entrada do vazadouro, enquanto o segundo manteve-se dentro dos padrões da CONAMA. Apesar do efeito positivo da vegetação na retenção de sedimento e também de estar mais presente no primeiro lago, o valor mais alto neste local pode ser justificado pela proximidade com a estrada de terra que dá acesso ao vazadouro, devido à dispersão de sedimentos pela erosão das encostas e de partículas e poeira pela movimentação de veículos e caminhões durante o período de operação.

Vale ressaltar que os resultados obtidos para a amostra, em comparação com os valores permitidos na Resolução CONAMA n. 357/2005, os seguintes parâmetros não satisfazem os limites permitidos para enquadramento nas classes 1 e 2: Cromo total (Cr III + Cr VI), Ferro dissolvido, Manganês total, Níquel total, Fenóis, Surfactantes (como LAS), Fósforo Total, Nitrogênio Total, Cobre dissolvido e Nitrogênio Amoniacal.

4.1.2

Análise hidrogeológica e de fluxos subterrâneos

Por se tratar de um aterro controlado é primordial que haja um estudo das condições física-químicas do subsolo e aquífero, a fim de se obter possíveis informações da sua qualidade e, assim, permitir a avaliação da mobilidade dos elementos sob a ação do rejeito e seus riscos de contaminação. Diante disto, a zona saturada do solo indica os espaços porosos geológicos que estão preenchidos por água (SHUQAIR, 2002), e foi neste local onde foram instalados poços de monitoramento, para poder observar o comportamento dos contaminantes para o estudo da remediação ambiental do vazadouro municipal de Volta Redonda.

O estudo propôs a instalação de quatro poços de monitoramento relativos ao acompanhamento do passivo ambiental pós-fechamento para o controle do lixiviado no aquífero freático e possibilitar o estudo da condutividade hidráulica, mais especificamente na zona saturada do aquífero freático (VEREDA, 2013). Além disto, foi utilizada metodologia *Slug Test/Bail*, em todos os piezômetros instalados, para a obtenção da condutividade hidráulica da zona saturada. Esta metodologia envolve súbita descida ou subida do nível da água num poço e a medida da taxa com a qual o poço recupera nível estático original de equilíbrio, além de fornecer informação pontual para a condutividade hidráulica (SHUQAIR, 2002).

Na tabela 15 encontram-se os poços de monitoramento para os fluxos subterrâneos do aquífero freático.

Tabela 15 – Localização dos poços de monitoramento.

ST/PM	UTM – DATUM: WGS84 – FUSO: 23K	
	Latitude	Longitude
PM 01	593981,36 E	7503489,05 N
PM 02	593728,16 E	7503723,83 N
PM 03	593414,90 E	7503481,84 N
PM 04	593732,32 E	7503481,51 N

Fonte: Adaptado de Vereda, 2013.

Após a aplicação do *Slug Test/Bail*, os dados foram interpretados a partir da Equação proposta por Hvorslev (1951), que se baseia da seguinte forma:

$$k = [r^2 \ln (L/R)] / (2 L TL)$$

Onde,

k = Condutividade hidráulica (m/min);

R = Raio efetivo do poço, excluindo o pré-filtro (m);

L = Comprimento da seção filtrante (m);

r = Raio do revestimento (m);

TL = Intervalo de tempo quando $ht/h_0 = 0,37$ (min), onde H_t = Rebaixamento em função do tempo (m) e H_0 = Rebaixamento inicial (m).

A partir disto, o valor médio encontrado para a permeabilidade calculada (k) foi de $4,18 \times 10^{-3}$ cm/s ou $4,18 \times 10^{-5}$ m/s. Este valor é característico de solos com areias muito finas; siltes; misturas de areia, silte e argila; argilas estratificadas, o que corresponde a um aquífero pobre em termos de escoamento (CASAGRANDE & FADUM, 1940).

A velocidade aparente de escoamento foi determinada para calcular a velocidade real do fluxo subterrâneo, a partir de uma combinação da Lei de Darcy ($Q = K.A.dh/dl$) com a equação da velocidade hidráulica ($Q = A.v$), através da equação:

$$V_r = V_a / n_e$$

Onde,

V_r = velocidade real;

V_a = velocidade aparente;

n_e = porosidade efetiva.

A partir do coeficiente de permeabilidade encontrado ($4,18 \times 10^{-3}$ cm/s) pode-se determinar a velocidade de escoamento pela aplicação na fórmula da Lei de Darcy. O estudo indicou que o solo é composto, predominantemente, por areia contendo certa fração de silte e por vezes argila. A porosidade efetiva (n_e) encontrada foi de 21%, o que corresponde ao descrito por Mello e Teixeira (1967) para este tipo de solo. Vale ressaltar que este valor de porosidade é característico de solo com alta permeabilidade, sendo indesejável para locais como o vazadouro em estudo, pois se trata de um local com contaminação não controlada.

É importante informar também que não há dados químicos e biológicos referenciados da qualidade da água subterrânea no Projeto de Remediação Ambiental do Vazadouro de Volta Redonda, assim como dados referenciando a profundidade do subsolo para a análise da água subterrânea. Estas informações são

fundamentais para este tipo de passivo ambiental, o que demonstra que o estudo focou em características hidráulicas do aquífero, tais como porosidade, condutividade e permeabilidade. Assim, não se pôde verificar possíveis riscos de contaminação das águas subterrâneas.

No trabalho de Teixeira et al.(2007) foram analisados os seguintes parâmetros para águas subterrâneas: Condutividade, Cor, Nitrogênio Amoniacal, Cloreto, DBO, DQO, Oxigênio Dissolvido, Zinco, pH, Coliformes Fecais, Coliformes Totais, Sólidos Totais Dissolvidos; e (b) a cada 12 meses: Óleos e graxas, *Pseudomonas Aeruginosa*, *Salmonella* sp., Fenóis, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio *Kjeldahl*, Dureza Total, Turbidez, Alumínio, Cádmio, Chumbo, Bário, Cobre, Potássio, Sódio, Cromo Total, Ferro, Manganês, Mercúrio, Benzeno, Cloreto de Vinila, Tolueno/Metilbenzeno, Tricloroetileno/Tricloroetano, Xilenos e Cloreto de Metileno. Tais parâmetros são importantes para verificar os possíveis riscos de contaminação e, assim, direcionar estudos para o desenvolvimento de métodos técnicos de remediação de águas subterrâneas.

Vale lembrar que no item 34-2 da Autorização Ambiental (AA) N° IN017366 do INEA exige da Prefeitura Municipal de Volta Redonda a apresentação de Planos e Programas de monitoramento ambiental de águas subterrâneas, considerando para a implantação dos poços de monitoramento a legislação vigente (ABNT-NBR 15.495) (INEA, 2011). Ou seja, desde a construção do vazadouro não há qualquer dado referente à qualidade das águas subterrâneas, o que torna ainda mais urgente o gerenciamento adequado da área.

4.1.3

Análise das características do lixiviado

As características químicas do lixiviado foram obtidas por meio de análises realizadas pela empresa Bioagri, contratada pela PMVR em 2013, a fim de identificar qual fase de degradação que se encontra a massa de resíduos já aterrada. Vale ressaltar que estas análises foram realizadas em atendimento à Autorização Ambiental (AA) N° IN017366 do INEA, a qual foi emitida no ano de 2011. Os resultados das análises se encontram na Tabela 16.

Tabela 16 – Caracterização química do lixiviado.

Parâmetros	Fase metanogênica (> 5 anos)	Lixiviado
pH	>7,5	9,0
Demanda Química de Oxigênio (mg.l ⁻¹)	<3.000	1.802
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg.l ⁻¹)	100 – 4000	442
Relação DBO ₅ /DQO	<0,2	0,24
Nitrogênio Amoniacal Total (mg.l ⁻¹)	3.000 – 4.000	362
NH ₃ - N (mg.l ⁻¹)	>400	238
Metais (mg.l ⁻¹)	<2,0	Cr: 0,22; Cd: < 0,001; Mn: 0,532; Pb: < 0,01; Zn: 0,053
Ferro (mg.l ⁻¹)	6,3	4,2
Fósforo total (mg.l ⁻¹)	12	5,8

Fonte: Lopes, 2016.

A baixa concentração de nitrogênio amoniacal (NH₃- N) é um bom indicador para atividade microbiana do aterro, visto que esta substância é tóxica e altas concentrações poderiam afetar o metabolismo dos micro-organismos degradadores da matéria orgânica. Este fato também se relaciona com alto valor do pH verificado, o que indica que o vazadouro se encontra na sua fase metanogênica (SEGATO & SILVA, 2000).

Segundo Lopes (2016), a baixa concentração de Nitrogênio Amoniacal Total e também para a relação DBO₅/DQO se devem à construção de uma célula emergencial de disposição de resíduos em 2008, a qual permitiu a mistura do lixiviado desta célula com o outro coletado oriundo da degradação dos resíduos mais antigos. No entanto, estes resultados não corroboram com os valores encontrados no trabalho de Segato & Silva (2000), os quais verificaram altos valores para estes parâmetros onde se havia mistura das contribuições das várias células que compõem o aterro sanitário de Bauru-SP.

Os dados destas amostras possibilitam ter uma noção das características físico-químicas e biológicas do lixiviado. No entanto, outras análises deveriam ter sido realizadas em anos anteriores para um maior monitoramento ambiental e, assim, colocar em prática medidas de contenção. Ressalta-se que apenas esta

amostragem foi realizada e os impactos ambientais devido a esse descaso são bastante significativos na área.

Em atendimento à restrição N° 29 da AA N° IN017366 do INEA, a empresa de consultoria ambiental contratada implantou o Sistema de Geotêxtil (*geobags*) como tecnologia para o tratamento do lixiviado e efluentes líquidos. Este sistema é usado na geocontenção, na contenção e desidratação de lodo proveniente de processo de tratamento de efluentes oriundos de diversas fontes geradoras, conforme pode ser visualizado na Figura 29 (VEREDA, 2013).



Figura 29 – Estação de tratamento de lixiviado (ETC) do vazadouro. Fonte: INEA, 2009.

De acordo com a tecnologia geotêxtil empregada, o sistema apresenta as seguintes fases de operação, (VEREDA, 2013):

- **Contenção:** o geotecido de alta resistência pode ser cheios de lodo com baixo teor de massa sólida, solos contaminados e materiais refugados. Os pequenos poros confinam os pequenos grãos dos materiais a serem retidos;
- **Desidratação:** o excesso de água é drenado pelo geobag através dos poros do tecido, favorecendo uma desidratação efetiva e uma eficiente redução do volume de água;

³Imagem extraída do Relatório de Vistoria INEA, realizada no ano de 2009, cujo número de processo é E-07/500050/2009 .

- **Consolidação:** após o ciclo de enchimento e desidratação, o material sólido retido no tecido continua a consolidar por desidratação devido à evaporação da água residual pelo tecido.

Para a operação deste sistema, ao que se refere aos recursos humanos necessários, tem-se: 01 supervisor do tratamento, sendo engenheiro sanitariae/ou engenheiro químico; 03 operadores, sendo um controlador de chegada de caminhões e 01 operador de sistemas de dosagem/volume da bacia (VEREDA, 2013).

No entanto, no Relatório de Vistoria, referente ao dia 01/12/2014, elaborado pelo INEA, pelo Setor de Gerência de Licenciamento de Atividades de Saneamento e Resíduos, foram verificados a percolação de lixiviado pelo sistema de drenagem pluvial indo direto para o solo, além de uma estação de tratamento de lixiviado (ETC) desativada. Já a lagoa de acumulação de lixiviado encontrava-se vazia e na lagoa de equalização existe um cano de PVC que permite o extravasamento do lixiviado se a mesma estiver no limite (INEA, 2014_b). Tais fatos também foram identificados na vistoria realizada por este trabalho no dia 23 de maio de 2016, conforme a Figura 30, além da inexistência de poços de monitoramento de lixiviado.

O sistema de drenagem de águas pluviais do aterro demonstra-se pouco eficaz, pois pôde ser observado durante a vistoria realizada em maio de 2016 que somente o talude base possui uma canaleta para o recebimento destas águas. Ademais, em outros locais havia vegetação recobrindo e até resíduos plásticos, sobretudo sacolas plásticas.



Figura 30 – Acúmulo de lixiviado na margem do talude, vistoria em maio de 2016.

Fonte: Próprio autor.

De acordo com a vistoria do INEA, realizada em 07 de julho de 2014, o lixiviado era coletado e recirculado no próprio vazadouro, mas parte dele era recolhido e tratado pela CSN, fato este que não ocorre atualmente (INEA, 2014_a). Na visita realizada em maio de 2016, o funcionário presente informou que o lixiviado é succionado por bombas na lagoa de estabilização, armazenado em tanques e posteriormente coletados pela PMVR, que o direciona para a ETE do bairro Roma, localizada a menos de 5 km do vazadouro, onde o SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto), empresa que é responsável pelo abastecimento público municipal, realiza o tratamento.

Diante deste quadro, a Prefeitura Municipal de Volta Redonda foi autuada pelo INEA por causar poluição do solo e de corpos hídricos pelo lançamento do lixiviado, conforme o Art. 93 da Lei n° 3.467 de 14/09/2000, além de ter sido notificada para manter a ETC em funcionamento e operação e cessar a recirculação de lixiviado no maciço de lixo (INEA, 2014_b).

4.1.4

Drenagem de gases

Para o controle de gases emanados da decomposição dos resíduos, como CO₂ e CH₄, foi sugerido um sistema de proteção superficial para cobrir os platôs e taludes de resíduos já dispostos. Com o intuito de minimizar a infiltração direta da água da chuva, a impermeabilização de superfície tem espessura de 0,50 m, em solo compactado, com instalação de uma geomembrana de PEAD (1 mm de espessura), seguido por uma camada de 0,40 m de cobertura vegetal e finalizado com o plantio de placas de grama do tipo batatais ou similar (VEREDA, 2013).

Em termos de segurança ambiental, tanto para os operadores do vazadouro quanto ao ecossistema local, é fundamental que este tipo de controle seja realizado, uma vez que os gases produzidos a partir da decomposição dos resíduos podem gerar processos de combustão, riscos de explosões, odor e até mesmo problemas de saúde para a população local. Neste caso, a queima de gases, proposta pela empresa contratada, será realizada manualmente por um funcionário capacitado e específico, o qual irá monitorar a queima visualmente pelo “*flare*”, certificando-se que as

mesmas estão acesas constantemente e se os seios hidráulicos estão sem avarias (VEREDA, 2013).

A drenagem do biogás foi planejada através de caminhos preferenciais criados no interior da massa com a implantação de drenos verticais construídos com tubos de aço e brita ou brita contida por telas. A construção de drenos verticais é importante para alcançar o máximo de profundidade possível do solo. Estes drenos são constituídos de tubo PEAD flexível (diâmetro de 150 mm), envoltos por uma brita de nº 3 com proteção de manilha de concreto pré-moldada (diâmetro de 400 mm), com transição do tubo de PEAD 6” para tubo de ferro galvanizado de 4” (VEREDA, 2013).

A captação do biogás oriundo de um local de disposição final de resíduos deve levar em consideração possíveis usos futuros do mesmo, uma vez que os recursos direcionados para este tipo de objetivo são elevados. Como o vazadouro municipal encontra-se encerrado desde maio de 2012, a produção de biogás está em queda constante, o que torna difícil a possibilidade do uso deste gás para a geração de energia elétrica ou aquecimento domiciliar, por exemplo.



Figura 31 – Drenos verticais para gases (vistoria em maio de 2016).

Fonte: Próprio autor.

Vale ressaltar que a implantação de drenos para o monitoramento de gases foi estabelecida pelo TAC (nº 2003.5104002992-9), assinado em 2005, e reforçado novamente como condicionante na Autorização Ambiental (AA), Nº IN017366 do INEA, nos itens 21.3, 42 e 56 (INEA, 2011). Existem 10 drenos verticais construídos no local onde havia o maciço de lixo, conforme a Figura 31. No entanto, na vistoria realizada pelo INEA, no dia 1 de dezembro de 2014, foi verificada a

presença da liberação de biogás, devido a um possível deslizamento da massa de lixo, no local próximo à ETC (INEA, 2014_b).

De acordo ainda com esta última vistoria realizada pelo INEA estava previsto a instalação de um queimador de gases para reduzir a poluição atmosférica (INEA, 2014_b). Porém, na vistoria realizada em maio de 2016, neste trabalho, não foi observado qualquer instalação de queimador nos drenos verticais.

Em virtude destes potenciais riscos ambientais, a Prefeitura Municipal de Volta Redonda foi novamente autuada por poluir o ar pelo lançamento de metano proveniente dos sistemas de drenagem de gases sem queimador, conforme o Art. 91 da Lei nº 3.467 de 14/09/2000 (INEA, 2014_a). Tal fato demonstra o mesmo descaso em relação ao tratamento do lixiviado, os quais poderiam ter sido evitados se houvesse maior acompanhamento das atividades de recuperação ambiental por parte do poder público municipal e também pelo órgão ambiental estadual competente, o que acaba colocando em risco a qualidade dos ecossistemas naturais e a saúde pública do município.

4.1.5

Fauna e flora

Em relação à fauna, não foi verificado qualquer menção à recuperação, monitoramento ou criação de programas voltados especificamente para este grupo nos documentos legais emitidos pelo INEA, nem mesmo nos documentos das vistorias realizadas por este mesmo órgão, e até mesmo no Projeto de Remediação Ambiental do Vazadouro Municipal de Volta Redonda. Apenas neste último foi mencionado que a área do vazadouro se encontra próxima à ARIE Floresta da Cicuta, a qual possui grande relevância ecológica devido a sua biodiversidade de aves, mamíferos e anfíbios.

Entretanto, no dia da vistoria realizada em maio de 2016 foram observados representantes da avifauna, como o marreco-do-sul (*Netta erythrophthalma*), os quais estavam se alimentando no lago a montante do vazadouro, e animais sinantrópicos, como cães domésticos (*Canis lupus familiaris*), conforme as figuras 32 e 33, respectivamente. Além disto, não foram encontradas espécies oportunistas de aves, como o carcará e urubu, os quais são atraídos por restos de alimentos e detritos orgânicos presentes nos resíduos. Provavelmente, o aterramento e a

remoção dos resíduos do local diminuiram a disponibilidade de alimento para estas aves, forçando-as a encontrar alimento em outro local.

Além deste fato, a presença do marreco-do-sul se alimentando no lago a montante, ave bastante comum na ARIE Floresta Cicuta (ICMBio, 2016), também indica uma recuperação da ecologia local, mesmo em se tratando de um lago eutrofizado. Vale lembrar que podem existir outras espécies importantes para a estabilidade ecológica local e que a escassez de informações a respeito de algumas delas, como espécies ameaçadas, migrantes, exóticas, invasoras, “de borda” ou “guildas”, impossibilita o desenvolvimento de estudos, pesquisas e programas de manejo de fauna. Logo, a ausência destas informações não proporciona, de certa forma, um bom andamento do processo de remediação ambiental do vazadouro.



Figura 32 - Marreco-do-sul (*Netta erythrophthalma*). Fonte: Próprio autor.



Figura 33 – Cão doméstico (*Canis lupus familiaris*). Fonte: Próprio autor.

Já em relação à flora, os documentos emitidos pelo INEA, a Autorização Ambiental N° IN017366 e a Licença Ambiental de Recuperação (LAR) N° IN031996, contemplam condicionantes ambientais voltadas para o reflorestamento, proteção de encostas e taludes e plantação de mudas. Já no Projeto de Remediação Ambiental do vazadouro elaborado pela empresa contratada pela Prefeitura Municipal de Volta Redonda contempla a descrição de espécies encontradas na área do vazadouro e programas voltados para o plantio de mudas.

A importância destas condicionantes deve-se, principalmente, à minimização dos impactos ambientais, pois o solo poderá absorver com maior rapidez as águas pluviais, evitará a formação de processos erosivos e garantirá a retenção de sedimentos e partículas para os corpos hídricos já comprometidos na área do vazadouro. Além disto, a revegetação da área poderá atrair animais representantes da fauna e regular o microclima local.

No Projeto de Remediação Ambiental do Vazadouro Municipal de Volta Redonda relata que em áreas com resíduos, solo exposto e com a presença de plantas invasoras haverá uma limpeza, análise físico-química do solo e próximo a fragmentos arbóreos será necessário verificar a resiliência no local (VEREDA, 2013). Além disto, foram propostas as seguintes técnicas de plantio:

- **Preparação da área:** visa realizar, manualmente, a limpeza e capina de espécies herbáceas daninhas somente no entorno de covas, num raio de 0,5 m para o estabelecimento do plantio das mudas arbóreas;
- **Marcação e abertura de covas:** a marcação das covas terá 2,0 m x 2,0 m e as covas terão 0,064 m³, o que é suficiente para o crescimento radicular das mudas;
- **Distribuição de mudas:** as mudas serão distribuídas de maneira aleatória ao lado da lagoa de gigoga, com duas faixas de mudas de sabiá, com espaçamento 1,0 m x 1,0 m, e o restante será feito num espaçamento de 2,0 m x 2,0 m. Próximo à área de preservação permanente, o arranjo se apresentará em quincôncio, com uma espécie secundária central envolvida por quatro espécies pioneiras.

No entanto, durante a vistoria realizada em maio de 2016 não foram observados estas atividades propostas pelo projeto de remediação ambiental do vazadouro, e sim um crescimento desordenado e abundante de capim-colonião (*Panicum maximum Jacq*) (Figura 34), principalmente nos taludes e nas regiões de borda, o qual é considerado uma espécie invasora (MATOS & PIVELLO, 2009). Ademais, verificou-se que o processo de regeneração natural (sucessão ecológica secundária) era composto de espécies herbáceas e arbustivas, como a embaúba (*Cecropia pachystachya*), e gramíneas, conforme a Figura 35.



Figura 34 – Capim colônia (*Panicum maximum* Jacq.). Fonte: Próprio autor.



Figura 35 – Embaúba (*Cecropia pachystachya*). Fonte: Próprio autor.

Na tabela 17 encontram-se algumas espécies arbustivas e rasteiras identificadas em levantamentos realizados, por uma equipe formada de botânicos e biólogos, na área entorno ao vazadouro para o Projeto de Remediação Ambiental do Vazadouro Municipal de Volta Redonda.

Tabela 17 – Lista de algumas espécies identificadas no entorno do vazadouro.

Nome científico	Nome vulgar	Nome científico	Nome vulgar
<i>Psidium catteyanum</i>	Araçá	<i>Mollinedia schottiana</i>	Capixim
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Aroeira	<i>Sterculia striata</i>	Chichá
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	Angico	<i>Triplaris americana</i>	Pau-formiga
<i>Fiscus</i> sp.	Figueira	<i>Trichilia clauseni</i> C. DC.	Catiguá
<i>Psidium guajava</i>	Goiabeira	<i>Cupania oblongifolia</i>	Camboatá
<i>Tabebuia</i> sp.	Ipê	<i>Inga edulis</i>	Ingazeiro
<i>Virola gardnerbi</i>	Bicuíba	<i>Tibouchina granulosa</i>	Quaresmeira
<i>Lecythis pisonis</i>	Sapucaia	<i>Acacia podalyriifolia</i>	Monjolo
<i>Jacaratia spinosa</i>	Jaracatia	<i>Mimosa bimucronata</i>	Maricá
<i>Ceiba speciosa</i>	Paineira	<i>Euphorbia heterophylla</i>	Leiteira
<i>Senefeldera multiflora</i>	Sucanga	<i>Luehea divaricata</i>	Açoita-cavalo
<i>Miconia disflora</i>	Jacatirão	<i>Ricinus communis</i>	Mamona

Fonte: Adaptado de Vereda, 2013.

Vale ressaltar que caso continue havendo o crescimento descontrolado do capim colônia (*Panicum maximum* Jacq) no local, sem qualquer prática ou ferramenta que diminua sua propagação, o restabelecimento da comunidade vegetal original demandará ainda mais tempo e custos. Segundo Ziller (2000), dentre os principais impactos ecológicos causados por espécies invasoras estão: alterações na ciclagem de nutrientes, na produtividade vegetal, na distribuição de biomassa, na densidade de espécies, além de reduzir o valor econômico da terra e o valor estético da paisagem, comprometendo seu potencial turístico.

4.1.6

Geomorfologia e geologia

Quanto à caracterização do solo, ele é formado superficialmente por escória de refugo das atividades siderúrgicas e por arenossiltosos de granulometria fina à média, horizontes argilosos e com matéria orgânica, fragmentos de rochas graníticas e gnaisses alteradas (VEREDA, 2013). Na Figura 36 é possível visualizar o solo do vazadouro.



Figura 36 - Imagem do solo e processos erosivos (vistoria em maio de 2016). Fonte: Próprio autor.

O vazadouro encontra-se na Bacia Sedimentar de Volta Redonda, cuja unidade morfoescultural é o Tabuleiro de Bacias Sedimentares (DIAS *et al.*, 2012), formada principalmente por arenitos e argilitos, de origem Cenozóica. Esta bacia é circundada por rochas cristalinas de origem metamórfica e ígneas intrusivas, compondo uma importante feição geológica brasileira, o “*Rift Continental do Sudeste do Brasil*” (ALMEIDA & CARNEIRO, 1998).

O terreno era um vale com declividade variando 30 metros entre o ponto mais baixo e o mais alto. Desta forma, com a contínua disposição e espalhamento dos resíduos formou-se um talude com uma declividade em entorno de 2:1 com cerca de 20 metros de altura, conforme a Figura 37 (INEA, 2015).



Figura 37 - Imagem do talude no ponto mais alto do vazadouro (vistoria em maio de 2016). Fonte: Próprio autor.

5

Conclusão e recomendações

Os riscos à saúde pública e ao meio ambiente advindos do manejo e disposição final dos resíduos sólidos requerem decisões que envolvem o gerenciamento adequado dos mesmos, aliados, também, à integração entre políticas econômicas, sociais e ambientais do Poder Público nas três esferas de governo. No caso da disposição de resíduos em lixões, o risco ocorre da mistura de resíduos perigosos aos resíduos orgânicos e materiais recicláveis dos resíduos sólidos urbanos gerados nos municípios, exigindo critérios mais rigorosos de segurança para o seu gerenciamento.

O processo de remediação ambiental do vazadouro de Volta Redonda sofreu várias interrupções ao longo dos anos, acarretando em sérias consequências ao meio ambiente. O exemplo do município demonstra que a questão do tratamento adequado para o lixo urbano não é vista, até o momento, como prioridade pelas autoridades competentes, sobretudo pela administração pública, a qual adotou medidas de pouca ou nenhuma eficácia quanto à remediação dos passivos ambientais existentes em seu território, pois o vazadouro ainda não foi totalmente remediado.

Conforme foi relatado, percebeu-se que havia um excesso de lixiviado acumulado na margem do talude, podendo haver um risco de percolação do líquido até o lago mais próximo ou da infiltração pelo solo. Com a chegada da estação do verão, este risco é potencializado devido à ação de chuvas mais intensas, o que demonstra a necessidade de maior acompanhamento, segurança e monitoramento desta atividade. Isto demonstra também a necessidade do monitoramento contínuo da qualidade da água dos lagos de gigogas para a biodiversidade local, além da urgência na contenção da possível dispersão do lixiviado para o rio Brandão.

Devido ao alto grau de degradação ambiental e estresse em que se encontra a área do vazadouro, sugere-se o uso de espécies vegetais da família Leguminosae como método alternativo para restabelecer as condições ambientais necessárias para o assentamento de novas espécies. Espécies desta família tem capacidade de se associar simbioticamente a bactérias fixadoras de nitrogênio, que, aliado ao fósforo, são elementos essenciais que limitam o estabelecimento e o desenvolvimento

vegetal. Apesar disto, não se recomenda a reutilização da área como um parque de lazer, mesmo concluída a remediação, devido à desestabilização do solo e talude.

Em relação à liberação de gases pelos drenos verticais, recomenda-se que o atual poder público municipal adote como ações a implantação de um queimador, para interromper a emissão de gases para a atmosfera. Concomitantemente, deverá realizar a análise, o monitoramento e o armazenamento dos dados relacionados com a emissão dos gases, para minimizar possíveis riscos à segurança dos operadores e ao meio ambiente.

Vale ressaltar que há uma escassez de dados de monitoramento ambiental, como por exemplo da qualidade de águas superficiais e subterrâneas, qualidade do solo e do ar, pois não há um histórico de dados que permita afirmar se houve alguma melhora ou não da qualidade ambiental. Ou seja, os dados secundários disponíveis são “superficiais” em relação à magnitude e intensidade dos impactos ambientais, diante dos 25 anos de operação do vazadouro.

Em relação à responsabilidade sobre os danos causados na área do vazadouro de Volta Redonda, registra-se que o responsável legal do Município de Volta Redonda na época foi processado por quatro crimes ambientais e por descumprir a obrigação de relevante interesse ambiental contida no Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) que a Prefeitura firmou com o Ministério Público Federal (MPF) e o INEA, em 2005.

No entanto, tanto ao longo do processo de licenciamento ambiental quanto do processo de remediação ambiental do vazadouro, nos documentos legais emitidos pelo INEA (licenças ambientais, autorização ambiental) não há qualquer item específico para a fauna, como ações voltadas para a elaboração de programas, planos de manejo ou monitoramento da fauna silvestre, mesmo com o vazadouro estando dentro da área de zona de amortecimento da ARIE Floresta da Cicuta.

Determinadas espécies de animais, como mamíferos e aves, são extremamente importantes para o equilíbrio da ecologia local, pois estão no topo da cadeia alimentar, podendo, assim, ser úteis como indicadores de qualidade ambiental. Portanto, as condicionantes ambientais em processos de remediação ou licenciamento ambiental de lixões devem também incluir medidas de proteção/recuperação destes grupos de animais, ainda mais quando se trata de áreas de ocorrência de espécies ameaçadas de extinção.

Assim, a atuação do Órgão Ambiental Estadual (INEA) se demonstrou pouco efetiva em fiscalizar o cumprimento das condicionantes ambientais, de exigir da Prefeitura Municipal a regularização do processo de licenciamento da operação e de averiguar a remediação dentro do prazo.

O Projeto de Remediação Ambiental elaborado pela empresa Vereda Estudos e Execução de Projetos LTDA. buscou atender as condicionantes ambientais impostas pelo INEA, os critérios de engenharia para a efetiva recuperação da área (drenagem de gases, análises hidrogeológicas, reativação do tratamento de lixiviado, instalação de sistema de monitoramento de águas superficiais, subterrâneas e lixiviados, entre outros). Além disto, o estudo propôs ainda a reutilização da área como um parque de lazer, apesar do local ter em seu entorno uma presença bastante significativa de indústrias e de acesso restrito à população volta redondense, uma vez que estaria afastado do perímetro urbano e com poucas alternativas de transporte público (apenas 1 linha municipal de ônibus transita na Rodovia dos Metalúrgicos, a Linha 180).

Vale salientar que caso o cumprimento do TAC e a regularização do processo de licenciamento ambiental tivessem sido concretizados anteriormente, os impactos ambientais poderiam ter sido menores e com menor gravidade, assim como os custos do processo de remediação.

Diante das dificuldades encontradas neste estudo de caso de Volta Redonda, o desenvolvimento da pesquisa, tanto em relação à obtenção de informações da operação do aterro de lixo quanto dos dados secundários, demonstra claramente a complexidade e gravidade do tema e a relevância para o prosseguimento de novos estudos. Evidencia-se, assim, a função dos órgãos públicos responsáveis em estabelecer as medidas preventivas e corretivas e a ausência de transparência nos processos de licenciamento ambiental e gerenciamento dos passivos ambientais (áreas contaminadas) no Estado do Rio de Janeiro.

Ressalta-se a importância do órgão ambiental estadual manter atualizado o cadastro de áreas contaminadas, bem como disponibilizar as informações que estão sendo adotadas para eliminação dos passivos ambientais, com vistas a permitir o acompanhamento da população sobre os potenciais riscos a que estão sendo expostas.

Referências bibliográficas

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA (AGEITEC-EMBRAPA). **Argilossolos Vermelho-Amarelos**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/rvore/CONT000gt7eon7k02wx7ha087apz2axe8nfr.html. Acesso em: 22/10/2016.

ALMEIDA, F. F. M. & CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, n.2, v. 28, p. 135-180, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). **Brasil continua líder na reciclagem de latas de alumínio para bebidas**. Disponível em: <http://www.abal.org.br/noticias/lista-noticia/integra-noticia/?id=1170>. Acesso em: 23/02/2016.

_____. **Reciclagem**. Disponível em: <http://www.abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/>. Acesso em: 28/11/2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE). **A indústria elétrica e eletrônica impulsionando a economia verde e a sustentabilidade**. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/programas/images/abinee20.pdf>. Acesso em 18/12/2015.

_____. **Desempenho setorial - perspectiva para 2013**. Disponível em: http://www.abinee.org.br/abinee/decon/dec_on15.htm#perspec. Acesso em 23/12/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2004. **Resíduos Sólidos: Classificação – NBR 10.004/2004**.

_____. **NBR 13896: Aterro de Resíduos Não Perigosos –Critérios para Projeto, Implantação e Operação**. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 15492: Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 15495-1: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados – Parte 1: Projeto e construção**. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 15495-2: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulados – Parte 2: Desenvolvimento**. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15515-1: Avaliação de Passivo ambiental em solo e água subterrânea: Parte 1 – Avaliação Preliminar**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 15515-2: Avaliação de Passivo ambiental em solo e água subterrânea: Parte 2 – Investigação Confirmatória**. Rio de Janeiro, 2011.

33____. **NBR 15515-3: Avaliação de Passivo ambiental em solo e água subterrânea: Parte 3 – Investigação Detalhada.** Rio de Janeiro, 2013.

____. **NBR 15847: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil-2009.** São Paulo: ABRELPE, 2009.

____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil- 2014.** São Paulo: ABRELPE; 2014.

____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil- 2017.** São Paulo: ABRELPE; 2017.

ALCÂNTARA, A. J. O. **Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos e caracterização química do solo da área de disposição final do município de Cáceres-MT.** Cáceres, 2010. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais, Universidade do Estado do Mato Grosso.

AMBIETICA ASSESSORIA AMBIENTAL LTDA. **Produto 2A: Panorama Geral dos Resíduos Sólidos no Município de Canoas.** Plano Municipal de Coleta Seletiva. Canoas, RS, Out.2014, p.44-55.

ARAÚJO, B. G. P.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. F.; VIEIRA JUNIOR, A. S. **Resíduos Sólidos Urbanos: análise sobre a situação do conjunto Albano Franco – Riachão do Dantas–SE.** Disponível em: <http://fjav.com.br/revista/Downloads/EdicaoEspecialdaPosLatoSensuemTerritorioDesenvolvimentoMeioAmbiente2013/Artigo45_58.pdf>. Acessado em: 20 de out.de 2015.

ARAÚJO, T. B. **Avaliação de impactos ambientais em um lixão inativo no Município de Itaporanga – PB.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, p.48.

AREND, C. O.; OLIVEIRA, J. M.; ÁVILA, L. **Passivos Ambientais.** Dossiê técnico. Porto Alegre: SENAI-RS, ago.2011, p.35.

ATHANASIOU, M.; MAKRYNOS, G.; DOUNIAS, G. *Respiratory health of municipal solid waste workers.* **Occup. Med.**, 2010; 60 (8): p. 618–623.

ÁVILA, C. Uma solução Inteligente para Resíduos Industriais. **Revista Meio Ambiente Industrial**, n. 35, ano VI, p. 90-91, mar./abr./2002.

BARREIRA, L. P.; JUNIOR, A. P.; RODRIGUES, M. S. Usinas de compostagem do Estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol.11, n.4, Rio de Janeiro Oct./Dec. 2006.

BEM, J. S.; GIACOMINI, N. M. R.; SCHUTZ, F. **O manejo dos resíduos sólidos em canoas, rs e seu ajustamento a política nacional de 2010**. Disponível em: http://cdn.fee.tche.br/eeg/6/mesa8/O_Manejo_de_Residuos_Solidos_em_Canoas_RS_e_seu_Ajustamento_a_Politica_Nacional_de_2010.pdf. Acesso em: 22/11/2017.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999. 120p.

BONDUKI, N, G. **Política Nacional de Resíduos Sólidos – Apresentação**. SRHU – Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. 2010.

BOSCOV, M.E.G. **Geotecnia Ambiental**, São Paulo: Oficina de textos, 2008.

BRASIL. **Câmara dos deputados. Câmara vai analisar nova proposta que prorroga prazo para fim dos lixões**. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/MEIO-AMBIENTE/492812-CAMARA-VAI-ANALISAR-NOVA-PROPOSTA-QUE-PRORROGA-PRAZO-PARA-FIM-DOS-LIXOES.html>. Acesso em: 01/03/2016.

_____. **Lei Federal N° 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 13/09/15.

_____. **Lei Federal N° 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res42009.pdf>. Acesso em 13/02/2016.

_____. **Reciclagem atinge apenas 8% dos municípios brasileiros**. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/04/reciclagem-atinge-apenas-8-porcento-dos-municipios-brasileiros>. Acesso em: 22/02/2016._____. **Lei Federal N° 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis/L9985.htm>>. Acesso em: 22/08/2016.

CARAUTA, J. P. P.; LIMA, D. F.; VIANNA, M. C.; ASCENÇÃO, M. R.; LINS, E. A. M. **Vegetação da Floresta da Cicuta, Estado do Rio de Janeiro: Observações preliminares**. *Albertoa*, Rio de Janeiro, v. 3, n. 11, p. 101–124, 1992.

CARVALHO, J. L. V. **Estimativa energética e recuperação de metano a partir dos RSU pelo processo de digestão anaeróbia e poder calorífico: estudo de caso Barreiras – BA**. 2013. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana, UFBA, Salvador, BA, Brasil.

CASAGRANDE, A.; FADUM, R. E. *Notes on soil testing for engineering purposes*. Harvard University Graduation School of Engineering Publication, 269, p. 74, 1940.

CASTANON, N.J.B. **Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais**. Trabalho na disciplina: Biomassa como fonte de energia - Conversão e utilização. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002. 66p.

CAVANZZANA, L. Y.; SCHIAPATI, R. S.; LIMA, J. S. P. Lixão inativo da cidade de Ilha Solteira: análise ambiental e proposta de remediação. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 8, n. 12, 2012, p. 249-255.

CENTRO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS DO SETOR SUCROENERGÉTICO E BIOCOMBUSTÍVEIS – CEISE. **Biogás: produção aumenta 14% no último ano**. Disponível em: <http://www.ceisebr.com/conteudo/biogas-producao-aumenta-14-no-ultimo-ano.html>. Acesso em: 01/02/2019.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Um marco de desafio e oportunidades**. 2015. CEMPRE Review 2015. São Paulo.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007**. Dispõe sobre o procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas. Acesso em: 25/11/2015, de: http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/proced_gerenciamento_ac.pdf.

_____. **Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, p.101, 2001.

CHERNICHARO, C. A. L. **Biomassa nos sistemas anaeróbios**. In: CHERNICHARO, C. A. L. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: reatores anaeróbios*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, v. 4, p. 85-88, cap.3. 1997.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuais**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, v. 5, 2000.

COMPANHIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA (COMLURB). 2005. **Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares do Município do Rio de Janeiro**. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/comlurb>> Acesso em: 08 de Janeiro de 2016.

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. **Lixo municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 2ªed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

DA SILVA, E. T. Tratamento de lixo domiciliar e sua aplicação na recuperação de áreas degradadas. **Rev. Acad.**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 197-209, abr./jun. 2007.

DAVIS, M. L.; CORNWELL, D.A. *Introduction to environmental engineering*. 3rd. Edition. McGraw-Hill, 1998.919p. (McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering).

DIAS, J. B. & PENA, L. L. S. Dificuldades para o aproveitamento energético de resíduos sólidos através da incineração no Brasil. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 6, número especial (3), p. 173 - 180, 2016.

DIAS, J. E.; GOMES, O. V. O.; RODRIGUES, A. F.; GOES, M. H. B.; PEREIRA, M. G. **Aplicação do Mapa Digital Expedido de Solos no Planejamento Ambiental do Município de Volta Redonda (RJ)**. In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Aracajú – SE, n.1, 17 e 18 de outubro de 2012.

DINIZ FILHO, E. T.; MESQUITA, L. X.; OLIVEIRA, A. M.; NUNES, C. G. F.; LIRA, J. F. B. A prática da compostagem no manejo sustentável de solos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 2, n. 2, p. 27-36, 2007.

DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (DRM-RJ). **Águas subterrâneas**. Disponível em: <http://www.drm.rj.gov.br/index.php/areas-de-atuacao/3-aguassubterraneas>. Acesso em: 31/03/2016.

EDGERS, L.; NOBLE, J.J.; WILLIAMS, E. 1992. “*A Biologic Model for Long Term Settlement in Landfills*”. In: Usmen, M. A, Acar, Y. B (eds), Environmental Geotechnology, Proceedings of the Mediterranean Conference on Environmental Geotechnology, Turkey. A. A. Balkema, Rotterdam pp. 177-184.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). **Better management of municipal waste will reduce greenhouse gas emissions**. European Environment Agency, Briefing 1. Copenhagen: EEA; 2008.

ELLIOTT, P.; SHADDICK, G.; KLEINSCHMIDT, I.; JOLLEY, D.; WALLS, P.; BERESFORD, J.; GRUNDY, C. *Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain*. **Br. J. Cancer**, 1996; 73 (5): p. 702-710.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE (FEEMA). **Perfil do Município de Volta Redonda**. Volta Redonda, p.98, 1991.

FERREIRA, J.A. & ANJOS, L.A. Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais. **Cad. Saúde Pública**. 2001; 17 (3): p. 689-696.

FERREIRA, E.M.; CRUVINEL, K.A.S.; COSTA, E.S. 2014. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos: diagnóstico da gestão do município de Santo Antônio de Goiás. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, v.14, n.3, mai-ago. p.3401-3411.

FETTER, C. W. 1993. *Contaminant Hydrogeology*. Prentice-Hall, p. 458.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS (FIEMG). **Gerenciamento de Áreas Contaminadas – Conceitos e Informações Gerais**. 2011. 75p.

FONSECA, S. M.; SANTOS, D. C. R. M.; FREITAS, W. K. A influência de unidades de conservação na qualidade da água de corpos hídricos - estudo de caso na ARIE Floresta da Cicuta/RJ. *In: 14º Congresso Nacional de Meio Ambiente*, Poços de Caldas, MG, 26 – 29 de setembro de 2017.

FRANCISCO, W. C. E. "**Crescimento da população brasileira**". Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/brasil/o-crescimento-da-populacao-brasileira.htm>>. Acesso em 17/02/2016.

FRANCO, M. S. **Utilização de técnicas compatíveis com o conceito de química verde na determinação de micropoluentes orgânicos em matrizes ambientais**. 2015. Tese de Doutorado – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, p.141.

FUESS, L. T. **Potencial contaminante e energético da vinhaça: riscos de contaminação ao solo e recursos hídricos e recuperação de energia a partir da digestão anaeróbia**. 2013. Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente, UNESP, Rio Claro – SP, p.161.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). 2006. **Manual de saneamento**. 3ªed. Brasília, Fundação Nacional de Saúde / Brasil.

GIUSTI, L. *A review of waste management practices and their impact on human health*. **Waste Manag.** 2009; 29(8): 2227-2239.

GODECKE, M. V.; CHAVES, I. R.; NAIME, R. H. Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: o caso de Canoas, RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v(7), nº 7, p. 1430-1439, Mar-Ago, 2012.

GOMES, F. C. S. P.; AQUINO, S. F.; COLTURATO, L. F. D. B. Biometanização seca de resíduos sólidos urbanos: estado da arte e análise crítica das principais tecnologias. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.17, n.3, p. 295-304, 2012.

GUTBERLET, J. O custo social da incineração de resíduos sólidos: recuperação de energia em detrimento da sustentabilidade. **Revista Geográfica de América Central Número Especial - EGAL**, 2011, Costa Rica II Semestre, 2011.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). **Parecer Técnico de Licença Ambiental de Recuperação nº SUPMEP 02.09.15**. Rio de Janeiro, RJ, p.7,2015.

_____. **Relatório de Vistoria do Vazadouro de Volta Redonda**. Rio de Janeiro, RJ, p.3, 2009.

_____. Autorização Ambiental. AA Nº IN01736. **O Instituto Estadual do Ambiente - INEA, no uso das atribuições que lhe são conferidas pela Lei nº**

5.101, de 4 de outubro de 2007 e pelo Decreto nº 41.682, de 12 de janeiro de 2009, e suas modificações posteriores e em especial do Decreto nº 42.159, de 2 de dezembro de 2009 que dispõe sobre o Sistema de Licenciamento Ambiental, concede a presente Autorização Ambiental a Prefeitura Municipal de Volta Redonda. p.11, 2011.

_____. **a. Relatório de Vistoria do Vazadouro de Volta Redonda.** Rio de Janeiro, RJ, p.2, 2014.

_____. **b. Relatório de Vistoria do Vazadouro de Volta Redonda.** Rio de Janeiro, RJ, p.2, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.** Rio de Janeiro, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, PNSB - 2008.** Rio de Janeiro: IBGE; 2010.

_____. **Sinopse do Censo Demográfico de 2010.** Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=P13>. Acesso em: 27/02/2016.

_____. **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em 18/02/2016.

_____. **Acervo fotográfico do IBGE: Volta Redonda.** Disponível: <http://cidades.ibge.gov.br/painel/fotos.php?lang=&codmun=330630&search=rio-de-janeiro|volta-redonda|infograficos:-fotos>. Acesso em 18/09/2016.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE VOLTA REDONDA (IPPU-VR). 1994. **Informações para o Plano Diretor.** Vol. 1, Volta Redonda: IPPU-VR. (Coleção Cadernos de Planejamento).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO /COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (IPT/CEMPRE). 2000. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** 2ª ed. São Paulo.

IZABELLA, C.R.P.V.; ADRIANA, S.F.A.; ALINE, S.F.; ALBIANE, C.D.; JOSÉ, A.C. 2012. **Elaboração do perfil difusivo de íons inorgânicos Cl⁻, K⁺ e Na⁺ presentes no solo e no lixiviado do aterro de Volta Redonda – R.J.** In: Anais XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Porto Seguro, BA.

GALDINO, C. A. B, et al. **Passivo ambiental das organizações: uma abordagem teórica sobre avaliação de custos e danos ambientais no setor de exploração de petróleo.** Anais do XXII ENEGEP – Curitiba, PR, 2002.

GOUVÊA, L. C. & NETO, J. T. P. **Avaliação da distribuição de metais pesados durante o processo de compostagem do lodo de esgoto estritamente doméstico.** In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997, Foz do Iguaçu. Anais do Congresso. , 1997. v.1. p. 346 -361.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). 2016. **Plano de Manejo da ARIE Floresta da Cicuta.** Janeiro, p.118.

LEITE, T. M. C. & CORTEZ, A. T. C. **Entraves espaciais: brownfields caracterizados por aterros de resíduos sólidos urbanos desativados no Município de São Paulo/SP.** Lucia Helena de Oliveira Gerardi e Pompeu Figueiredo de Carvalho (Org.). Geografia: ações e reflexões. 2006, p.12.

LIMA, L. M. Q. 2005. **Remediação de lixões municipais: aplicações da biotecnologia.** Ed 1º, p.280.

LINDBERG, D. C. 1992. *The Beginnings of Western Science*, Chicago, University of Chicago Press.

LOPES, G. A. **Caracterização do aterro controlado de Volta Redonda por meio de índices de qualidade e geotecnologia.** 2016. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental, Universidade Federal Fluminense (UFF), Volta Redonda - RJ, p. 236.

LOPES, M. L. & GOMES, C. C. 2000. **Problemas relativos à estabilidade de aterros de resíduos. Seminário sobre aspectos geotécnicos do projeto e construção de aterros de resíduos.** Lisboa: Sociedade Portuguesa de Geotecnia; LNEC, 2000, pp.: 1 -55.

LOPES, W. S.; LEITE, V. D.; SOUSA, J. T.; JÚNIOR, G. B. A.; SILVA, S. A.; SOUSA, M. A. Influência da umidade na digestão anaeróbia de resíduos sólidos. In: **XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, Cancún, México, 27 al 31 de octubre, 2002.

MACHADO, C. J. S.; VILANI, R. M.; FRANCO, M. G.; LEMOS, S. D. C. Legislação ambiental e degradação ambiental do solo pela atividade petrolífera no Brasil. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 28, p. 41-55, jul./dez. 2013.

MAGALHÃES, C. H.; RODRIGUES, M. I. Volta Redonda pós-privatização da CIA. Siderúrgica Nacional: a crise de uma cidade monoindustrial em busca de uma nova identidade econômica. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 11, n. 2, p. 359-378, mai-ago/2015, Taubaté, SP, Brasil.

MAGRINI, A. 2010. **Material de aula: Disciplina Gestão Ambiental.** Prof. D.Sc. Alessandra Magrini. Programa de Planejamento Energético. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia.

MANASSERO, M.; VAN IMPE, W. F.; BOUAZZA, A. 1996. *Waste disposal and containment.* In M. Kamon (ed.). **Environmental Geotechnics**, v. 3, pp.: 1425 – 1474, Rotterdam: Balkema.

MARANHO, L.; DZIEDZIC, M.; MUÑIZ, G.; KUNIYOSHI, Y.; GALVÃO, F. *Effects of the pollution by petroleum on the tracheids along the stem of Podocarpus lambertii Klotzsch Ex Endl., Podocarpaceae*. **Braz. J. Biol.**, v. 69, n. 2, p. 263-269, 2009.

MARTINS, E.; DE LUCA, M. M. M. Ecologia via contabilidade. **Revista Brasileira de Contabilidade**. Brasília: CFC, ano 23, nº 86, março 1994.

MASSUKADO, L. M. 2004. **Sistema de apoio à decisão: Avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP, p. 272.

MATOS, D. M. S. & PIVELLO, V. R. 2009. O impacto das plantas invasoras nos recursos naturais de ambientes terrestres - alguns casos brasileiros. **Revista Ciência e Cultura**, vol.61, n.1, São Paulo – SP.

MEREGE, R.V. **Estratégias para Medição de Biogás e Degradabilidade da Matéria Orgânica em Reatores Anaeróbicos**. 2011. Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP), São Carlos - SP, p. 51.

METZ, H.L. **Construção de um Biodigestor Caseiro para a Demonstração da Produção de Biogás e Biofertilizante em Escolas Situadas em Meios Urbanos**. 2013. Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras – MG, p. 40.

MIORIM, M. & MIRANDA, L. A. S. Tratamento combinado de lixiviado e esgoto sanitário por processo anaeróbio: desafios e oportunidades de pesquisa. *In: 7º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos*, 15 a 17 de junho, Porto Alegre, RS, 2016.

MOHAMMED, N.; ALLAYLA, R. I.; J. *Hazard. Mater.* 1997, 54, 155.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL (MPF). **Ação contra o município busca cumprimento de TAC**. Disponível em: http://noticias.pgr.mpf.br/noticias/noticias-do-site/copy_of_meio-ambiente-e-patrimonio-cultural/mpf-rj-quer-cessardanos-ambientais-do-lixao-de-volta-redonda. Acesso em: 22/08/2016.

_____. **MPF/RJ quer cessar danos ambientais do lixão de Volta Redonda**. Disponível em: <http://mpf.jusbrasil.com.br/noticias/2037945/mpf-rj-quer-cessardanos-ambientais-do-lixao-de-volta-redonda>. Acesso em: 22/11/2016.

_____. **PRR2 denuncia prefeito de Volta Redonda (RJ) por crimes ambientais**. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/regiao2/sala-de-imprensa/noticias-r2/prr2-denuncia-prefeito-de-volta-redonda-rj-por-crimes-ambientais-1>. Acesso em: 22/04/2018.

NARANJO, N. M.; MEIMA, J. A.; HAARSTRICK, A.; HEMPEL, D. C. 2004. *Modelling and experimental investigation of environmental influences on the*

acetate and methane formation in solid waste. Waste Management Journal, v.24, Issue 8. pp.:763 -773.

NASCIMENTO, J. N. **O tratamento mecânico e biológico na gestão de resíduos da cidade do Rio de Janeiro: uma análise para soluções de curto prazo**. 2014. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Rio de Janeiro, p. 179.

NASCIMENTO, L. C. A.; FILHO, N. B. A.; ZAKON, A. 2000. Cinzas da Incineração de lixo: matéria-prima para cerâmicas. **Ciência Hoje**, v. 27, n. 160, pp. 63-67.

NASCIMENTO, V. M. L.; RÊGO, P. A.; FREITAS, M. F.; PINHEIRO, J. B.; QUINTELA, L. V. M. N. Implantação das medidas de encerramento dos lixões do Estado do Acre - Cidades Saneadas. *In: 9º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos*, Porto Alegre – RS, 13 a 15 de julho de 2018.

NEGRÃO, M.P. 2013. Fiscalidade e o financiamento dos serviços públicos municipais: questões gerais e o financiamento da gestão de resíduos no Município de Volta Redonda (RJ). **Revista GEONORTE**, Edição Especial 3, v.7, n.1, p.1551-1567.

NETO, J. T. **Gerenciamento do lixo urbano: Aspectos técnicos e operacionais**. 1. Ed. Minas Gerais: Miro Saraiva, 2007. p. 13 - 51.

OLIVEIRA, L. B. 2004. **Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil**. Tese de Doutorado em Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, p. 125.

PAIVA, R.F.P.S. Morbidade hospitalar por doenças associadas à poluição do ar na cidade de Volta Redonda, Rio de Janeiro: casos e custo econômico. **Caderno Saúde Coletiva**, v.22, n.2, 2014.

PEREIRA, A. S.; OLIVEIRA, L.B.; REIS, M.M. **Emissões de CO₂ evitadas e outros benefícios econômicos e ambientais trazidos pela conservação de energia decorrente da reciclagem de resíduos sólidos no Brasil**. In: Anais do III Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica; 1999; Recife [CD-ROM].

PEREIRA, V.; FERREIRA-JR, J. M.; MARTINEZ, G. A. S.; TOMACHUK, C. R. Avaliação de sistema de colunas para remediação de biogás a partir de biomassa não digerida. **HOLOS**, n.31, vol. 8, p.242-251, 2015.

PEREIRA NETTO, A. D.; SISINNO, C. L. S.; MOREIRA, J. C. & ARBILLA, G., 2002. *Polycyclic aromatic hydrocarbons in leachate from a municipal solid waste dump of Niterói city, RJ, Brazil*. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, 68:148-154.

PINTO, S. T.; PEIXOTO, M. N.; MELLO, E. V.; MOURA, J. R. **Análise temporal de feições erosivas e escorregamentos no Município de Volta Redonda – RJ.** In: Anais do Simpósio Nacional de Geomorfologia, Goiânia – GO, n.6, 6 a 10 de setembro de 2006.

PIRES, I. C. G.; FERRÃO, G. E. Compostagem no Brasil sob a perspectiva da legislação ambiental. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas.** p.01-18, v.09, n.01, 2017.

PORTAL VR. **Hidrografia.** Disponível em: <http://www.portalvr.com/cidade/hidrografia.php>. Acesso em: 22/11/2016.

POSSAMI, F. P.; VIANA, E.; SCHULZ, H. E.; COSTA, M. M.; CASAGRANDE, E. Lixões inativos na região carbonífera de Santa Catarina: uma análise dos riscos à saúde pública e ao meio ambiente. **Revista Ciência Saúde Coleta**, vol. 12, n.1, jan./mar. 2007.

PUC. Normas para Apresentação de Teses e Dissertações. 2001.

RIBEIRO, D. S. Determinação das dimensões de um biodigestor em função da proporção gás/fase líquida. **HOLOS**, Ano 27, v. 1, p. 49, 2011.

RIBER, C.; RODUSHKIN, I.; SPLIID, H., et al. 2007. *Method for fractional solid-waste sampling and chemical analysis.* **International Journal of Environmental and Analytical Chemistry**, v. 87, n. 5 (Abril), pp. 321-335.

RISCADO, A.; BADEJO, L. 2010. **Teoria e Prática em Construções Sustentáveis no Brasil.** SEA - Secretaria de Estado do Ambiente do Rio de Janeiro. Projeto CCPS. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ROCCARO, P.; VAGLIASINDI, F. G. A. *Sustainable Remediation of a Closed Solid Waste Landfill Site: Development and Application of a Holistic Approach.* **AIDIC - The Italian Association of Chemical Engineering**, vol. 35, p.6, 2013.

SALVADOR, F. L. R. **Análise das etapas de um plano de recuperação de área degradada (PRAD) aplicada para um antigo lixão no Município de Garopaba.** 2012. Monografia apresentada ao curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis – SC, p. 82.

SÁNCHEZ, L. E. **Desengenharia: o Passivo Ambiental na Desativação de Empreendimentos Industriais.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

_____. Revitalização de Áreas Contaminadas. In: RODRIGUES, D.; ALVES, F. E.; NUMA, S. H. **Remediação e Revitalização de Áreas Contaminadas.** São Paulo: Signus Editora, 2004.

SANTOS, A. T. L.; HENRIQUE, N. S.; SHHLINDWEIN, J. A.; FERREIRA, E.; STACHIW, R. Aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos

para produção de composto orgânico. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 3, n. 1, p. 15-28, 2014.

SANTOS, G. G. D. **Análise e Perspectivas de Alternativas de Destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos: o Caso da Incineração e da Disposição em Aterro**. 2011. Dissertação de Mestrado em Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, p. 208.

SAROLDI, M. J. L. A. **Termo de Ajustamento de Conduta na Gestão de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: Editora Lumen Juris, 2005.

SAWAZAKI, H. E.; TEIXEIRA, J. P. F.; MORAES, R. M. O pH e a temperatura na produção de biogás a partir de casca de arroz. **Bragantia**, Campinas, 44(2): 715-721, 1985.

SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE (SEA). **Instalação progressiva de aterros sanitários ou CTRs permitirá que os municípios fluminenses fechem seus lixões**. Disponível em: <http://www.rj.gov.br/web/sea/exibeconteudo?article-id=926885>. Acesso em: 12/05/2016.

SEGATO, L. M. & SILVA, C. L. **Caracterização do lixiviado do aterro sanitário de Bauru**. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000, Porto Alegre – RS. Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 2000.

SCHIANETZ, B. **Passivos ambientais: levantamento histórico: avaliação da periculosidade: ações de recuperação**. Curitiba: SENAI-PR, 1999. 200p.

SCHULER, A. R. **Análise do Comportamento de um Aterro Municipal de Resíduos Sólidos Urbanos Instrumentado**. 2010. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, p.152.

SHIKLOMANOV, I. A. 1998. **International Hydrological Programme – IHP – IV/UNESCO**. In: Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação. Escrituras ed., REBOUÇAS, A.C. et al., 1999, São Paulo, p. 717.

SHUQAIR, S. M. S. 2002. **Estudo da Contaminação do Solo e Água Subterrânea por elementos tóxicos originados dos rejeitos das minas de carvão de figueira no Estado do Paraná**. Tese de Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais, IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares), São Paulo, p.117.

SILVA, J. S.; SANTOS, S. S.; GOMES, F. G. G. A biotecnologia como estratégias de reversão de áreas contaminadas por resíduos sólidos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, v. 18, n. 4, dez. 2014, p.1361-1370.

SILVA, R. F. G. 2007. **Gestão de áreas contaminadas e conflitos ambientais: o caso da Cidade dos Meninos**. Dissertação de Mestrado em Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, p.110.

SILVEIRA, A. M. M. 2004. **Estudo do Peso Específico de Resíduos Sólidos Urbanos**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, p. 112.

SIMÕES, G. F.; CAMPOS, T. M. P.; GALVÃO, T. C. B., et al. 1996. Considerações sobre o fenômeno de adensamento em aterros sanitários. *In: Anais do II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental*, p. 131-135, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

SIMONETTO, E.; LÖBLER, M. L. Simulação baseada em system dynamics para avaliação de cenários sobre geração e disposição de resíduos sólidos urbanos. **Produção**, Santa Maria, vol.-, n.-, p. 0-0, ahead of printEpub, jul. 2013.

SISINNO, C. L. S. & MOREIRA, J. C., 1996. Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, 12: 515-523.

SISSINO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M. 2000. **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: Fiocruz, p. 132.

SOARES, E. L. S. F. 2011. **Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, p. 150.

SOR, J. L.; CLEVELÁRIO JÚNIOR, J.; GUIMARÃES, L. T.; MORENO, R. A. M. **Relatório piloto com aplicação da metodologia IPPS ao estado do Rio de Janeiro: uma estimativa do potencial de poluição industrial do ar**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2008.

SOUZA, A. E. 2013. **Elaboração de um Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) para o Antigo Lixão do Itacorubi, Florianópolis (SC)**. Monografia apresentada ao curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis – SC, p. 128.

TEIXEIRA, G. P.; LACERDA, G. B. M. ; FRANÇA, R. A. ; FERREIRA, J. A. ; RITTER, E. **Considerações sobre a remediação e monitoramento geotécnico e ambiental do Lixão de Salvaterra Juiz de Fora / MG**. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte. Saneamento Ambiental: Compromisso ou Discurso?. Belo Horizonte-MG: ABES, 2007. v. I. p. 208-209.

TEIXEIRA, N. A. R. **Recuperação de Resíduos de Embalagem através do Tratamento Mecânico e Biológico em Portugal Continental**. 2009. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, ramo Gestão e Sistemas Ambientais, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, p. 146.

TOLEDO, Jr. A. P. **Informe preliminar sobre os estudos para obtenção de um índice para avaliação simplificada do estado trófico de reservatórios de regiões quentes tropicais**. Relatório técnico. CETESB, São Paulo. Outubro de 1990. p.11.

WALL, D. K. & ZEISS, C. 1995. "Municipal Landfill Biodegradation and Settlement". **Journal of Environmental Engineering**, v. 121, n. 3 (Mar), pp.214-224.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Population health and waste management: scientific data and policy options**. Report of a WHO workshop Rome, Italy, 29-30 March 2007. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2007.

VALADÃO, I. C. R. P.; ARAÚJO, A. S. F.; FERRAZ, A. S.; DIAS, A. C.; CASTRO, J. A. **Elaboração do Perfil Difusivo de Íons Inorgânicos Cl, K e Na presentes no solo e no lixiviado do aterro de Volta Redonda**. In: Anais do XVI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG, 2012, Porto de Galinhas – PE.

VASQUES, A. R. Considerações sobre estudos de caso de *brownfields*: Exemplos no Brasil e no Mundo. **Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales**, v. 11, nº 648, 2006.

VEREDA. (2013). Adequação do Projeto de Remediação do Vazadouro de Resíduos de Volta Redonda – RJ. Vereda Estudos e Execução de Projetos LTDA., Rio de Janeiro – RJ, p.682.

VOLTA REDONDA (MUNICÍPIO). **Lei Municipal Nº 3.326, de 04 de fevereiro de 1997**. Dispõe sobre a Política Ambiental do Município de Volta Redonda. Volta Redonda, RJ.

VOLTA REDONDA (MUNICÍPIO). **Lei Municipal Nº 4.438, de 16 de julho de 2008**. Cria o Código Municipal de Meio Ambiente de Volta Redonda. Volta Redonda, RJ.

ZILLER, S.R. 2000. **A estepe gramíneo-lenhosa no segundo planalto do Paraná: diagnóstico ambiental com enfoque à contaminação biológica**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, p. 242.