

Naiara Francisca Ramos

**PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA APOIO À DECISÃO  
PARA A RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR  
DISPOSIÇÃO IRREGULAR DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
URBANOS**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Doutora em Engenharia Ambiental.  
Orientador: Prof. Dr. Armando Borges de Castilhos Junior

Florianópolis, SC  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do  
Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Ramos, Naiara Francisca

Proposição de metodologia para apoio à decisão para a  
recuperação de área degradada por disposição irregular de  
resíduos sólidos urbanos / Naiara Francisca Ramos ;  
orientador, Armando Borges de Castilhos Jr. -  
Florianópolis, SC, 2016.

241 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental.

Inclui referências

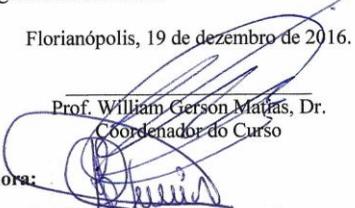
1. Engenharia Ambiental. 2. Resíduos sólidos. 3. Lixões.  
4. Recuperação ambiental. I. Castilhos Jr., Armando Borges  
de . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa  
de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. III. Título.

Naiara Francisca Ramos

**PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA PARA APOIO À DECISÃO PARA A  
RECUPERAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR DISPOSIÇÃO  
IRREGULAR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de “Doutora em Engenharia Ambiental”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

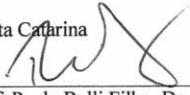
Florianópolis, 19 de dezembro de 2016.

  
Prof. William Gerson Matias, Dr.  
Coordenador do Curso

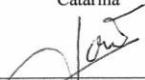
**Banca Examinadora:**

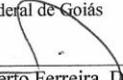
  
Prof. Armando Borges de Castilhos Junior, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof. Maria Eliza Nagel Hassemer,  
Dra.  
Universidade Federal de Santa  
Catarina

  
Prof. Paulo Belli Filho, Dr.  
Universidade Federal de Santa  
Catarina

  
Prof. Marlon André Capanema,  
Dr.  
Instituto Federal de Goiás

  
Prof. Rémy Gourdon, Dr.  
Institut National des Sciences  
Appliquées – INSA, Lyon

  
Prof. João Alberto Ferreira, Dr.  
Universidade Estadual do Rio de  
Janeiro

  
Prof. Elivete Carmen Clemente  
Prim, Dr.  
Instituto Federal de Santa Catarina



Dedico esta tese às duas pessoas mais importantes em minha vida. Mesmo nos momentos de dificuldades que nos foram impostos, elas sempre sonharam com o melhor para mim, dedicando seu amor, paciência, compreensão, apoio e, desta forma, possibilitando me transformar na pessoa que sou e chegar até aqui. Meu eterno amor e gratidão aos meus PAIS!



## AGRADECIMENTOS

Agradecer, às vezes implica no risco de esquecermos-nos de expressar nosso reconhecimento pelo importante, e sempre pertinente, apoio de todos aqueles que estiverem, de formas diversas, ao nosso lado, ao longo de uma caminhada, principalmente esta que se estendeu por mais de quatro anos e teve pessoas e instituições dos dois lados do Atlântico, de línguas e culturas tão diferentes.

Mas tentando, de alguma forma expressar meu agradecimento, gostaria inicialmente de dizer “Muito obrigada” ao meu orientador Armando, que aceitou me orientar durante os anos de mestrado e doutorado, confiou na minha capacidade cognitiva, mesmo quando nem eu acreditava, sempre tentando estimular meu lado “engenheira” e tendo paciência com o “espírito inquieto” que habita meu corpo.

Gostaria de agradecer à UFSC e ao PPGEA por terem fornecido todo o suporte necessário à minha caminhada profissional nestes anos de pós-graduação e aos professores que ministraram as disciplinas que participei, que colaboraram com as bancas de qualificação e defesa, ou que ainda, se mostraram disponíveis para uma simples conversa ou apoio pedagógico, não apenas nos anos de doutorado, mas também, de mestrado. Agradeço, em especial, o professor Sebastião por ter aceitado o desafio de incluir a ACV e disponibilizar ajuda necessária para isto.

Aos membros externos da UFSC, que como especialistas de alguma temática abordada em minha tese aceitaram ao chamado de contribuírem brilhantemente com a melhoria e aperfeiçoamento de meu trabalho.

Aos membros da banca julgadora dessa tese, pelo árduo esforço de ler atentamente o resultado de um longo e complexo trabalho.

Meu agradecimento pelo apoio financeiro da CAPES, sem o qual não seria, de forma alguma, possível minha permanência em Florianópolis e em Lyon durante o período de Doutorado Sanduíche no INSA.

Eu agradeço, ainda, a toda equipe do INSA de Lyon, que tão cordialmente me recebeu em seu seio e tanto se esforçou para o meu bem-estar. Agradeço principalmente à Rémy Gourdon que tão gentil e pacientemente me ajudou e não poupou esforços para fazer de minha estada em Lyon um momento de grande crescimento pessoal e profissional. Aos meus amigos de diferentes nacionalidades que contribuíram para ampliar as fronteiras de minha mente e coração, além de muitas vezes, servirem como professores de francês: Xun, Rúben, Maxime, Bruno Cedat, Manon, Marta, Léa, Lucie, Salma, Yoann, Boram, Lorena, Luis, Sara. Agradeço também Patrick Rousseaux da Universidade de Poitiers que bastante contribuiu com o desenvolvimento da terceira etapa da pesquisa.

Agradeço, ainda, à equipe do LARESO, pela amizade, compreensão, companheirismo e ajuda “técnica” e emocional: Marlon que foi um verdadeiro guerreiro, tendo uma paciência infinita com as minhas incessantes dúvidas, até mesmo quando eu estava no velho mundo; Barrios que alegrou meus dias com

suas piadas e histórias engraçadas, além de seu inesquecível “portunhol” e dúvidas sobre a gramática brasileira; Isabela, Carina, Raphael, Mayara, Sara, Luiz Gabriel, Eduardo, Juliano e Vanderson por tornarem mais alegre, não apenas o LARESO, mas também nosso grupo do WhatsApp. Aos ex-LARESO, mas que continuam sendo LARESO: Elivete, Cláudia, Heloísa, Chico, Iracema, Nathalia.

Um agradecimento especial ao Edivan que topou o desafio de conduzir meu caminho no nebuloso mundo da ACV. Sem sua grande colaboração, esta etapa não seria possível.

Aos demais amigos pela compreensão nos momentos de dificuldades e ausência neste país e no outro também: Dani, mais do que amiga, irmã (sim, porque a gente briga com a irmã, mas daqui a pouco está tudo bem!), Gisele, Diana, Fernanda, Carol, Camila, Rayssa, Deizi, Mathieu, Fran Fedrizzi, Ju Muller, Alessandra (a tia Ale que conseguiu dividir espaço comigo e tanto carinho, amor e paciência teve com a Pantera). Ao Ilzo e Elo por terem me aceitado como membro da casa sem nem me conhecerem. Ao Bruno, meu amor, pela sua paciência, compreensão e todo suporte psicológico e encorajamento, além de muitas aulas de francês!

E por fim, à minha família, sem a qual nunca teria sido nem realizado nada em minha vida. Aos meus pais por sempre terem fortificado o melhor de mim, com um apoio incondicional e que são o meu suporte. Aos meus irmãos Giovanni, Adriano (que em algum lugar sei que está muito feliz e orgulhoso de sua irmãzinha) e Sonara que pelas diferentes formas diretas e indiretas colaboraram para o alcance de meus objetivos. Aos meus sobrinhos, cunhadas e cunhado que aceitaram minha ausência e cuidaram de meus pais quando não pude estar por perto.

## REMERCIEMENTS

Remercier, c'est prendre le risque d'oublier d'exprimer notre reconnaissance pour le soutien, important et toujours pertinent, de ceux qui sont, à bien des égards, à notre côté le long d'un chemin, en particulier qui a duré plus de quatre ans et avec des gens et des institutions sur les deux côtés de l'Atlantique, de cultures et de langues tellement différentes.

Mais en essayant d'exprimer en quelque mots mes remerciements, je voudrais d'abord dire «Merci» à mon directeur de thèse Armando, qui a accepté de me guider pendant les années de master et de doctorat, confiant de mes capacités cognitives, même lorsque je n'y croyais plus, en essayant toujours d'encourager mon côté «ingénieur» et ayant la patience avec «l'esprit inquiet» qui habite mon corps.

Je voudrais remercier l'UFSC et PPGA de m'avoir fourni tout le soutien nécessaire à mon parcours professionnel dans ces années d'études supérieures et les enseignants qui m'ont donnée mes cours, qui ont collaboré avec les jurys de qualification et de soutenance, ou même à ceux qui se sont montrés disponibles pour une conversation ou un simple soutien d'enseignement, non seulement dans les années de doctorat, mais aussi pendant mon master. Je remercie en particulier le professeur Sebastião pour accepter le défi d'inclure la partie de l'ACV et de fournir l'aide nécessaire pour ça.

Les membres externes à l'UFSC, qui, en tant des experts dans tous les sujets abordés dans ma thèse, ont accepté de contribuer avec brio à améliorer et à perfectionner mes travaux.

Pour les membres du jury de cette thèse, l'effort difficile à lire attentivement le résultat d'un travail long et complexe.

Ma gratitude pour le soutien financier de la CAPES, sans laquelle rien n'aurait été possible, de mon séjour à Florianopolis et à celui à Lyon pendant le doctorat sandwich dans l'INSA.

Je remercie également toute l'équipe de l'INSA de Lyon, qui m'a accueilli si chaleureusement et a travaillé si dur pour mon bien-être. Je remercie en particulier Rémy Gourdon qui gentiment et patiemment m'a aidé et n'a pas économisé ses efforts pour permettre à mon séjour à Lyon d'être un moment de grande croissance personnelle et professionnelle. A mes amis de différentes nationalités qui ont contribué à repousser les limites de mon esprit et de mon cœur, et ont servi souvent de professeurs de français: Xun (ma petite chinoise !!), Reuben, Maxime, Bruno CEDAT, Manon, Marta, Léa, Lucie, Salma, Yoann, Boram, Lorena, Luis, Sara. Je remercie également Patrick Rousseaux de l'Université de Poitiers, qui a grandement contribué au développement de la troisième étape de la recherche.

Je remercie également l'équipe de LARESO, l'amitié, la compréhension, la camaraderie et l'aide «technique» et émotionnelle : Marlon qui était un vrai guerrier, avec une patience infinie avec mes questions incessantes, même quand j'étais dans le vieux monde; Barrios éclaira mes jours avec ses blagues et histoires drôles, son "Portunhol" inoubliable et des doutes

quant à la grammaire brésilienne; Isabella, Carina, Raphael, Mayara, Sara, Luiz Gabriel, Eduardo, Juliano e Vanderson pour faire plus gai, non seulement LARESO mais aussi notre groupe WhatsApp. Aux anciens de LARESO mais toujours LARESO: Elivete, Claudia, Heloisa, Chico, Iracema, Nathalia.

Des remerciements particuliers à Edivan qui a accepté le défi de conduire mon chemin dans le monde trouble de l'ACV. Sans sa grande collaboration, cette étape ne serait pas possible.

Les autres amis pour leur compréhension en ces temps difficiles et l'absence dans ce pays et d'autres encore: Dani, plus qu'amie, une sœur (oui, parce que nous nous battons comme des sœurs, mais après tout s'arrange), Gisele, Diana, Fernanda, Carol, Camila, Rayssa, Deizi, Mathieu, Fran Fedrizzi, Ju Muller, Alessandra (la tante Ale qui a réussi à partager l'espace avec moi et tant d'affection, d'amour et de patience avec Pantera). À Ilzo Elo pour m'accepter en tant que membre de la maison sans même me connaître. Bruno, mon amour, qui avec ta patience et ta compréhension m'a fourni un soutien psychologique et d'encouragement, ainsi que de nombreux cours de français !

Et enfin, à ma famille, sans laquelle je ne serais jamais rien fait dans ma vie. Mes parents qui ont toujours fortifié le meilleur de moi de façon inconditionnel et qui sont mon soutien. A mes frères Giovanni, Adriano (quelque part je sais que tu es très heureux et fier de ta petite sœur) et Sonara qui, de manières directes et indirectes, ont contribué à la réalisation de mes objectifs. Pour mes neveux, belles-soeurs et beau-frère qui ont accepté mon absence et ont pris soin de mes parents quand je ne pouvais pas être là.

"É necessário que o mundo, depois de ti, seja algo melhor, porque  
tu viveste nele".  
(Stanley)



## RESUMO

A geração de resíduos sólidos tem aumentado no Brasil, e juntamente com ela, aumentaram-se os problemas relativos a esta questão. No Brasil e demais países em desenvolvimento uma das grandes questões a se resolver ainda é a disposição inadequada dos resíduos sólidos, prática responsável por inúmeros problemas ambientais e de saúde pública. Todavia, muitos esforços estão sendo conduzidos a fim de solucionar esta questão promovendo o encerramento e recuperação de lixões. Neste sentido, este trabalho trata da proposição e desenvolvimento de uma metodologia simplificada, acessível e capaz de ser aplicada em quaisquer condições brasileiras para apoiar a decisão quanto às ações de recuperação de áreas degradadas por disposição irregular de resíduos sólidos urbanos. Os objetivos específicos propostos para este trabalho são: desenvolver um questionário de campo para a etapa de diagnóstico de lixões; construir ferramenta para a determinação das ações de recuperação requeridas; propor método para a comparação técnico-econômica de tecnologias. Para o alcance dos objetivos, fez-se necessária ampla pesquisa bibliográfica para embasar o desenvolvimento da ferramenta de avaliação ambiental de lixões e dos fluxogramas para a determinação das ações de recuperação ambiental requeridas em cada área; utilização de metodologias para apoio à decisão na construção das planilhas para a escolha das tecnologias a serem aplicadas e a utilização da metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV) para a avaliação ambiental das tecnologias. Como resultados obteve-se um conjunto de ferramentas que se mostraram satisfatórias para o apoio à decisão no processo de recuperação ambiental de um lixão, se aplicadas juntas e por um usuário com conhecimento técnico específico. As ferramentas desenvolvidas foram: um questionário de campo para avaliação ambiental de lixões; fluxogramas para a determinação do cenário geral de recuperação e planilhas para a avaliação técnica e econômica das tecnologias de recuperação. As duas primeiras ferramentas foram validadas utilizando dados reais de 6 lixões brasileiros, enquanto que a terceira foi submetida a uma banca de especialistas para pesquisa de opinião. O questionário foi informatizado, originando um programa capaz de estimar o nível de intervenção ambiental provocado pela presença de um lixão em uma determinada área e posterior classificação de lixões de acordo com a prioridade para a recuperação.

**Palavras-chave:** recuperação de áreas degradadas; resíduos sólidos; lixões

## ABSTRACT

The generation of solid waste has increased in Brazil, due to it, the problems related to this issue have increased. In Brazil and other developing countries, one of the major issues to be solved is the inadequate disposal of solid waste, a practice that is responsible for numerous environmental and public health problems. However, many efforts are being made to address this issue by promoting the closure and recovery of dumps. In this sense, this paper deals with the proposal and development of a simplified methodology, accessible and capable of being applied in any Brazilian conditions to help the decision regarding the rehabilitation actions of areas degraded by irregular disposal of urban solid waste. The specific objectives proposed for this work are: to develop a field questionnaire for the stage of diagnosis of dumps; build a tool for determining the required recovery actions; propose a method for the technical-economic comparison of technologies. In order to reach the objectives, a large bibliographical research was necessary to support the development of the environmental assessment tool for dumps and flowcharts to determine the environmental rehabilitation actions required in each area; use of decision support methodologies in the construction of spreadsheets for the choice of technologies to be applied and the use of the Life Cycle Analysis (LCA) methodology for the environmental evaluation of technologies. The results obtained were a set of tools that proved to be satisfactory for decision support in the environmental rehabilitation process of a dump, if applied together and by a user with specific technical knowledge. The tools developed were: a field questionnaire for environmental assessment of dumps; flowcharts for the determination of the general rehabilitations scenario and worksheets for the technical and economic evaluation of recovery technologies. The first two tools were validated using real data from 6 Brazilian dumps, while the third one was submitted to an expert database for opinion polls. The questionnaire was computerized, giving rise to a program capable of estimating the level of environmental intervention caused by the presence of a dump in a given area and subsequent classification of dumps according to the priority for recovery.

**Keywords:** Rehabilitation of degraded areas; Solid waste; dumps.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Destinação final de resíduos sólidos urbanos (t/dia) em 2014 e 2015 .....	40
Figura 2 - Notas e respectivos enquadramentos da avaliação de aterros.....	43
Figura 3 - Principais impactos ambientais resultantes dos lixões. ....	48
Figura 4 - Processos esquemáticos da degradação da matéria orgânica.....	51
Figura 5 - Processo de tomada de decisão .....	68
Figura 6 - Etapas do processo de apoio à decisão .....	70
Figura 7- Etapas de uma Avaliação de Ciclo de Vida.....	76
Figura 8 - Etapas da metodologia .....	86
Figura 9 - Relação entre as diversas ferramentas da metodologia .....	86
Figura 10 - Organização geral do questionário .....	89
Figura 11 - Exemplo de uma questão e seus parâmetros na categoria “Meio social” .....	90
Figura 12 - Etapa 2: Definição do cenário geral e das ações de recuperação.....	94
Figura 13 - Cenário de queima simples .....	98
Figura 14 - Cenário de queima por <i>flare</i> .....	99
Figura 15– Resultado do contato com os 66 especialistas .....	111
Figura 16 – Fluxograma 1: Definição da diretriz geral de recuperação .....	136
Figura 17 - Fluxograma 2: Especificação das ações de intervenção .....	137
Figura 18 - Fluxograma 1 – Lixão 1 .....	155
Figura 19 - Fluxograma 2 – Lixão 1 .....	156
Figura 20 - Fluxograma 1 - Lixão 2.....	159
Figura 21 - Fluxograma 2 – Lixão 2 .....	160
Figura 22 - Fluxograma 1 – Lixão 3 .....	163
Figura 23 - Fluxograma 2 – Lixão 3 .....	164
Figura 24 - Fluxograma 1 – Lixão 4 .....	166
Figura 25 - Fluxograma 2 – Lixão 4 .....	168
Figura 26 - Fluxograma 1 – Lixão 5 .....	171
Figura 27 - Fluxograma 2 – Lixão 5 .....	173
Figura 28 - Fluxograma 1 – Lixão 6 .....	175
Figura 29 - Fluxograma 2 – Lixão 6 .....	176



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens dos aterros sanitários.....	33
Quadro 2 - Perturbações e impactos causados pela presença dos lixões.....	46
Quadro 3 - Atividades para a adequação da área.....	66
Quadro 4 - Pontuação considerada aos parâmetros.....	90
Quadro 5 - Lista de tecnologias propostas para as ações de recuperação.....	95
Quadro 7 – Avaliação das planilhas para avaliação técnica e econômica das tecnologias.....	103
Quadro 7 – Dados gerais do processo de validação da metodologia.....	150
Quadro 8 - Avaliação da etapa 1 - Lixão 1.....	153
Quadro 9 - Avaliação da etapa 1 – Lixão 2.....	157
Quadro 10 - Avaliação da etapa 1 – Lixão 3.....	161
Quadro 11 – Avaliação da etapa 1 – Lixão 4.....	165
Quadro 12 - Avaliação da etapa 1 – Lixão 5.....	170
Quadro 13 - Avaliação da etapa 1 – Lixão 6.....	174
Quadro 14 - Especialistas que avaliaram a etapa de avaliação técnica e econômica das tecnologias.....	177
Quadro 15 - Respostas e comentários referentes à questão 1 da avaliação da etapa 3.....	179
Quadro 16 - Respostas e comentários referentes à questão 2 da avaliação da etapa 3.....	180
Quadro 17 - Respostas e comentários referentes à questão 3 da avaliação da etapa 3.....	181
Quadro 18 - Respostas e comentários referentes à questão 4 da avaliação da etapa 3.....	182
Quadro 19 - Respostas e comentários referentes à questão 5 da avaliação da etapa 3.....	183



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ACV – Análise do Ciclo de Vida  
ADEME – *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie*  
APP – Área de Preservação Permanente  
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
CH<sub>4</sub> – Metano  
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente  
COV – Composto Orgânico Volátil  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono (Gás Carbônico)  
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
FATMA – Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina  
FC – Fator de Caracterização  
FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente  
FIEMG – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais  
FS – *Feasibility study*  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ICV – Inventário de Ciclo de Vida  
MCDA – Metodologia Multicriterial de Apoio à Decisão  
MPSC – Ministério Público de Santa Catarina  
NBR – Norma Brasileira  
NO<sub>x</sub> – Óxidos de Nitrogênio  
NR – Norma Reguladora  
pH – Potencial Hidrogeniônico  
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos  
PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico  
RI – *Remedial Investigation*  
RL – Reserva Legal  
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos  
SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação  
UC – Unidade de Conservação  
USEPA – U.S. *Environmental Protection Agency*



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA .....	23
1.2 JUSTIFICATIVAS.....	27
1.3 OBJETIVOS .....	30
<b>1.3.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>30</b>
<b>1.3.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>30</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>31</b>
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS .....	31
<b>2.1.1 Definição e classificação</b> .....	<b>31</b>
<b>2.1.2 Disposição final</b> .....	<b>32</b>
<b>2.1.3 Aterro Sanitário</b> .....	<b>33</b>
<b>2.1.4 Lixões</b> .....	<b>37</b>
<b>2.1.5 Panorama brasileiro e catarinense sobre lixões</b> .....	<b>39</b>
<b>2.1.6 Impactos sociais e econômicos dos lixões</b> .....	<b>44</b>
<b>2.1.7 Impactos ambientais</b> .....	<b>45</b>
<b>2.1.8 A degradação bioquímica da matéria orgânica</b> .....	<b>50</b>
2.1.8.1 Lixiviados.....	52
2.1.8.2 Biogás.....	53
2.2 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS .....	55
2.3 RECUPERAÇÃO, REMEDIAÇÃO E REABILITAÇÃO AMBIENTAL .....	58
<b>2.3.1 Fechamento e recuperação de lixões</b> .....	<b>58</b>
2.3.1.1 Critérios a serem observados na recuperação de lixões .....	61
2.3.1.2 Técnicas de desativação de lixões .....	62
2.4 APOIO À DECISÃO .....	67
<b>2.4.1 Metodologias de apoio à decisão voltadas à recuperação de área degradadas</b> .....	<b>73</b>
2.5 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA .....	75
<b>2.5.1 Definição dos objetivos e contexto do estudo</b> .....	<b>76</b>
<b>2.5.2 Inventário do ciclo de vida</b> .....	<b>77</b>
<b>2.5.3 Avaliação dos impactos</b> .....	<b>78</b>
<b>2.5.4 Interpretação da ACV</b> .....	<b>80</b>
<b>2.5.5 Métodos de caracterização de impactos</b> .....	<b>81</b>
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>85</b>
3.1 ETAPA 1 – AVALIAÇÃO DOS LIXÕES .....	87
<b>3.1.1 Desenvolvimento e avaliação do questionário</b> .....	<b>87</b>
<b>3.1.2 Ponderação das categorias do questionário</b> .....	<b>91</b>

3.2 ETAPA 2 – DEFINIÇÃO DO CENÁRIO GERAL DE RECUPERAÇÃO .....	93
3.3 ETAPA 3 – AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DAS TECNOLOGIAS.....	94
<b>3.3.1 Definição de ações ou famílias de ações.....</b>	<b>95</b>
<b>3.3.2 Definição da função mínima e estabelecimento de uma lista de possíveis tecnologias.....</b>	<b>95</b>
<b>3.3.3 Definição das condições operatórias.....</b>	<b>96</b>
<b>3.3.4 Determinação da viabilidade técnica e econômica das tecnologias.....</b>	<b>96</b>
<b>3.3.5 Composição do(s) cenário(s) detalhado (s) .....</b>	<b>97</b>
3.4 ETAPA 4 - AVALIAÇÃO AMBIENTAL DAS TECNOLOGIAS PARA A RECUPERAÇÃO.....	97
<b>3.4.1 Definição de objetivo e escopo da ACV.....</b>	<b>97</b>
<b>3.4.2 Dados.....</b>	<b>99</b>
3.5 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA.....	101
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>105</b>
4.1 ORIENTAÇÕES AOS USUÁRIOS .....	105
<b>4.1.1 Qualificações mínimas do usuário da metodologia .....</b>	<b>106</b>
<b>4.1.2 Listagem de leis e normas necessárias para o preenchimento do questionário.....</b>	<b>106</b>
<b>4.1.3 Informações e análises físico-químicas requeridas previamente à visita .....</b>	<b>107</b>
<b>4.1.4 Aplicação da metodologia.....</b>	<b>108</b>
4.2 QUESTIONÁRIO DE CAMPO .....	109
<b>4.2.1 Das bancas de especialistas.....</b>	<b>110</b>
4.2.1.1 Banca de especialistas para a avaliação do questionário.....	110
4.2.1.2 Banca de especialista para a ponderação das categorias .....	112
<b>4.2.2 Composição do questionário .....</b>	<b>116</b>
4.2.2.1 Análise inicial da área.....	116
4.2.2.2 Caracterização do lixão.....	117
4.2.2.3 Solo e águas subterrâneas .....	120
4.2.2.4 Águas superficiais .....	125
4.2.2.5 Meio social.....	127
4.2.2.6 Meio natural e paisagens.....	131
4.2.2.7 Meio atmosférico .....	133
4.3 CENÁRIO GERAL DE RECUPERAÇÃO .....	135
4.4 AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DAS TECNOLOGIAS .....	138
<b>4.4.1 Ações ou famílias de ações.....</b>	<b>138</b>
<b>4.4.2 Função mínima e possíveis tecnologias .....</b>	<b>138</b>

4.4.2.1 Para a impermeabilização de superfície e drenagem das águas pluviais .....	139
4.4.2.2 Para o desvio das águas subterrâneas .....	139
4.4.2.3 Para o tratamento dos lixiviados .....	139
4.4.2.4 Para o tratamento das águas subterrâneas .....	140
4.4.2.5 Para o tratamento de solos.....	141
4.4.2.6 Para o tratamento dos resíduos.....	142
4.4.2.7 Para a coleta e tratamento das emissões gasosas.....	142
<b>4.4.3 Condições operatórias.....</b>	<b>143</b>
<b>4.4.4 Viabilidade técnica e econômica das tecnologias.....</b>	<b>143</b>
<b>4.4.5 Avaliação ambiental das tecnologias .....</b>	<b>148</b>
4.5 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA .....	149
<b>4.5.1 Etapas 1 e 2 -Programa para a avaliação ambiental de lixões e fluxogramas para a geração dos cenários gerais de recuperação .</b>	<b>149</b>
<b>4.5.2 Lixão 1.....</b>	<b>152</b>
<b>4.5.3 Lixão 2.....</b>	<b>157</b>
<b>4.5.4 Lixão 3.....</b>	<b>161</b>
<b>4.5.5 Lixão 4.....</b>	<b>165</b>
<b>4.5.6 Lixão 5.....</b>	<b>169</b>
<b>4.5.7 Lixão 6.....</b>	<b>174</b>
<b>4.5.8 Etapa 3 – Avaliação técnica e econômica das tecnologias.....</b>	<b>177</b>
4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	184
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>187</b>
<b>6. RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>189</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>192</b>



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

A proteção ambiental é um elemento indispensável à manutenção da vida no planeta. No entanto, a destruição ambiental provocada pelo acelerado desenvolvimento industrial e indiscriminada utilização de recursos naturais tem colocado em risco as diferentes formas de vida existentes no planeta.

Em meio a este contexto, a questão da geração e destino de resíduos sólidos ganha destaque ao se tratar de um problema atemporal, e muitas vezes, transfronteiriço. A degradação ambiental e os problemas decorrentes desta e da disposição inadequada dos resíduos, podem gerar danos que ultrapassam gerações e fronteiras. Esta problemática ganhou impulso a partir da Revolução Industrial, quando os resíduos sofreram alterações qualitativas e quantitativas.

Na maioria dos países, em decorrência de diversos fatores, a geração de resíduos sólidos tem crescido a uma taxa superior a do crescimento populacional. No Brasil, essa situação não é diferente. De 2014 para 2015, segundo dados da Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública (2016), o crescimento na geração de resíduos foi de 1,7%, ao mesmo tempo em que o crescimento populacional observado no mesmo período foi de 0,8%. Embora este crescimento tenha sido inferior ao registrado nos anos anteriores, em 2015, a geração total de resíduos sólidos urbanos (RSU) no país atingiu o equivalente a 218.874 t/dia. Estes dados indicam que cada brasileiro produziu, em média, 1,071 Kg/dia.

No Brasil, de acordo com a Constituição Federal e com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, o gerenciamento de resíduos sólidos é de competência do poder público municipal. Em função disso, segundo o Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2014 (BRASIL, 2016), dos 3.765 municípios que participaram desta pesquisa, em 94,1% a administração direta (secretarias, departamentos ou setores) constitui a natureza jurídica mais presente entre os gestores do manejo de RSU. As empresas públicas representam 3,2%, seguida pelas autarquias com 2,0% e, finalmente, as sociedades de economia mista com administração pública com menos de 1%.

A gestão dos resíduos sólidos urbanos é uma importante parte da infraestrutura urbana que assegura a proteção ambiental e a saúde humana. Todavia, em países em desenvolvimento, como o Brasil, os esforços para o melhoramento deste setor se tornam complicados pela

influência de fatores como o crescimento acelerado da população urbana, aumento das atividades econômicas, ao êxodo rural e metropolização das cidades. Nestes países, embora a geração per capita de resíduos sólidos seja menor do que em países de alta renda, a capacidade das cidades de coletar, processar ou reutilizar e dispor os resíduos sólidos é limitada por numerosas dificuldades, tanto técnicas, quanto econômicas, metodológicas, organizacionais e sociológicas o que implica, de forma mais frequente, na disposição destes em lixões, por constituírem o método mais fácil e barato (JOSEPH et al., 2004; AINA, 2006).

As dificuldades para destinar adequadamente os resíduos citadas por AINA (2006) são relacionadas à: escolha do local que geralmente é feita segundo critérios econômicos e práticos sem percepção suficiente dos impactos sobre o ambiente e sobre as populações vizinhas; ausência de gestão de resíduos, onde o aterro é destino final para todos os tipos de resíduos, incluindo os comuns, os perigosos e infectantes, sólidos, pastosos e líquidos; as condições de operação que raramente oferecem instalações funcionais como as de coleta e tratamento do lixiviado e biogás e, em alguns casos, sem equipamento para a compactação. Estes fatores conduzem a problemas de projeto de aterro e evidenciam a falta de conhecimento dos parâmetros específicos de aterro em países em desenvolvimento, sem contar as condições climáticas que são diferentes.

Os problemas decorrentes da disposição inadequada de resíduos através da utilização de lixões e aterros controlados são destacados igualmente pela *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005) que afirma que estes são suscetíveis de poluir o ambiente devido às emissões de biogás e lixiviado que podem continuar até mesmo depois de muitas décadas após o encerramento da disposição de resíduos. A agência ainda afirma que os riscos estão relacionados à explosão, incêndio, instabilidade, transtornos diretos (como os odores) ou indiretos (como perda de visibilidade, prejuízos em decolagens) e perda de valor do terreno e imóveis. Além disso, os riscos sobre o meio pela disposição inadequada relacionam-se à modificação, degradação da qualidade, sobre e subdesenvolvimentos faunísticos e florísticos, poluição térmica, intoxicação, inibição, asfixia de seres vivos.

Para reduzir esta problemática, inúmeras soluções tecnológicas têm surgido nos últimos anos, geralmente em países desenvolvidos. Todavia, estas soluções apresentam-se muito distintas em termos de custos, materiais e técnicos necessários e resultados obtidos, demandando por grande conhecimento técnico para a escolha adequada entre uma alternativa ou outra. Tal problema é reforçado pela falta de

informações e de condições adequadas para resolver a problemática da disposição inadequada de resíduos, geralmente em países em desenvolvimento.

No caso do Brasil, como passo fundamental para solucionar a problemática da disposição inadequada de resíduos sólidos, em 2010, após muitos anos tramitando no Congresso Nacional, foi sancionada a Lei nº 12.305, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Um de seus instrumentos é o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (ainda em versão preliminar) que conforme previsto na Lei 12.305/2010, tem vigência por prazo indeterminado e horizonte de 20 (vinte) anos, com atualização a cada 04 (quatro) anos. O plano estabelece algumas metas e utiliza cenários de planejamento que visam uma descrição de um futuro – possível, imaginável ou desejável.

Em relação à meta de disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos em até 4 anos após a data de publicação da Lei 12.305/2010, ou seja, a eliminação total dos lixões até 2014, segundo Brasil (2011), o Plano Nacional estabelece os prazos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Prazos para a meta de eliminação dos lixões até 2014

Meta	Região	Plano de Metas Favorável/Legal				
		2015	2019	2023	2027	2031
Eliminação total dos lixões até 2014	Brasil	100	100	100	100	100
	Região Norte	100	100	100	100	100
	Região Nordeste	100	100	100	100	100
	Região Sul	100	100	100	100	100
	Região Sudeste	100	100	100	100	100
	Região Centro-oeste	100	100	100	100	100

Fonte: Adaptado de Brasil (2011).

Em relação à meta de recuperação de lixões através da queima pontual dos gases, coleta de chorume, drenagem pluvial, compactação da massa e cobertura vegetal, os prazos estabelecidos pelo Plano Nacional dentro do cenário favorável estão apresentados na Tabela 2. Para a meta de recuperação de lixões dentro de um cenário intermediário, os prazos estão apresentados na Tabela 3, enquanto que no cenário desfavorável os prazos estão apresentados Tabela 4.

Tabela 2 - Prazos para a recuperação de lixões em um Plano de Metas Favorável

Meta	Região	Plano de Metas Favorável/Legal				
		2015	2019	2023	2027	2031
Lixões recuperados	Brasil	10	40	70	100	100
	Região Norte	10	40	70	100	100
	Região Nordeste	10	40	70	100	100
	Região Sul	25	50	100	100	100
	Região Sudeste	20	50	100	100	100
	Região Centro-oeste	15	40	80	100	100

Fonte: Adaptado de Brasil (2011).

Tabela 3 - Prazos para a recuperação de lixões em um Plano de Metas Intermediário

Meta	Região	Plano de Metas Intermediário				
		2015	2019	2023	2027	2031
Lixões recuperados	Brasil	7	30	50	75	100
	Região Norte	7	30	50	75	100
	Região Nordeste	7	30	50	75	100
	Região Sul	15	40	75	100	100
	Região Sudeste	15	40	75	100	100
	Região Centro-oeste	10	30	60	75	100

Fonte: Adaptado de Brasil (2011).

Tabela 4 - Prazos para a recuperação de lixões em um Plano de Metas desfavorável

Meta	Região	Plano de Metas Intermediário				
		2015	2019	2023	2027	2031
Lixões recuperados	Brasil	5	20	45	65	90
	Região Norte	5	20	45	65	90
	Região Nordeste	5	20	45	65	90
	Região Sul	10	20	50	75	100
	Região Sudeste	10	20	50	75	100
	Região Centro-oeste	8	20	45	65	90

Fonte: Adaptado de Brasil (2011).

Diante deste panorama que mostra a diversidade de problemas ocasionados pela disposição inadequada de RSU; a urgência para a eliminação e recuperação de lixões no Brasil e as dificuldades para a escolha das ações mais adequadas para o cumprimento desta última ação, levantou-se como problema da pesquisa este questionamento:

como proceder a escolha adequada das soluções tecnológicas para a recuperação das áreas degradadas por RSU no Brasil, com base nas características próprias de cada área e nos tipos e graus de degradação decorrentes da disposição inadequada de resíduos?

## 1.2 JUSTIFICATIVAS

Sabe-se que no Brasil ainda é bastante ampla a utilização irregular de áreas para a disposição de resíduos sólidos, o que resulta no surgimento de inúmeros lixões ou vazadouros a céu aberto. Dados da Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública (2016) indicam que no Brasil em 2015, cerca de 41% dos resíduos coletados foram destinados à lixões e aterros controlados. Além disso, esta prática ocasiona impactos à saúde pública e ao ambiente, decorrentes da contaminação dos solos e águas superficiais e subterrâneas pela presença de lixiviados; poluição do ar e doenças respiratórias das populações do entorno pela emissão de gases resultantes da decomposição e/ou queima dos resíduos; proliferação de macro e micro vetores, além de outros problemas, acarretando em prejuízos econômicos e sociais.

Desta forma, percebe-se a necessidade de estudar, propor e desenvolver uma metodologia capaz de apoiar a decisão quanto à recuperação de áreas assim degradadas, a fim de se evitar ou mitigar os prejuízos ambientais, econômicos, sociais e de saúde pública decorrentes desta prática.

Neste sentido, a presente pesquisa encontra-se amparada por vários dispositivos legais, dentre os quais pode-se citar, a Lei de Crimes Ambientais ou **Lei N° 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998, a qual afirma que é crime causar poluição de qualquer natureza que resulte em danos à saúde humana ou que provoque a mortandade de animais ou destruição significativa da flora, inclusive devido ao lançamento de resíduos sólidos em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos (BRASIL, 1998).

Mais recentemente foi aprovada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) denominada de **Lei N° 12.305**, de 02 de agosto de 2010. Esta lei, em seu artigo 47, proíbe a destinação ou disposição final de resíduos sólidos ou rejeitos em praias, mar ou em quaisquer corpos hídricos, ou ainda, *in natura* a céu aberto, excetuando os resíduos de mineração. Em seu artigo 54, consta que a disposição ambientalmente adequada dos rejeitos deveria ser implantada em até 4 anos após a data de publicação da referida Lei (BRASIL, 2010). Todavia, em 1° de julho

de 2015, o Senado Nacional aprovou um projeto que prorroga este prazo de forma diferenciada, de acordo com o perfil do município. Assim, as capitais e municípios de região metropolitana terão até 31 de julho de 2018 para acabar com os lixões. Os municípios de fronteira e os que contam com mais de 100 mil habitantes, com base no Censo de 2010, terão um ano a mais para implementar os aterros sanitários. As cidades que têm entre 50 e 100 mil habitantes terão prazo até 31 de julho de 2020. Já o prazo para os municípios com menos de 50 mil habitantes será até 31 de julho de 2021 (AGÊNCIA SENADO, 2015).

No âmbito estadual, tomando como base o estado de Santa Catarina, pode-se citar a Política Estadual de Resíduos Sólidos, conhecida como **Lei No 13.557/2005**. O artigo 8º desta afirma que a Política de Gestão de Resíduos Sólidos será desenvolvida, também, através de programas que visem a estimular, dentre vários tópicos, a recuperação de áreas degradadas em decorrência da disposição inadequada de resíduos sólidos. Ainda sobre esta questão, o artigo 18 afirma que a recuperação ambiental e/ou recuperação de áreas degradadas ou contaminadas pela disposição de resíduos sólidos deverá ser feita pelo responsável, em conformidade com as exigências estabelecidas pelo órgão ambiental estadual (SANTA CATARINA, 2005).

A Resolução **CONAMA N° 420/2009** estabelece diretrizes para o gerenciamento das áreas contaminadas objetivando a eliminação do perigo ou redução do risco à saúde humana; eliminação ou minimização dos riscos ao meio ambiente; evitar danos aos demais bens a proteger; evitar danos ao bem estar público durante a execução de ações para recuperação; possibilitar o uso declarado ou futuro da área, observando o planejamento de uso e ocupação do solo (CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 2009).

Muitos estudos foram desenvolvidos visando a recuperação de áreas degradadas pelo lançamento de resíduos sólidos no mundo todo. Nos países desenvolvidos, atualmente a gestão e gerenciamento de resíduos estão mais avançados, fazendo com que os lixões não façam mais parte da realidade atual.

Ainda quando este tema tinha maior relevância na França, a *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie*, conhecida como ADEME publicou diversos trabalhos, dentre os quais pode-se destacar o intitulado “Recuperação de lixões: Métodos e técnicas” - *Remise en état des décharges: Méthodes et Techniques* (ADEME, 2005) que traz a preocupação de auxiliar o processo de reabilitação de áreas degradadas por disposição irregular de resíduos sólidos, levando

em conta particularidades da realidade francesa. Tal trabalho traz em anexo um programa para a entrada e análise de dados e a consequente decisão apontada. Esta agência conduziu também a produção de diversos outros trabalhos na área, não apenas na França, mas também em países francófonos em desenvolvimento, como Burkina Faso, Argélia, Senegal, Haiti, entre outros.

Também merece grande destaque o esforço americano, representado principalmente pela U.S. *Environmental Protection Agency* (USEPA) em estabelecer leis e metodologias bastante aprofundadas.

No Brasil algumas publicações foram elaboradas buscando o saneamento das questões relativas às áreas degradadas. De tais publicações destacam-se o “Caderno técnico de reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos” (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2010), que embora tenha sido desenvolvido a fim de orientar os municípios mineiros na gestão adequada dos resíduos sólidos urbanos, promovendo o fechamento de lixões e a readequação/reabilitação dos espaços por eles ocupados, pode ter a mesma função nos demais municípios brasileiros. Também pode-se citar o “Manual de gerenciamento de áreas contaminadas” (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2001b) que objetiva conduzir as investigações de áreas suspeitas ou comprovadamente contaminadas e, posteriormente, as ações de remediação nestas áreas.

A literatura técnico-científica acerca de diagnóstico, remediação, recuperação e/ou reabilitação de áreas degradadas por disposição irregular de resíduos sólidos no Brasil apresenta inúmeros estudos de caso. Todavia, a despeito disso, percebe-se a inexistência de uma metodologia criteriosa capaz de conduzir os processos de recuperação dessas áreas. Com o objetivo de preencher essa lacuna, o presente trabalho propõe uma metodologia de apoio à decisão para a recuperação ambiental dos lixões, que considera o diagnóstico específico realizado em cada área a ser recuperada.

Tal necessidade veio reforçada pela aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e posteriormente, pelo lançamento do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2011) que enfatizam a urgência do encerramento da utilização de lixões como disposição final de resíduos sólidos no Brasil e a recuperação das áreas degradadas. Neste sentido, esta pesquisa se propôs a conhecer e utilizar as variáveis ambientais relativas às condições das disposições irregulares de resíduos sólidos urbanos, objetivando o desenvolvimento de metodologia acessível e aplicável em condições brasileiras, capaz de

avaliar cada área, classificar os lixões de acordo com o nível de urgência (dentro das situações onde há mais de um lixão a recuperar), desenvolver cenários de recuperação e selecionar as técnicas mais viáveis dentro de cada situação, resultando em ganhos ambientais, econômicos, sociais e de saúde pública.

Esta tese desenvolveu-se em dois grupos de pesquisa: 1. no Laboratório de Pesquisas em Resíduos Sólidos (LARESO) da Universidade Federal de Santa Catarina cujas linhas de pesquisa são: Recuperação, Valorização de Resíduos Urbanos, Industriais e Agrícolas; Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos, Industriais e Agrícolas e Tratamento e Disposição Final de Resíduos Urbanos, Industriais e Agrícolas. 2. *Laboratoire DEEP (déchets, eaux, environnement et pollutions)* do *Institut National des Sciences Appliquées* (INSA Lyon, França).

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Propor metodologia adaptada à realidade brasileira, para subsidiar a escolha de soluções tecnológicas para a recuperação de áreas degradadas pela disposição irregular de resíduos sólidos urbanos.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- ✚ Desenvolver um questionário de campo para a etapa de diagnóstico de lixões
- ✚ Construir fluxograma para a determinação das ações de recuperação requeridas
- ✚ Propor método para a comparação técnico-econômica de tecnologias

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS**

#### **2.1.1 Definição e classificação**

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua NBR 10004/2004, define os resíduos sólidos como sendo:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p.1).

Outra definição bastante importante acerca de resíduos sólidos é dada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Para esta, os mesmos são:

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 (BRASIL, 2010).

Quanto à classificação de resíduos sólidos, a norma supracitada os classifica em resíduos perigosos e não perigosos. Os primeiros são todos os materiais que apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Na ausência

destas características, os resíduos são enquadrados como não perigosos, podendo, ainda, serem subdivididos em não inertes e inertes. Os não inertes são todos os resíduos que apresentam as propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. A classificação dos resíduos pode ser assim sintetizada:

- a) **resíduos classe I** - Perigosos;
- b) **resíduos classe II** – Não perigosos;
  - **resíduos classe II A** – Não inertes.
  - **resíduos classe II B** – Inertes.

Outras definições e classificações dos resíduos podem ser igualmente adotadas, tais como as que levam em consideração a sua origem. Todavia, em função dos objetivos da pesquisa, esta irá adotar o que foi apresentado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas.

### **2.1.2 Disposição final**

Integrando o sistema de limpeza urbana, de acordo com Monteiro *et al.* (2001), tem-se as etapas de geração, acondicionamento, coleta, transporte, transferência, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos, além da limpeza de logradouros públicos.

O presente trabalho tem como foco a etapa de disposição final que pode ser entendida, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), 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.

Segundo Monteiro *et al.* (2001), o problema da disposição final no Brasil assume uma magnitude alarmante, visto que muitas vezes, os resíduos são depositados em locais absolutamente inadequados, como encostas florestadas, manguezais, rios, baías e vales. Na maioria destes locais encontra-se a presença de catadores – dentre eles, crianças –, denunciando os problemas sociais que a má gestão dos resíduos acarreta.

No Brasil, tradicionalmente utiliza-se três métodos de disposição final: os lixões, os aterros controlados e os aterros sanitários, sendo que os dois primeiros não são recomendados sanitária e ambientalmente. Joseph *et al.* (2004) afirmam que o aterro controlado é uma forma de operação inaceitável por não cumprir com os princípios fundamentais dos aterros em relação a compactação e cobertura. Possuindo, todavia, algumas medidas de controle básico, que são: uma

pessoa em posição de autoridade no local; controle do acesso dos veículos; controle sobre os tipos de resíduos aterrados; área controlada; eliminação da queima descontrolada dos resíduos; retirada de animais.

Os próximos tópicos descreverão com mais detalhes o aterro sanitário, visto que é a forma mais adequada dentre as três tradicionalmente utilizadas, e os lixões, que são o foco da pesquisa.

### 2.1.3 Aterro Sanitário

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992) definiu em sua NBR 8419/1992 que aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, utilizando-se princípios de engenharia, de tal modo a confinar os resíduos no menor volume possível, cobrindo-os com uma camada de terra ao final do trabalho de cada dia, ou conforme o necessário.

Uma série de vantagens e desvantagens dos aterros sanitários com relação a outras formas de destinação de resíduos sólidos foi apresentada por Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1997) e podem ser conferidas no Quadro 1.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens dos aterros sanitários

<b>Vantagens</b>
Custo de investimento é muito menor que o requerido por outras formas de tratamento de resíduos
Custo de operação muito menor que o requerido pelas instalações de tratamento de resíduos
Apresenta poucos rejeitos ou refugos a serem tratados em outras instalações
Simplicidade operacional
Flexibilidade operacional, sendo capaz de operar bem mesmo ocorrendo flutuações nas quantidades de resíduos a serem aterradas
<b>Desvantagens</b>
Dificuldade em tratar o lixiviado
Não trata os resíduos, consistindo em uma forma de armazenamento no solo
Requer áreas cada vez maiores
A operação sofre ação das condições climáticas
Apresenta risco de contaminação do solo e da água subterrânea

Fonte: Adaptado de Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1997)

Cossu (2013) também destaca como desvantagens a emissão de gases de efeito estufa (metano e gás carbônico), compostos orgânicos

voláteis (COV) e odores, com o risco potencial de fogo e explosões, problemas estes associados aos aterros mais antigos.

Alguns elementos são indispensáveis em um aterro sanitário. Mansor *et al.* (2010) destacam a necessidade de um sistema de isolamento físico a fim de controlar o acesso às instalações dos aterros evitando, desta forma, a interferência de pessoas e animais em sua operação ou a realização de descargas de resíduos não autorizados; um sistema de isolamento visual para evitar a fácil visualização do aterro e suas instalações, além de diminuir ruídos, poeira e maus odores no entorno do empreendimento. Ainda, outros elementos são necessários:

- **Sistema de impermeabilização:** Destina-se a isolar os resíduos do solo natural subjacente, de maneira a minimizar a percolação de lixiviados e de biogás.
- **Sistema de drenagem de lixiviados:** Conjunto de drenos que possibilitam a remoção controlada de lixiviados gerados nos aterros sanitários.
- **Sistema de tratamento de lixiviados:** Instalações e estruturas destinadas à atenuação das características dos líquidos percolados dos aterros que podem ser prejudiciais ao meio ambiente ou à saúde pública.
- **Sistema de drenagem de gases:** Estrutura que tem por objetivo possibilitar a remoção controlada dos gases gerados no interior dos aterros, como decorrência dos processos de decomposição dos materiais biodegradáveis presentes nos resíduos.
- **Sistema de tratamento de gases:** Instalações e estruturas destinadas à queima em condições controladas dos gases drenados dos aterros sanitários, podendo ou não resultar no aproveitamento da energia térmica obtida desse processo.
- **Sistema de drenagem de águas pluviais:** Conjunto de canaletas localizadas em diversas regiões dos aterros, que têm como objetivo captar e conduzir as águas de chuva precipitadas sobre as áreas aterradas ou em seu entorno.
- **Sistema de cobertura:** Camada de material terroso aplicada sobre os resíduos compactados, destinada a dificultar a infiltração das águas de chuva, o espalhamento de materiais pela ação do vento, a ação de catadores e animais e a proliferação de vetores.

- **Sistema de monitoramento:** Estruturas e procedimentos que têm por objetivo a avaliação do comportamento dos aterros, bem como sua influência nos recursos naturais existentes.

A escolha de área para a implantação de um aterro sanitário é bastante complexa, devendo ser realizada uma série de estudos envolvendo diferentes profissionais e áreas do conhecimento a fim de levantar as informações necessárias para a escolha da área. Essas informações são: dados geológico-geotécnicos; pedológicos; sobre o relevo; sobre as águas subterrâneas e superficiais; sobre o clima; sobre a legislação; socioeconômicos e arqueológicos. A escolha de área depende, além da disponibilidade de áreas próximas aos locais de geração de resíduos que possuam as dimensões requeridas, também de parâmetros técnicos das normas e diretrizes federais, estaduais e municipais, os aspectos legais das três instâncias governamentais, planos diretores dos municípios envolvidos, polos de desenvolvimento locais e regionais, distâncias de transporte, vias de acesso e os aspectos político-sociais relacionados com a aceitação do empreendimento pelos políticos, pela mídia e pela comunidade. Ainda há os fatores econômico-financeiros (REICHERT, 2007; MONTEIRO *et al.*, 2001).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997), em sua Norma 13.896/1997, determina que para a avaliação da adequabilidade de um local aos critérios, diversas considerações técnicas devem ser feitas:

- a) **topografia** - recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%;
- b) **geologia e tipos de solos existentes** - considera-se desejável a existência, no local, de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a  $10^{-6}$  cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m;
- c) **recursos hídricos** - o aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer corpo d'água;
- d) **vegetação** - pode atuar favoravelmente na escolha de uma área quanto aos aspectos de redução do fenômeno de erosão, da formação de poeira e transporte de odores;
- e) **acessos** - fator de evidente importância em um projeto de aterro, uma vez que são utilizados durante toda a sua operação;
- f) **tamanho disponível e vida útil** - recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos;

g) **custos** - os custos de um aterro têm grande variabilidade conforme o seu tamanho e o seu método construtivo. A elaboração de um cronograma físico- financeiro é necessária para permitir a análise de viabilidade econômica do empreendimento;

h) **distância mínima a núcleos populacionais** - recomenda-se que a distância seja superior a 500 m.

A Norma supracitada ainda considera outros critérios que devem ser observados: a) o aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações, em períodos de recorrência de 100 anos; b) entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,50 m de solo insaturado. O nível do lençol freático deve ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região; c) o aterro deve ser executado em áreas onde haja predominância no subsolo de material com coeficiente de permeabilidade inferior a  $5 \times 10^{-5}$  cm/s; d) os aterros só podem ser construídos em áreas de uso conforme legislação local de uso do solo.

Aina (2006) aponta que os aterros devem ser considerados como reatores abertos para melhor se controlar as entradas (resíduos, águas), as saídas (lixiviados, biogás), os mecanismos reacionais (evolução da massa de resíduos) e os impactos sobre o ambiente: água (superficial e subterrânea), solo (migração dos poluentes orgânicos e minerais), ar (emissão de gás de efeito estufa), ecossistema natural e humano. A concepção e operação do aterro devem permitir um controle da geração do lixiviado, do biogás e limitar a poluição.

Cossu (2013) afirma que atualmente é possível controlar a emissão de gases através da redução, eliminação ou estabilização da fração orgânica putrescível e a emissão dos lixiviados pode ser controlada através de um sistema de multi-barreira física. Todavia, o principal aspecto crítico deste tipo de aterro é o tempo de vida destas barreiras, muitas vezes provando sua eficiência ser menor do que a duração dos impactos.

De acordo a NBR 13896 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), por ocasião do encerramento da operação do aterro sanitário, é necessário tomar medidas que minimizem a necessidade de manutenção futura e minimize ou evite a liberação de líquido percolado contaminado e/ou gases para as águas subterrâneas, para as águas superficiais ou para a atmosfera. Desta forma, no plano de encerramento do aterro deve constar: os métodos e as etapas a serem seguidas em seu fechamento total ou parcial; o projeto e construção da cobertura final; a data aproximada para o início das atividades de

encerramento; uma estimativa dos tipos e da quantidade de resíduos que devem estar presentes no aterro, quando encerrado; usos programados para a área ser encerrada; monitoramento das águas após o término das operações; atividades de manutenção da área; provisão dos recursos financeiros necessários para a execução das tarefas previstas neste plano.

Após o encerramento do aterro, a Norma determina que seja realizado o monitoramento das águas subterrâneas, por um período de 20 anos após o fechamento da instalação; manutenção dos sistemas de drenagem e de detecção de vazamento de líquido percolado até o término da sua geração; manutenção da cobertura de modo a corrigir rachaduras ou erosão; manutenção do sistema de tratamento de líquido percolado, se existente, até o término da geração desse líquido ou até que esse líquido atenda aos padrões legais de emissão; manutenção do sistema de coleta de gases (se existente) até que seja comprovado o término de sua geração e isolamento do local. Ainda como ações necessárias para o monitoramento aterros, Mansor *et al.* (2010) destacam o sistema de monitoramento geotécnico para acompanhar o comportamento mecânico dos maciços, visando à avaliação das suas movimentações e condições gerais de estabilidade.

#### **2.1.4 Lixões**

O depósito de resíduos sólidos a céu aberto ou lixão é a forma mais inadequada de disposição final de resíduos, se caracterizando pela falta de planejamento, falta de controle de acesso ou do tipo de resíduo dispostos (o que pode incluir os de serviços de saúde e de indústrias), ocorrendo simples descarga destes sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública e sem compactação ou cobertura. Como consequência ocorre a poluição do solo, ar e águas superficiais e subterrâneas em decorrência da percolação de lixiviado, geração de maus odores e proliferação de vetores, tais como moscas, mosquitos, baratas e ratos. Assim, os resíduos ficam suscetíveis à queima e ao trabalho de catadores, muitos ali residentes. Nestes locais ainda é muito comum a criação de animais (ZANTA E FERREIRA, 2002; VILHENA, 2010; JOSEPH *et al.* 2004).

A Fundação Estadual de Meio Ambiente (2010) ainda destaca a poluição visual, a instabilidade de taludes pela sobrecarga e absorção temporária da água da chuva, provocando deslizamentos e inúmeros problemas sociais e econômicos decorrentes da chegada de populações de baixa renda que buscam na catação de resíduos a sua sobrevivência.

A *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (*Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie*, 2005) trata os lixões como disposições não autorizadas de resíduos domiciliares e similares. Esta agência define estes locais como:

Instalações que foram objetos de contribuição regular de RSU e são exploradas, de regra geral, pela coletividade, ou deixadas à disposição por eles para recebimento de resíduos sólidos de particulares (AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE, 2005, p. 18).

Em  $\frac{3}{4}$  dos países e territórios em todo mundo, a disposição de resíduos na forma de lixões ainda persiste devido diversas razões, tais como a ignorância dos riscos à saúde; aceitação do *status quo* devido a falta de recursos para algo melhor e falta de política que protege e melhora a saúde pública e do ambiente; inexistência de recursos técnicos e financeiros dentro das prefeituras, agravado pela descontinuidade gerencial entre uma administração e outra, que via de regra, não prioriza a destinação final adequada dos resíduos, mas sim, apenas os serviços de limpeza, coleta e afastamento dos resíduos das vias públicas, ficando a destinação final dos resíduos com baixo índice de investimento (JOSEPH *et al.*, 2004; BISORDI *et al.*; 2004).

Neste sentido, Dias, Carvalho e Limons (2013) verificaram alguns desafios que devem ser observados para o encerramento dos lixões no Brasil. O primeiro deles se refere ao **desafio ambiental** relativo ao custo elevado para a reabilitação dos lixões; a dificuldade em se encontrar locais adequados para a construção de aterros sanitários e necessidade de se promover a recuperação dos materiais recicláveis, o que reduziria os impactos ambientais relacionados à retirada de matéria prima do ambiente e a necessidade de aterramento dos resíduos.

O segundo são os **desafios sociais** como a inclusão social dos catadores e a necessidade de mudança cultural brasileira. No Brasil há um grande número de catadores, cuja maioria não possui qualquer capacitação profissional que permita a busca por outras formas de trabalho. A inserção dos catadores na cadeia da reciclagem pode ocorrer tanto na coleta seletiva, quanto na fase de transformação dos materiais. Todavia, a maioria dos catadores não consegue agregar valor ao material recuperado, principalmente, devido à falta de apoio econômico para o desenvolvimento técnico e investimento na infraestrutura de trabalho. O

principal desafio para a integração dos catadores é a forma de lidar com este trabalho e aumentar a eficiência da reciclagem associado ao desafio de projetar um sistema eficaz e economicamente sustentável, com uma logística que satisfaça as condições do ambiente e da saúde pública.

A mudança cultural brasileira relaciona-se com a necessidade de reduzir a quantidade de resíduos aterrados, a fim de aumentar a vida útil dos aterros. Isso pode ser possível através da implementação de sistemas de coleta seletiva, que podem estar associados ao trabalho dos catadores, e a construção de sistemas de tratamento mecânico-biológicos dos resíduos.

Os **desafios econômicos** devem-se a diversidade territorial, política e socioeconômica e na densidade populacional que muda em cada estado brasileiro. Além disso, são necessários investimentos na educação ambiental e em cursos para profissionais que trabalham com a gestão de resíduos, associado ao apoio econômico ao setor, para evitar problemas passados de conversão de aterros sanitários em lixões. A baixa densidade populacional de muitos municípios faz com que a gestão de resíduos torne-se economicamente insustentável. Um dos caminhos para resolver esta questão é a formação de consórcios intermunicipais, que asseguram um sistema eficiente e economicamente sustentável.

### **2.1.5 Panorama brasileiro e catarinense sobre lixões**

Conforme já destacado, a despeito de todos os problemas decorrentes da disposição inadequada de resíduos sólidos, ainda é muito comum no Brasil a utilização de lixões e aterros controlados. Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública (2016) no Brasil há 3.326 municípios que ainda dispõem inadequadamente seus resíduos.

De acordo com o Ministério das Cidades (2016) apurou-se que no ano de 2014, 52% dos resíduos coletados são dispostos em aterros sanitários, 13,1% em aterros controlados, 12,4% em lixões e quase 3% encaminhados para unidades de triagem e de compostagem, restando então a parcela de 19,6% sem informação (Tabela 5), a qual se refere sobretudo aos pequenos municípios até 30 mil habitantes. Todavia, mesmo diante de tal lacuna, o Ministério das Cidades julga pertinente, a título de exercício, se admitir que dois terços desta “massa sem informação” seja encaminhada para lixões, resultando em 58,5% da massa total coletada no País disposta de forma adequada, sendo o

restante distribuído por destinações em lixões, aterros controlados e, em menor escala, à unidades de triagem e unidades de compostagem.

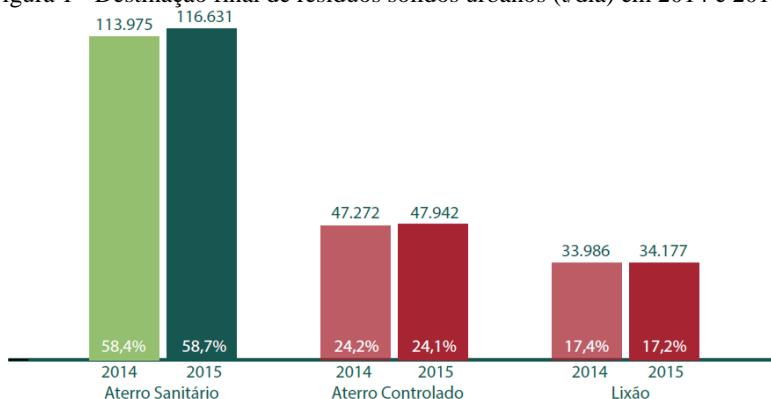
Tabela 5- Evolução da quantidade de resíduos destinados a lixões, aterros controlados, aterros sanitários, unidades de triagem, unidades de compostagem e sem informação entre 2011 e 2014

ANO	Destino final dos resíduos sólidos, por quantidade de resíduos coletados (%)					
	Lixão	Aterro controlado	Aterro Sanitário	Un. Triagem	Un. Compostagem	Sem informação
2011	7,1%	12,3%	46%	3,8%	0,3%	30,4%
2012	9,1%	14%	51%	3,7%	0,4%	20,9%
2013	11%	17%	50,2%	2,1%	0,02%	19,6%
2014	12,4%	13,1%	52%	2,5%	0,42%	19,6%

Fonte: A autora, com base em Ministério das Cidades, 2016

Dados da Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública (2016) indicam um ligeiro aumento, em termos de percentual, em relação à quantidade de resíduos sólidos (toneladas/dia) destinada aos aterros sanitários no país, acompanhado de uma pequena retração no uso de lixões como unidade de disposição final de resíduos sólidos. Conforme se observa na Figura 1, em 2014, o percentual de resíduos dispostos em aterro sanitário era de 58,4% e dispostos em lixão, 17,4%. Por outro lado, em 2015, 58,7% dos resíduos foram dispostos em aterros sanitários, diminuindo em 0,2% o percentual de utilização de lixões.

Figura 1 - Destinação final de resíduos sólidos urbanos (t/dia) em 2014 e 2015



Fonte: Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública (2016).

Esses números apresentados de outra forma indicam que somente no ano de 2015 no Brasil 42.570.268 toneladas de resíduos foram dispostas em aterros sanitários. Em contrapartida, 29.973.483 de toneladas foram parar em lixões e aterros controlados.

A análise dos dados acerca da forma de destinação final dos resíduos sólidos em cada unidade da federação, no ano de 2014, está simplificada na Tabela 6, elaborada a partir de informações da Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública (2016).

Tabela 6 - Destinação final de resíduos sólidos nas unidades da federação (UF) em 2015 (toneladas/dia e %)

UF	Aterro Sanitário		Aterro Controlado		Lixão	
	T/dia	%	T/dia	%	T/dia	%
Acre	273	53,4	128	25,1	110	21,5
Amapá	248	40,2	191	31	178	28,8
Amazonas	2.044	55	892	24	780	21
Pará	1.515	28,2	1.964	36,5	1.896	35,3
Rondônia	88	7,8	132	11,8	900	80,4
Roraima	39	11,4	116	34	186	54,6
Tocantins	336	33,2	377	37,3	299	29,5
Total	4.543	35,8	3.800	29,9	4.349	34,3
Alagoas	109	4,3	979	38,6	1.450	57,1
Bahia	3.771	31,2	4.374	36,2	3.938	32,6
Ceará	3.455	45	2.298	29,9	1.925	25,1
Maranhão	1.401	32,5	1.481	34,1	1.458	33,6
Paraíba	943	31	1.113	36,6	986	32,4
Pernambuco	3.392	43,8	2.240	28,9	2.113	27,3
Piauí	1.075	50,4	542	25,4	515	24,2
Rio Grande do Norte	760	28,2	1017	37,7	918	34,1
Sergipe	782	47,6	446	27,2	413	25,2
Total	15.688	35,7	14.490	33	13.716	31,3
Distrito federal	-	-	4.561	100	-	-
Goiás	2.920	45,3	1.991	30,9	1.536	23,8
Mato Grosso	1063	38	481	17,2	1.253	44,8
Mato Grosso do Sul	967	40,1	722	29,9	723	30
Total	4.950	30,5	7.755	47,8	3.512	21,7
Espírito Santo	1.996	64,4	711	22,9	394	12,7
Minas Gerais	11.343	64,9	3.339	19,1	2.797	16
Rio de Janeiro	15.021	68,6	4.686	21,4	2.188	10
São Paulo	47.985	77,2	9.262	14,9	4.909	7,9
Total	76.345	73	17.998	17,2	10.288	9,8

Paraná	5.875	70,4	1.645	19,7	825	9,9
Rio Grande do Sul	5.807	70,6	1.446	17,6	971	11,8
Santa Catarina	3.423	72,1	808	17	516	10,9
Total	15.105	70,9	3.899	18,3	2.312	10,8

Fonte: A autora, com base em Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública (2016)

Os números ainda são altos em função de diversos fatores, como a responsabilidade municipal sobre o manejo de resíduos sólidos que faz com que os municípios, incluindo os que não possuem recursos técnicos e financeiros, necessitem buscar soluções para os resíduos gerados em seus territórios. Neste contexto, os lixões ainda são um método muito difundido em grande parte, sobretudo, devido ao menor custo comparado com outros processos, exigindo poucos equipamentos e mão-de-obra especializada e à pequena quantidade de resíduos gerada em virtude do tamanho da grande maioria dos municípios, o que não justifica grandes instalações e a existência de áreas próximas disponíveis para a disposição irregular. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA, 2016; ALBERTE, CARNEIRO E KAN, 2005).

Ainda, como causa da problemática, pode-se citar que os valores aplicados pelos municípios para os serviços de limpeza pública são, em boa parte dos casos, insuficientes para cobrir os custos necessários para uma gestão adequada dos resíduos. Em média, os municípios destinam a este serviço R\$ 10,15/hab/mês. Somado ao problema da disposição final ainda há o relativo à cobertura da coleta de resíduos. No Brasil a taxa de cobertura deste serviço em 2015 foi de 90%, o que indica de 7,3 milhões de toneladas de resíduos deixaram de ser coletadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA, 2016).

Particularmente em Santa Catarina, segundo Santa Catarina (2013) a utilização de lixões como método de disposição de resíduos sólidos foi desencorajada pelo programa “Lixo Nosso de Cada Dia” do Ministério Público, lançado em 2001, o que reduziu fortemente a opção por esta solução. Este programa resultou em inúmeros Termos de Compromisso de Ajustamento de Conduta (TAC) em todo território catarinense, estabelecendo prazos para apresentação de projetos que contemplassem a recuperação de áreas degradadas pelos lixões então existentes e a destinação adequada dos resíduos sólidos, mediante a instalação de aterros sanitários ou outros equipamentos, em conformidade com as orientações técnicas e com as devidas licenças da

FATMA<sup>1</sup>. Num segundo momento, foram aplicados indicadores, com a finalidade de verificar a qualidade dos aterros sanitários em operação no Estado e, por fim, atendendo exigência legal estabelecida em lei federal, foram desenvolvidas ações para implantação dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

Se opondo aos dados apresentados pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública acerca da disposição final de resíduos no estado de Santa Catarina, Premier Engenharia (2012) afirma que não existem lixões neste estado, sendo, portanto, que todos os municípios catarinenses destinam seus resíduos sólidos urbanos para aterros sanitários. A empresa contabilizou 36 unidades de disposição final, destes, 21 (58%) são aterros de empresas particulares, 4 (11%) são aterros pertencentes a consórcios e 11 (31%) são aterros municipais. Em todos os aterros a empresa aplicou o Indicador de Avaliação de Desempenho de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos, dividido em 3 grupos: características de área, infraestrutura existente e condições de operação. Cada critério possuía três opções de avaliação abordando diversos aspectos dos aterros sanitários, como as diferentes medidas de controle ambiental. Para cada aterro avaliado, obteve-se uma nota correspondente ao indicador de desempenho conforme Figura 2.

Figura 2 - Notas e respectivos enquadramentos da avaliação de aterros

NOTA	GRUPO	CONDIÇÕES
9,0 < nota ≤ 10,0	ATERRO SANITÁRIO	ÓTIMAS
8,0 < nota ≤ 9,0		ADEQUADAS
6,0 < nota ≤ 8,0	ATERRO CONTROLADO	MÍNIMAS
4,0 < nota ≤ 6,0		PRECÁRIAS
0,0 < nota ≤ 4,0	LIXÃO	-----

Fonte: Premier Engenharia (2012)

De acordo com Premier Engenharia (2012), dos 36 aterros sanitários, 29 deles (81%) ficaram enquadrados como aterro sanitário, sendo 42% operados em condições ótimas e 39% em condições adequadas. Os demais aterros sanitários (19%) foram enquadrados como aterros controlados em condições mínimas. Portanto, para fins políticos,

<sup>1</sup> Fundação do meio ambiente do estado de Santa Catarina

diz-se que não existe disposição inadequada de resíduos no estado. Porém, para fins ambientais, considerando os impactos negativos dos aterros controlados, não é possível afirmar que o estado de Santa Catarina não possui mais disposição inadequada de RSU.

### **2.1.6 Impactos sociais e econômicos dos lixões**

São inúmeros os problemas sociais e econômicos relativos à existência dos lixões. Dentre eles, pode-se citar a interferência da estrutura local devido à chegada de populações de baixa renda no entorno, em busca de alternativa de trabalho proporcionada pela catação e comercialização de materiais recicláveis do lixão. Tal atividade propicia a estas pessoas o contato direto com todo o tipo de resíduo, tornando-as veículos transmissores e/ou receptores de doenças, bem como, vítimas de acidentes inerentes à atividade. Também ressalta-se a presença de crianças, o trabalho desorganizado na coleta e a não utilização de equipamentos de proteção individual ou coletiva e a inexistência de metodologia de trabalho que vise a produção. As condições insalubres e sub-humanas desta situação podem ser agravadas pela deposição de resíduos de serviço de saúde e industriais (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2010; BISORDI *et al.*, 2004).

Todavia, nem sempre o fechamento de um lixão é visto de forma positiva. É o caso citado por Silva e Luciano (s.d.) que apontaram que o fechamento do lixão de Rio Pardo (RS) não foi aceito por todos os moradores, visto que muitos dependiam da retirada de recicláveis para sua sobrevivência. Alguns dos moradores do entorno do lixão deixaram de viver naquele lugar, migrando para outro. Assim, o fechamento de um lixão e a retirada de catadores devem ser ações executadas após um diagnóstico profundo da problemática e planejamento sistematizado de ações que visem à resolução dos problemas ocasionados pela presença do mesmo.

Ainda há outras questões econômicas, como os custos envolvidos na universalização da destinação adequada de resíduos no Brasil nos termos que determina a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública (2015) determinou estes custos ao analisar os sistemas estruturantes e as alternativas de destinação final, disponíveis e aplicáveis no país; o atual nível de desenvolvimento do setor e realizou a projeção do volume de investimento necessário para atingir a adequação. Como instrumento da PNRS, há o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2011) que,

juntamente com os planos de resíduos sólidos de outras esferas, visa auxiliar a execução da PNRS. Segundo Brasil (2011) dentre as metas do Plano Nacional encontram-se a eliminação total e reabilitação dos lixões.

Segundo Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública (2015) para a eliminação dos lixões considerou-se a data limite de agosto de 2014, inicialmente proposta, e que todo rejeito fosse disposto de forma ambientalmente adequada. Para viabilizar isso, seria necessário a elaboração de projetos de engenharia, de viabilidade econômica e ambiental, a implementação de aterros sanitários e o aporte de recursos visando o encerramento de lixões. Considerou-se que para superar as possíveis dificuldades econômicas e técnicas para a implementação dos aterros, estes seriam implementados de forma consorciada.

Os resultados apresentados são nacionais, havendo também dados regionalizados onde é possível perceber que as regiões que demandam maiores investimentos são a Nordeste e a Sudeste e a que menos demanda é o sul. Possivelmente, em decorrência da alta densidade demográfica e conseqüente alta geração de resíduos em ambas as regiões, enquanto que nos estados da Região Sul do país (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) mais de 70% dos resíduos sólidos já são encaminhados para aterros sanitários, sendo necessário principalmente o incremento de outros tipos de tratamento de resíduos sólidos, visando à redução de RSU destinados à disposição final ambientalmente adequada.

### **2.1.7 Impactos ambientais**

Impacto ambiental é definido, segundo o Conselho Nacional de Meio Ambiente (1986), como:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas, biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que afetem diretamente ou indiretamente:

- A saúde, a segurança, e o bem-estar da população;
- As atividades sociais e econômicas;
- A biota;
- As condições estéticas e sanitárias ambientais;
- A qualidade dos recursos ambientais

(CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986).

Portanto, como é possível perceber, os lixões são atividades que causam inúmeros impactos (Quadro 2), dentre os quais destaca-se: problemas de saúde pública relacionados à proliferação de vetores, fortes impactos visuais, geração de gases responsáveis por odores desagradáveis e intensificação do efeito estufa, poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas em função da percolação do lixiviado. Quando dispostos em encostas, os resíduos também podem provocar a instabilidade de taludes devido à sobrecarga e absorção temporária da água da chuva, provocando deslizamentos e erosão da cobertura (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2010; *AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE*, 2005). Joseph *et al.* (s.d.) destacam os problemas relativos a queima de resíduos, geralmente praticada nos lixões como forma de reduzir o volume, resultando na emissão de substâncias tóxicas para o ar que podem causar insuficiência respiratória crônica e outras doenças e aumentar a concentração de poluentes atmosféricos, como óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, metais pesados (mercúrio, chumbo, cromo, cádmio, etc), dioxinas e furanos, e material particulado.

Quadro 2 - Perturbações e impactos causados pela presença dos lixões

<b>Natureza das perturbações</b>	<b>Origem</b>	<b>Impactos</b>
Dispersão de resíduos pelo vento	Papéis e plásticos, folhas e têxteis	Poluição do meio natural e das paisagens
Odores	Resíduos, fermentação, biogás	Transtornos para funcionários e moradores
Poeira	Circulação de veículos e equipamentos	Transtornos para funcionários e moradores
Animais	Atrativo alimentar dos resíduos	Transporte de doenças, transtorno para a aviação, alcance na cadeia alimentar
Incêndios e explosões	Imprudências, resíduos incandescentes, acúmulo de biogás	Perigo para o pessoal, perturbação olfativa
Barulho	Circulação de equipamento	Transtornos para funcionários e moradores
Desobstrução	Implementação de uma	Empobrecimento da

Desmatamento	instalação de aterro	paisagem, incômodo visual
Poluição dos solos e das águas	Infiltração do lixiviado	Degradação do meio natural
Efeito estufa	Biogás não captado	Modificação do clima, patologias de plantas
Riscos sanitários	Toxicidade dos resíduos, organismos patogênicos	Doenças

Fonte: Adaptado de Aina (2006)

Bisordi *et al.* (2004) destacam que os riscos oferecidos por um lixão integram-se a um ciclo de contaminação que necessitam diagnóstico preciso, definindo com segurança a fonte de contaminação, as vias de transmissão e principalmente, o receptor final que é o homem.

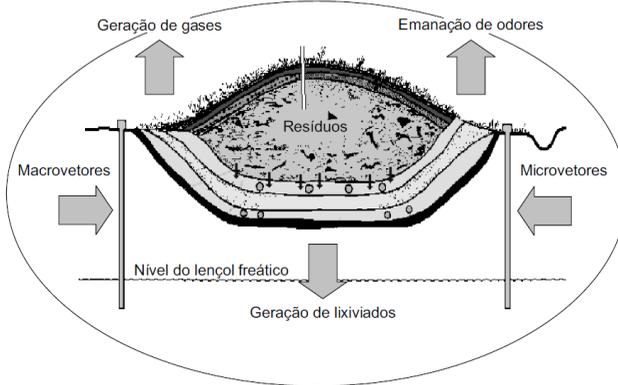
Neste contexto, a fonte de contaminação propriamente dita são os resíduos dispostos inadequadamente no solo e que podem contaminar os compartimentos ambientais. O solo, as águas e o ar são os veículos ou as vias de transmissão, os quais ligam a fonte e o receptor final, que pode contaminar-se através da ingestão da água ou através do contato com a derme; pelo ar, através da respiração ou, ainda, pelo solo ao estabelecer contato direto ou indiretamente pela contaminação da flora que retém as impurezas em suas raízes e folhas, que eventualmente podem ser consumidas pelo homem.

Os resíduos, ao se degradarem, originam os dois principais vetores da poluição: o biogás e o lixiviado (Figura 3). Estes vetores são formados por fenômenos diversos vindos da mistura de grande variedade química, sob a influência de agentes naturais, que são a chuva e os microrganismos. Esta mistura é objeto de evoluções complexas, constituídas por mecanismos físicos, químicos e biológicos que resultam na bioconversão da matéria orgânica em formas solúveis e gasosas, sendo esta a principal responsável pela degradação dos resíduos (CASTILHOS JR. *et al.*, 2002).

*Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005) afirma que consideram-se como poluentes todas as espécies químicas que, uma vez transferidas aos diferentes compartimentos dos meios, vão modificar significativamente suas características e composições finais, sendo liberados da degradação progressiva dos resíduos em subprodutos finais ou intermediários que são, em seguida, conduzidos, ou não, ao meio. Os poluentes que podem ser lançados pelos resíduos podem ser classificados segundo algumas características, tais como,

químicas, físicas e biológicas, tipologia, frequência de aparecimento e potencial de emissão de impacto.

Figura 3 - Principais impactos ambientais resultantes dos lixões.



Fonte: Castilhos Jr. *et al.* (2002)

Os fenômenos que influenciam a transferência dos poluentes liberados aos meios receptores segundo a *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005), são:

- **Condições físicas do meio:** na **água subterrânea**, a condutividade hidráulica, a porosidade, a permeabilidade do aquífero influenciam a transferência dos poluentes através dos fenômenos de difusão e convecção; no **solo e subsolo**, a natureza das camadas geológicas constituintes dos aquíferos influi na sorção dos poluentes. Os materiais argilosos, o carbono orgânico, o teor em óxidos, os carbonatos, os silicatos e os hidróxidos metálicos favorecem a fixação de certos poluentes orgânicos e minerais; **no ar**, certas condições, como as características do vento e inversão térmica influenciam na dispersão das partículas em pó; **na água superficial**, as características dos fluxos superficiais, tais como, taxa de fluxo e vitalidade do meio favorecem a dispersão e a transferência dos poluentes.
- **Condições físico-químicas e a forma dos poluentes:** a **solubilidade** favorece a transferência na água subterrânea e superficial; a **densidade** dos poluentes é relativa à água e define o escoamento vertical dos poluentes por gravidade; a **viscosidade dinâmica** influencia a velocidade de deslocamento no meio; **volatilidade ou pressão de vapor** indica a propriedade de um

poluente de se volatilizar; **coeficiente de relação água/líquido ou kd**, quantifica a repartição relativa do composto entre uma fase sólida e líquida, de forma que, quanto maior o coeficiente kd, mais o produto é absorvido na fase sólida; **coeficiente de relação água/octanol ou kow**, determina a hidrofobia de um poluente e por consequência, sua afinidade pela matriz sólida, condicionando os fenômenos de adsorção, migração e biodisponibilidade da substância. Assim, os meios ricos em argilas ou matérias orgânicas vão poder prender os poluentes hidrofóbicos; **velocidade de degradação**: designa a capacidade de um poluente a se transformar mais ou menos rapidamente em sub-produtos mais ou menos móveis;

- **As condições físico-químicas dos meios**: determinam a reatividade dos elementos. O **pH** é um parâmetro determinante de reações químicas, como a hidrólise e a dissolução, envolvendo os poluentes, mas também influenciando os fenômenos físicos, como a sorção e dessorção. Condiciona também a presença e desenvolvimento microbiano e, por consequência, a biodegradação do poluente; **condições de óxido-redução** determinam a característica oxidante ou redutora de um meio, podendo modificar a mobilidade de um elemento ou pela mudança do grau ou do estado de oxidação do elemento se ligando ao mesmo para formar um complexo solúvel, ou enfim, pela dissolução ou formação de fases transportadoras, acolhendo o elemento; a **temperatura** influi nas constantes físico-químicas, dentre elas, a cinética e solubilidade, exercendo também um papel sobre os processos biológicos; as **argilas** apresentam forte capacidade de troca ou captura de íons, ilustrada pela capacidade de troca catiônica, influenciando sobre os fenômenos de sorção dos contaminantes catiônicos (metais pesados); a presença da **matéria orgânica** permite frequentemente a fixação dos elementos metálicos ou poluentes orgânicos;
- **Os micro-organismos e a vegetação**: o solo e as águas reservam micro-organismos diversos, como bactérias, protozoários, fungos e algas. Há entre  $10^6$  a  $10^9$  bactérias por grama de terra seca desempenhando papel importante na transferência dos poluentes e podem agir em favor de uma retenção destes, ou, ao contrário, de uma liberação facilitada. Os micro-organismos tiram sua energia da degradação dos compostos orgânicos e/ou minerais.

Os dois principais modos de emissão dos poluentes às águas, segundo *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005), são a **convecção** ou **difusão convectiva** e a **difusão molecular**. Na convecção, o soluto é transportado através do movimento do fluido em deslocamento, enquanto que a difusão molecular ocorre por efeito de gradiente de concentração e quando há uma continuidade líquida entre os resíduos e o meio, onde a substância migra de um ambiente saturado para outro com baixa concentração.

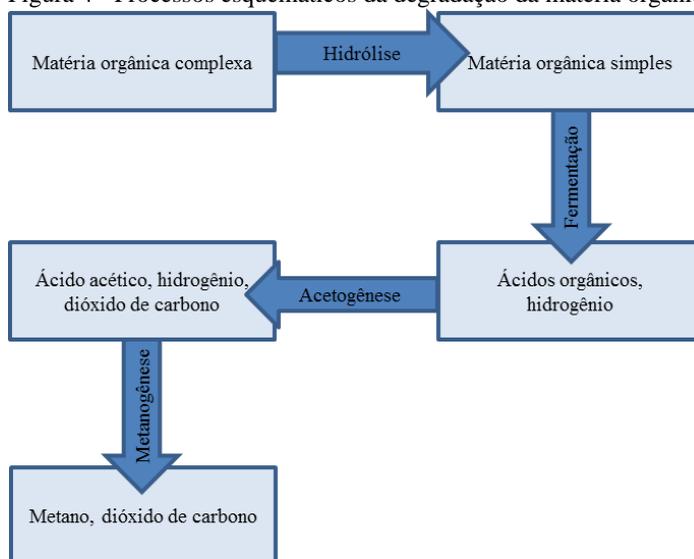
Bisordi *et al.* (2004) destacam que os riscos necessitam ser monitorados durante e após o encerramento do lixão, procurando neutralizar as vias de transmissão com o objetivo de atenuar os riscos, envolvendo serviços de drenagens, compactação, cobertura, impermeabilizações etc.

### **2.1.8 A degradação bioquímica da matéria orgânica**

Castilhos Jr. *et al.* (2002) afirmam que a degradação dos resíduos sólidos pode ser regulada por mecanismos físico-químicos e biológicos. Dos mecanismos físico-químicos há a dissolução de uma substância sólida como sendo um dos principais fenômenos de transferência dos elementos químicos de um mineral para uma solução aquosa. Os mecanismos biológicos são regidos por micro-organismos heterótrofos aeróbios ou anaeróbios que podem provocar efeitos diretos, como gerar produtos solúveis, produtos gasosos e biomassa em excesso e efeitos indiretos, como sobre as condições do meio (pH, óxido-redução, temperatura) e reações químicas e físico-químicas dos produtos com o resíduo ou seus produtos.

As degradações aeróbias e anaeróbias coabitam frequentemente, sendo elas provocadas pelos micro-organismos, geralmente as bactérias, que transformam os compostos orgânicos ou inorgânicos em um conjunto de reações de óxido-redução, desprendendo energia e que, na medida em que vão ocorrendo, as condições vão se tornando progressivamente anaeróbias: a hidrólise, a acidogênese, a acetogênese e a metanogênese (Figura 4). Das reações mais energéticas às menos, se encontram (a pH=7): a respiração aeróbia, a redução dos nitratos, a fermentação, a redução dos sulfatos e, por fim, a metanogênese. As bactérias não degradam todas as mesmas fontes de carbono em função dos mecanismos que elas são capazes de executar. Assim, numerosas bactérias se alimentam de sub-produtos de outras (*AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE*, 2005; *CASTILHOS Jr. et al.*, 2002).

Figura 4 - Processos esquemáticos da degradação da matéria orgânica



Fonte: Adaptado de Castilhos Jr. *et al.* (2002)

Para Pohland e Harper (1985 apud GOMES *et al.*, 2009) a decomposição da matéria orgânica ocorre em 5 fases descritas:

**Fase I:** Devido à disponibilidade de quantidades suficientes de oxigênio nos primeiros dias após o aterramento dos resíduos, há a predominância da degradação aeróbia. Os micro-organismos aeróbios transformam a fração orgânica dos resíduos em hidrocarbonetos, dióxidos de carbonos, água e calor.

**Fase II:** Os micro-organismos presentes são do tipo facultativos. Nesta fase, onde há transição entre processos aeróbios e anaeróbios, os compostos orgânicos complexos como proteínas, lipídeos e hidrocarbonetos são hidrolisados e fermentados para formar dióxido de carbono, hidrogênio e principalmente amônia e ácidos graxos. O pH fica na faixa de 5,5 a 6,5.

**Fase III:** Nesta fase, micro-organismos acetogênicos transformam ácidos orgânicos da fase anterior em ácido acético, dióxido de carbono e hidrogênio.

**Fase IV:** Há grande produção de metano e dióxido de carbono pelas bactérias metanogênicas a partir dos ácidos da fase anterior. Este consumo dos ácidos eleva o pH entre 7 e 8 e alguns metais são removidos por complexação e precipitação. O potencial redox fica bem

baixo e sulfatos e nitratos são reduzidos para sulfitos e nitrogênio gasoso. Esta fase pode durar de seis meses até vários anos após a deposição dos resíduos.

**Fase V:** A diminuição de substratos e nutrientes disponíveis reduz a atividade biológica. Diminui também a carga orgânica do lixiviado e a produção de gases. A degradação de matéria orgânica recalcitrante pode lentamente produzir moléculas de ácidos húmicos.

### 2.1.8.1 Lixiviados

Reichert (2007) define lixiviados como os líquidos provenientes da infiltração da água da chuva e da água contida na forma de umidade dos resíduos contendo uma variedade de elementos e compostos químicos derivados da solubilização dos materiais depositados e dos produtos das reações químicas e bioquímicas que ocorrem.

A geração e a qualidade do lixiviado podem variar de maneira significativa em função de muitos parâmetros tais como o clima (precipitação e sua distribuição no tempo e no espaço, evaporação, insolação, temperatura, etc.); composição dos resíduos; tipo de cobertura: intermediária e final (cobertura vegetal, camada de superfície, espessura, camada de proteção, declividade, drenagem, etc.); densidade dos resíduos; natureza dos resíduos: umidade, o teor de água e compactação ou à capacidade de retenção, etc; escoamento (função da declividade do escoamento e do tipo de superfície); perda de água sob forma de vapor associado ao biogás; variação da acumulação da água e profundidade do local e das camadas de fundo. Assim, nos primeiros anos, o lixiviado contém matéria orgânica facilmente biodegradável, resultando em um pH ácido e demanda bioquímica de oxigênio elevada (DBO<sub>5</sub>) (AINA, 2006; JOSEPH *et al.*, s.d.). Como pode-se ver na Tabela 7, as características dos lixiviados modificam-se de acordo com a idade dos resíduos.

Bisordi *et al.* (2004) ressaltam que é importante estabelecer um sistema de drenagem do lixiviado, não podendo este ficar retido na massa de resíduos sob o risco de causar problemas de ordem operacional e ambiental, desestabilizando taludes e contaminando solo e águas superficiais e subterrâneas respectivamente.

Tabela 7 - Evolução de certos parâmetros dos lixiviados em função da idade dos resíduos

Parâmetro	Idade dos resíduos			
	0-5 anos	5-10 anos	10-20 anos	>20 anos
DBO	10.000 – 25.000	1.000 – 4.000	50 – 1.000	<50
DQO	15.000 – 40.000	10.000 – 20.000	1.000 – 5.000	<1.000
NTK	1.000 – 3.000	400 – 600	75 – 300	<50
NH <sub>4</sub>	500 – 1.500	300 – 500	50 – 200	<30
pH	5 – 6	6 - 7	7 – 7,5	7,5
Ca	2.000 – 4.000	500 – 2.000	300 – 500	<300
K e Na	2.000 – 4.000	500 – 1.500	100 – 500	<100
Mg e Fe	500 – 1.500	500 – 1.500	100 - 500	<100
Zn e Al	100 – 200	50 - 100	10 – 50	<10
Cl	1.000 – 3.000	500 – 2.000	100 – 500	<100
SO <sub>4</sub>	500 – 2.000	200 -1.000	50 – 200	<50
Ptot	100 – 300	10 -100	<10	<10

Fonte: *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie* (2005)

Este lixiviado drenado deve ser tratado, objetivando impedir a percolação deste pelo solo, minimizando sua atuação impactante nas águas subterrâneas e, devendo ser caracterizado e monitorado em termos de seu potencial de se tornar resíduo de classe 1. No entanto, no Brasil observa-se a tendência à utilização de técnicas de tratamento de esgoto no tratamento dos componentes existentes no lixiviado, o que não é adequado (ALBERTE, CARNEIRO E KAN, 2005).

Aina (2006) afirma que antes da escolha e implantação do tratamento é importante realizar testes de tratabilidade do lixiviado, pois o tratamento depende da natureza do lixiviado. Embora seja possível estimar o volume gerado a partir de um balanço hídrico, a composição é difícil de prever.

#### 2.1.8.2 Biogás

O biogás é uma mistura proveniente da matéria orgânica composta essencialmente de metano e de gás carbônico, em quantidade variável em função de fatores diversos, tais como, a natureza e idade dos resíduos, do modo de operação e das condições de oxigenação, umidade, estado físico (tamanho das partículas), pH, temperatura, nutrientes, capacidade-tampão e taxa de degradação.

De acordo com Reichert (2007), o biogás começa a ser produzido em poucos dias após o aterramento dos resíduos, quando se iniciam as transformações biológicas.

Inicialmente as concentrações de metano são em torno de 40% em alguns meses após o aterramento, estabilizando-se em valores em torno de 60 a 65% em cerca de 1 a 2 anos. Há ainda outros compostos orgânicos e inorgânicos e quantidades variáveis de gás carbônico (de 40 a 60%), água, nitrogênio, sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), oxigênio, compostos aromáticos, compostos organo-halogenos (cloro e flúor) e metais pesados, embora os três últimos apresentem-se na forma de compostos traços. Devido a sua composição, o biogás é explosivo e inflamável, podendo ser fonte de riscos e incômodos para o homem e o ambiente, além de possuir certos compostos responsáveis por odores lançados (VILHENA, 2010; *AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE*, 2005; CASTILHOS JR *et al.*, 2002).

Sobre o metano, Castilhos Jr. *et al.* (2002) afirmam que, embora seja um dos gases causadores do efeito estufa, poderia contribuir para diversificar a matriz energética brasileira, uma vez que cerca de 80% do metano produzido é oriundo de atividades humanas. Segundo Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2001a), 8% das emissões mundiais deste gás tem origem nos aterros controlados e lixões. De acordo com a *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005) uma tonelada de resíduos pode produzir até 200 Nm<sup>3</sup> de biogás.

De acordo com Joseph *et al.* (s.d.), o metano gerado vai acumulando pressão e, em seguida, começa a mover-se através do solo, a seguir o caminho da menor resistência. O metano é mais leve que o ar e é altamente inflamável. Conseqüentemente, se entrar um edifício fechado e a concentração for de cerca de 5 a 15% no ar, uma faísca ou uma chama é capaz de provocar uma explosão grave.

Por tais fatos, Bisordi *et al.* (2004) afirmam que se faz necessário drenar os gases. Em áreas comprometidas com resíduos, a drenagem deverá ocorrer em células onde o projeto indicar a presença de bolsões, através de escavações com a máxima profundidade com o objetivo de eliminá-los. Em áreas que ainda não receberam resíduos, o sistema deverá ser executado desde a fundação do aterro atravessando todas as camadas até a superfície superior do maciço.

Reichert (2007) ainda destaca a importância do monitoramento do biogás que pode ser realizada através das concentrações relativas de metano, nitrogênio, gás carbônico e oxigênio indicando, além do

potencial energético do biogás, o estágio de estabilização em que se encontram os resíduos sólidos, ou, em certos casos, a paralisação da metanogênese por algum efeito tóxico.

## 2.2 DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

Segundo Tavares (2008) o conceito de degradação varia em função da atividade em que seus efeitos são gerados, bem como em função do campo do conhecimento humano em que são identificados e avaliados. No entanto, este conceito tem sido geralmente associado aos efeitos ambientais considerados negativos ou adversos e que decorrem principalmente de atividades ou intervenções humanas, raramente sendo aplicado às alterações decorrentes de fenômenos ou processos naturais.

Dentro deste contexto, o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (1990), define que “a degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna forem destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; e a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico forem alterados. A degradação ambiental ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas e é inviabilizado o desenvolvimento socioeconômico”.

Um caso particular de área degradada é uma área contaminada onde ocorrem alterações principalmente das propriedades químicas, ou seja, a contaminação. Nestas áreas há comprovadamente poluição ou contaminação causada por substâncias ou resíduos que tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural. Os poluentes ou contaminantes podem concentrar-se em subsuperfície nos diferentes compartimentos do ambiente, como solo, sedimentos, rochas, materiais utilizados para aterrar os terrenos, águas subterrâneas, além de poderem se concentrar nas paredes, pisos e estruturas de construções, podendo ser transportados a partir desses meios ao ar, ao próprio solo e águas subterrâneas e superficiais, alterando as características naturais de qualidade e determinando impactos negativos e/ou riscos sobre os bens a proteger, localizados na própria área ou em seus arredores (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2001b; 2002)

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (2009) define contaminação como a presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que

restringam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico. De acordo com Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2002):

A área será considerada contaminada, se dentre outras situações, as concentrações de elementos ou substâncias de interesse ambiental estiverem acima de um dado limite denominado valor de intervenção, indicando a existência de um risco potencial de efeito deletério sobre a saúde humana, havendo necessidade de uma ação imediata na área, a qual inclui uma investigação detalhada e a adoção de medidas emergenciais, visando a minimização das vias de exposição como a restrição do acesso de pessoas à área e suspensão do consumo de água subterrânea. (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2002, p. 18)

Há inúmeras formas de contaminação de áreas. Dentre estas formas, pode-se destacar a disposição inadequada de resíduos no solo.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (2009), em sua Resolução N° 420/2009, além de dispor sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas indica diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

As diretrizes apontadas por Conselho Nacional de Meio Ambiente (2009) se baseiam em 3 etapas:

I - Identificação: etapa em que serão identificadas áreas suspeitas de contaminação com base em avaliação preliminar, e, para aquelas em que houver indícios de contaminação, deve ser realizada uma investigação confirmatória, às expensas do responsável, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes.

II - Diagnóstico: etapa que inclui a investigação detalhada e avaliação de risco, às expensas do responsável, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes, com objetivo de subsidiar a etapa de intervenção, após a investigação confirmatória que tenha identificado substâncias químicas em concentrações acima do valor de investigação.

III - Intervenção: etapa de execução de ações de controle para a eliminação do perigo ou redução, a níveis toleráveis, dos riscos

identificados na etapa de diagnóstico, bem como o monitoramento da eficácia das ações executadas, considerando o uso atual e futuro da área, segundo as normas técnicas ou procedimentos vigentes.

Por outro lado, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2001b) define 2 processos que constituem a base do gerenciamento de Áreas Contaminadas, o processo de identificação e processo de recuperação. No **processo de identificação** das áreas contaminadas ocorre a definição da região de interesse; identificação de áreas potencialmente contaminadas, avaliação preliminar e a investigação confirmatória. No **processo de recuperação** de áreas contaminadas ocorre a adoção de medidas possibilitando a recuperação destas áreas para um uso compatível com as metas estabelecidas a serem atingidas após a intervenção, adotando-se dessa forma o princípio da “aptidão para o uso”. Esse processo é constituído por seis etapas: investigação detalhada; avaliação de risco; investigação para remediação; projeto de remediação; remediação; monitoramento.

U.S. *Environmental Protection Agency* (1988) trabalha com metodologia semelhante à proposta pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental ao descrever o processo de investigação corretiva e estudo de viabilidade (RI/FS) como sendo uma metodologia estabelecida pelo programa *Superfund* para caracterizar a natureza e extensão dos riscos decorrentes de locais de disposição não controlada de resíduos perigosos e para a avaliação de potenciais opções de reparação. O objetivo do processo de RI/FS é reunir informações suficientes para justificar uma decisão de gestão do risco informada sobre qual ação de remediação parece ser mais adequada para um determinado local. Os passos do processo de RI/FS envolvem a determinação do escopo, a caracterização do local (análises de campo e laboratoriais), desenvolvimento e seleção de alternativas, análises de tratabilidade (testes de bancada ou escala piloto) e análise detalhada das alternativas, analisando, inicialmente, cada critério de forma individual e, em seguida, comparando uns com os outros para determinar seus respectivos pontos fortes e fracos e identificar as vantagens e desvantagens fundamentais que devem ser equilibradas para o local.

A questão do gerenciamento de áreas contaminadas também foi discutida pela Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (s.d.) através da publicação de um trabalho mais simplificado, que aborda a questão de forma mais acessível e direta. De acordo com tal trabalho, o gerenciamento destas áreas deve ocorrer nas 3 etapas propostas pela Resolução N° 420/2009 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, todavia, acrescida de outra, resultando em: **identificação** das áreas

suspeitas; **diagnóstico**, o que inclui a investigação detalhada e avaliação de risco; **intervenção**, através da execução das ações de controle e **monitoramento**.

## 2.3 RECUPERAÇÃO, REMEDIAÇÃO E REABILITAÇÃO AMBIENTAL

Segundo Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2001a), **recuperação** é o termo usado para designar a recuperação ambiental de áreas contaminadas, visando à remoção ou contenção dos contaminantes presentes, de modo a assegurar uma utilização para a área, com limites aceitáveis de riscos aos bens a proteger. Neste sentido, conforme Brasil (2009) a recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente.

**Reabilitação**, segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (2009), são ações de intervenção realizadas em uma área contaminada visando atingir um risco tolerável, para o uso declarado ou futuro da área, através da aplicação de técnicas, visando a remoção, contenção ou redução das concentrações de contaminantes. No caso de ambientes urbanos degradados, empregam-se os termos requalificação ou revitalização.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (2009) também apresenta o conceito de **remediação** como sendo uma das ações de intervenção para reabilitação de área contaminada, que consiste em aplicação de técnicas, visando a remoção, contenção ou redução das concentrações de contaminantes.

Nesta tese optou-se pela utilização do termo recuperação. Neste sentido, este termo deve ser compreendido como o conjunto de ações de intervenções capazes de reduzir os riscos ao ambiente e à saúde pública.

### 2.3.1 Fechamento e recuperação de lixões

Bahia (2013) traz o conceito de recuperação de lixão como sendo o conjunto de procedimentos, serviços e obras necessário para a redução ao mínimo possível, do ponto de vista técnico e viável financeiramente (recursos disponíveis), do potencial de comprometimento ambiental de um lixão. Nos procedimentos deverão ser considerados: o volume aparente e tipo de resíduos predominantes dispostos, bem como a maior ou menor fragilidade dos contextos ambientais em que esteja inserida a

área degradada. Também estão inclusos os procedimentos e programas sociais necessários para a inserção de catadores de materiais recicláveis, eventualmente atuantes na área degradada em ações formais de coleta seletiva e recuperação de resíduos recicláveis no mesmo município.

De acordo com Vilhena (2010), os locais de disposição de resíduos que necessitam ser encerrados, deverão ser tratados de maneira a minimizar eventuais impactos sanitários e ambientais a partir de ações definidas para o término da operação e, caso necessário, a recuperação do local. Deve-se estabelecer prioridades para ações que demandem menores investimentos e prazos.

Pessin, Silva e Panarotto (2002) afirmam que os projetos de recuperação de lixões objetivam corrigir ou mitigar impactos ambientais após sua identificação e diagnóstico, sendo que as medidas corretivas e mitigadoras devem ser formuladas a partir da caracterização detalhada do problema e do estabelecimento dos padrões de qualidade ambiental a serem atingidos.

Segundo *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005), o processo de recuperação de um lixão se articula em 3 tempos: etapas prévias; etapas do trabalho e etapas posteriores, sendo importante destacar que antes de lançar um programa de recuperação de lixão deve-se primeiro: assegurar-se que o mesmo está fechado, de maneira a estar em conformidade com a lei; empenhar uma discussão sobre a conversão do local após a recuperação. Por outro lado, Vilhena (2010) aponta que as ações mitigadoras a implementar e, conseqüentemente, o tempo necessário para a completa inertização dos resíduos aterrados, são variáveis de acordo com os recursos disponíveis e concepção adotada.

Ainda sobre o processo de recuperação de lixões, Joseph *et al.* (2004) afirmam que as medidas a serem tomadas podem variar dependendo das circunstâncias locais, porém, o primeiro passo no planejamento de um projeto de recuperação deve envolver o levantamento de informações específicas, tais como sua história de funcionamento, tipos de resíduos presentes, dimensões, topografia e características físicas. De acordo com Alberte, Carneiro e Kan (2005), nesta etapa busca-se avaliar as condições de comprometimento ambiental do local, através da realização de análises de águas superficiais e subterrâneas, além de sondagens para reconhecimento do estágio de decomposição dos resíduos e das condições de estabilidade e permeabilidade do solo, a fim de determinar as vias potenciais de transporte de contaminantes e os riscos ambientais à população e à ecologia.

Alberte, Carneiro e Kan (2005) afirmam que a segunda etapa consiste na seleção de atividades remediadoras, objetivando a redução da mobilidade, toxicidade e volume dos contaminantes e estabilização do solo, através de ações de tratamento primário ou físico da área (aplicação de controles físicos que não alteram as características químicas e biológicas dos resíduos e dos contaminantes), tratamento secundário (aplicação de processos bio-físico-químicos para a redução de volume, toxicidade e mobilidade dos contaminantes dos resíduos) e terciário (envolvendo atividades direcionadas ao tratamento de cada tipo de resíduo - sólido, líquido e gasoso).

Para evitar o perigo de migração dos contaminantes diversos em decorrência das alterações do aterro provocadas pela remoção do material, Vilhena (2010) enfatiza que esta alternativa deverá ser avaliada com cuidado.

Portanto, várias técnicas podem ser empregadas na desativação, adequação e recuperação de áreas degradadas pela disposição de resíduos sólidos urbanos, podendo, a recuperação ser executada *in situ*, implementando-se medidas mitigadoras no próprio local da disposição inadequada, ou *ex situ*, removendo-se os resíduos para serem tratados ou dispostos em outra área. Para os autores, no Brasil, por limitações econômicas e tecnológicas, a recuperação *in situ* é a mais utilizada e geralmente é conduzida de maneira que a área possa continuar recebendo resíduos, porém de forma controlada e segura (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2010; Pessin, Silva e Panarotto, 2002).

A melhor técnica, de acordo com Fundação Estadual de Meio Ambiente (2010) deverá estar pautada em estudo prévio detalhado do local, avaliando as condições físicas e o comprometimento ambiental da área, contemplando, no mínimo, a realização de levantamento planialtimétrico do terreno, estudos de sondagem e caracterização geotécnica, análises das águas superficiais e subterrâneas, entre outros, além de também se levar em conta o tempo e os recursos técnicos e econômicos necessários.

Para Alberte, Carneiro e Kan (2005) após o processo de recuperação, deve-se proceder ao monitoramento ambiental que é fundamental na avaliação da eficiência das ações anteriores e no controle do processo de recuperação final da área. O monitoramento avalia a influência do lixão sobre o ambiente e, sobretudo, afere a eficiência do plano de recuperação nos três meios afetados pelos impactos decorrentes. De acordo com Pessin, Silva e Panarotto (2002), o plano de monitoramento de obras de recuperação desenvolve-se de

forma análoga ao plano de monitoramento de aterros sanitários. Monitoram-se as qualidades das águas do subsolo e superficiais, bem como a intensidade e a qualidade das emissões líquidas e gasosas, podendo ser exigido também o monitoramento da qualidade do solo local, dependendo da natureza e da concentração dos poluentes encontrados na área.

### 2.3.1.1 Critérios a serem observados na recuperação de lixões

Para Vilhena (2010), na definição e projeto de recuperação, devem-se escolher as diversas concepções levando-se em conta a expectativa de tempo requerida para o encerramento da geração de biogás e lixiviados, término das movimentações horizontais e verticais da massa de resíduos e início da utilização pós-estabilização projetada para o local.

De acordo com Joseph *et al.* (2004), deve-se decidir se o local estudado deve ser fechado, remediado ou reabilitado. Para tanto, os riscos ambientais devem ser avaliados, o que envolve investigações técnicas e avaliações de impacto ambiental (AIA), incluindo consultas com as partes interessadas e afetadas, especificamente nas comunidades adjacentes. As investigações técnicas avaliam a localização do lixão e identificam eventuais falhas, por exemplo, locais situados em planícies inundáveis, curso d'água ou águas subterrâneas, ou locais que afetam significativamente o meio ambiente, além da integridade e eficácia do projeto do aterro e da necessidade de projeto de reparação e funcionamento em termos de normas e restrições. De acordo com as condições hidrogeológicas locais, faz-se necessário o rebaixamento do lençol freático, mantendo-se os resíduos fora de sua área de influência.

Alberte, Carneiro e Kan (2005) pontuam que na recuperação de aterros que objetivam o encerramento, é necessária a conformação da superfície final e dos taludes. Estes devem possuir uma inclinação máxima de 33% e ser cobertos em toda sua extensão por vegetação pioneira imediatamente após sua construção, cujo objetivo é minimizar a erosão com o rápido estabelecimento das raízes. Após o estabelecimento da vegetação pioneira, as demais passam a requerer cada vez menos manutenção e demanda hídrica. Ressalta-se, ainda, que o ambiente em questão é inadequado para boa parte da vegetação, sobretudo às espécies de raízes profundas.

### 2.3.1.2 Técnicas de desativação de lixões

#### ➤ Remoção de resíduos

De acordo com Fundação Estadual de Meio Ambiente (2010) esta técnica apenas é viável quando a quantidade de resíduos existente no local é pequena, pois envolve a remoção e o transporte dos resíduos para um aterro sanitário, além de custos elevados e dificuldades operacionais, que podem inviabilizar economicamente o processo. Paralelo à remoção deverá ser realizada uma avaliação da contaminação do solo e da água subterrânea na área degradada. Caso não se constate a ocorrência de contaminação da área, deve-se proceder à recuperação com solo natural e revegetação com espécies da região. Caso se apresente indícios de contaminação, o órgão ambiental estadual deverá ser avisado.

Para *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005) esta técnica se justifica em raros casos de necessidade de liberação de área ou limitação da influência desta devido à forte pressão fundiária existente no local. Fundação Estadual de Meio Ambiente (2010) também indica que a remoção dos resíduos é altamente recomendável quando o lixão estiver localizado em área de risco geológico ou geotécnico, significando perigo para a população e o meio ambiente através de escorregamento do depósito sobre residências localizadas em encostas íngremes; assoreamento de nascentes; possibilidade de ruptura do maciço devido ao empilhamento de resíduos em pequenas áreas, com grande altura e inclinação.

Associado à remoção dos resíduos, pode proceder-se também a técnica conhecida como *landfill mining*. Tal técnica, para Joseph *et al* (2004), envolve a escavação, triagem e separação de materiais de aterros em vários componentes, com o objetivo de reduzir o volume através da separação de materiais em recicláveis, reusáveis e combustíveis, reduzindo custos do encerramento e pós-encerramento através da exclusão completa ou parcial do aterro; criando capacidade para a disposição de novos resíduos e reduzindo impactos ambientais.

#### ➤ Recuperação simples

De acordo com a Fundação Estadual de Meio Ambiente (2010) algumas circunstâncias culminam para a escolha desta técnica, sendo elas: a inviabilidade de remoção dos resíduos dispostos no local, devido à quantidade e dificuldades operacionais; a extensão da área ocupada

pelos resíduos não deve ser muito grande e a técnica deve ser aplicada quando o local não puder ser recuperado como aterro sanitário.

Todavia, a Fundação Estadual de Meio Ambiente (2010) afirma que algumas situações devem ser atendidas ao se escolher esta técnica, tais como: o maciço de resíduos deve possuir pequena altura e taludes estáveis, sendo capeado com solo, sem manejo de resíduos; o depósito não deve estar em áreas de formação cárstica, ou outra formação geológica propícia a formação de cavernas, nem em áreas com valor histórico ou cultural, como os sítios arqueológicos, nem em áreas de preservação permanente, de proteção ambiental e reservas biológicas, ou ainda, em áreas com menos de 200 metros de distância de corpos hídricos utilizados para irrigação de hortaliças e consumo humano; deve haver disponibilidade de solo apropriado para o encapsulamento de resíduos a menos de 1,5 km do local; não ter ocorrido comprometimento das águas subterrâneas, constatado em análises químicas e biológicas; cessão, à prefeitura, da área de empréstimo, mediante comprovação de capacidade e qualidade, em condições financeiras notoriamente vantajosas; os catadores de materiais recicláveis do município devem estar em processo formal de organização.

Após estas condicionantes estarem obedecidas, Fundação Estadual de Meio Ambiente (2010) aponta a necessidade da realização das seguintes atividades:

- avaliação da extensão da área ocupada pelos resíduos;
- delimitação da área com cerca de isolamento e portão;
- identificação do local com placas de advertência;
- arrumação dos resíduos em valas escavadas ou reconformação geométrica dos taludes com a menor movimentação possível destes;
- conformação do platô superior com declividade mínima de 2% na direção das bordas ou, no caso de valas, o nivelamento final deverá ser feito de forma abaulada;
- recobrimento do maciço de resíduos com uma camada mínima de 50 cm de argila de boa qualidade, inclusive nos taludes laterais. Deve ser avaliada a necessidade da utilização de membrana sintética antes da camada de argila para se atingir condições de impermeabilidade.
- execução de canaletas de drenagem pluvial a montante do maciço para desvio das águas de chuva;
- execução de drenos verticais de gás;
- lançamento de uma camada de terra vegetal ou composto orgânico para possibilitar o plantio de espécies nativas de raízes curtas;
- registro no cadastro da Prefeitura da restrição de uso futuro da área.

A Fundação Estadual de Meio Ambiente (2010) ainda cita que como vantagens da técnica, há a simplicidade dos equipamentos exigidos, como trator de esteiras de qualquer porte, dispensando a aquisição de novos equipamentos.

➤ Recuperação parcial

FEAM (2010) afirma que a recuperação parcial deverá ser usada quando a situação do lixão não se enquadrar na recuperação simples devido às restrições observadas durante os estudos prévios de avaliação da área, o que inclui a avaliação da água subterrânea quanto à contaminação. Assim, as medidas cabíveis devem ser tomadas caso haja constatação de contaminação da área. Caso contrário, deve-se implementar um Programa de Monitoramento da água subterrânea.

Ainda, para a Fundação acima, a recuperação parcial de um lixão deve ser objeto de projeto que contemple, minimamente, as seguintes medidas:

- reconformação geométrica baseada em avaliação geotécnica para garantir a estabilidade dos taludes e capeamento do lixão com selo impermeável de material argiloso ou material sintético como geomembrana de polietileno de alta densidade – PEAD, se não houver disponibilidade local de argila de boa qualidade;
- conformação do platô superior com declividade mínima de 2%, na direção das bordas;
- controle da emissão e tratamento de lixiviados;
- coleta e desvio das águas superficiais;
- controle da emissão e queima de gases;
- isolamento da área;
- controle de recalques;
- controle da qualidade do ar;
- controle da qualidade das águas superficiais e subterrâneas da área, por meio de poços de monitoramento;
- implantação de cobertura vegetal com gramíneas nos maciços de resíduos encerrados.

Bisordi *et al.* (2004) ressaltam a necessidade de impermeabilização da superfície superior dos lixões a serem recuperados para evitar a entrada de águas pluviais, reduzindo, por consequência, a geração de lixiviados.

### 2.3.1.3 Conversão em aterro sanitário

Para a Fundação Estadual de Meio Ambiente (2010), a recuperação como aterro sanitário construído em área adjacente pode ser uma alternativa viável se a área atende os requisitos mínimos estabelecidos na NBR 13896/1997 da ABNT e as dimensões e características do terreno possibilitam a sua utilização adicional por um período superior a 15 anos. Porém, o aterro sanitário pode ter um projeto especial, com uma geometria que disponibilize uma maior capacidade de acumulação de resíduos que o necessário, de forma a propiciar, nos intervalos de ociosidade dos equipamentos, a remoção dos resíduos do lixão, com a transferência destes para o aterro sanitário, já devidamente preparado e em melhores condições sanitárias e ambientais. Esse tipo de intervenção favoreceria a intensificação dos controles ambientais ou monitoramentos, além de recomendar que a elaboração dos projetos e estudos ambientais seja pautada na legislação ambiental e nas normas técnicas da ABNT pertinentes, notadamente a NBR 13896/1997 e a NBR 8419/1992. Para os aterros sanitários de pequeno porte, recomenda-se observar a NBR 15849/2010 da ABNT.

Vilhena (2010) indica a necessidade de projeto técnico cujo objetivo é orientar as providências a serem tomadas após o diagnóstico local e identificação dos problemas detectados. Também se faz necessárias, de acordo com Bisordi *et al.* (2004), medidas mitigatórias que são dimensionadas na fase de elaboração dos estudos ambientais sendo aplicadas ao longo da vida operacional do aterro. Uma medida de mitigação muito empregada na atenuação dos impactos causados por lixões são as criações de cinturões verdes no entorno da área impactada formando barreiras vegetais para reter o material particulado proveniente da operação e barrar a dispersão dos gases para fora da área do aterro sanitário.

Para iniciar o processo de transformação de lixão em aterro sanitário, faz-se necessário o levantamento morfológico atualizado das condições do local, cadastrando os elementos importantes para a elaboração do projeto de caracterização da área, destacando cursos d'água, pontos de artesianismos de chorume e combustão, poços de abastecimentos no entorno, etc. Este levantamento mostra em planta a situação atual do relevo do maciço, área total da mancha de resíduos, bem como, todas as interferências locais e do entorno através de curvas de nível de metro em metro em escala compatível. Este estudo é condição básica para fundamentar os demais serviços a serem desenvolvidos para a efetivação do projeto de caracterização da área,

principalmente tratando-se da amarração dos furos de sondagens mecânicas, geofísica, reconfiguração da geometria final do maciço, drenagens, projeto final, etc (BISORDI *et al.*, 2004). O Quadro 3 sintetiza as atividades que podem ser utilizadas para a conversão de um lixão em aterro sanitário.

Quadro 3 - Atividades para a adequação da área

Tipo de problema	Ações
Problemas sanitários: esse fator é o primeiro a ser considerado a fim de evitar, sobretudo, problemas ligados à saúde pública	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimentação e conformação da massa de resíduos;</li> <li>• Eliminação do fogo e fumaça obtida devido à cobertura do lixo;</li> <li>• Delimitação da área de operação;</li> <li>• Limpeza da área de domínio, como consequência da necessidade de delimitação da área.</li> </ul>
Problemas ambientais: afetam indiretamente a saúde pública	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drenagem das águas pluviais e interdição do contato das águas superficiais com o percolado;</li> <li>• Drenagem e tratamento do biogás e do percolado da massa de resíduos;</li> <li>• Arborização em torno da área (cinturão verde);</li> <li>• Cuidados para evitar a contaminação das águas subterrâneas pela instalação de camada impermeabilizante nas novas fases do aterro.</li> </ul>
Problemas operacionais: relacionam-se diretamente ao manejo de resíduos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamento das áreas que receberam anteriormente os resíduos, concomitantemente ao planejamento das vias internas de acesso, a fim de possibilitar o trânsito de veículo sob quaisquer condições de tempo.</li> <li>• Cobertura diária dos resíduos;</li> <li>• Definição do método de manejo em função da área, dos equipamentos disponíveis e do volume diário de resíduos a ser manejado;</li> <li>• Instalação de balança rodoviária na entrada do aterro;</li> <li>• Inspeção e determinação da composição física dos resíduos que entram a fim de evitar incompatibilidade com o tipo de aterro;</li> <li>• Cobertura final;</li> <li>• Monitorização geotécnica e ambiental;</li> <li>• Manutenção das estruturas do aterro de resíduos e projeto paisagístico e de uso futuro da área;</li> <li>• Cobertura definitiva adequada ao uso futuro da área.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Vilhena (2010)

### 2.3.1.4 Usos futuros de áreas recuperadas

A proposta para o uso futuro de áreas recuperadas deve considerar que os resíduos que permanecem enterrados continuam em decomposição, por períodos relativamente longos, podendo ser superiores a 10 anos, o que implica em continuidade de utilização dos sistemas de drenagem superficial das águas pluviais, tratamento dos gases, coleta e tratamento dos lixiviados e monitoramento da qualidade do solo e água subterrânea. Em função dos possíveis problemas relacionados à baixa capacidade de suporte do terreno e à possibilidade de infiltração de gases com alto poder combustível e explosivo, desaconselha-se a implantação de edificações, a menos que estudos geotécnicos e resultados de monitoramento de gases demonstrem a possibilidade de ocupação do terreno, havendo projetos especializados para contemplar a necessidade de segurança, estrutural e ambiental. Todavia, a construção de pequenas edificações pode ser viável desde que projetados com boa ventilação, a fim de evitar acúmulo de biogás na base e em seu interior, além de possuir fundações adequadas que resistam a possíveis recalques (FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2010).

Alberte, Carneiro e Kan (2005) afirmam que para uso futuro, indica-se a implantação de áreas verdes, com equipamentos comunitários como praças esportivas, campos de futebol e áreas de convívio, quando o aterro estiver localizado em áreas urbanizadas, sempre considerando sua integração com a área de seu entorno e as necessidades locais. Portanto, a requalificação da área deve contar com a participação efetiva da comunidade local e da administração pública através da liderança política e financeira nas ações de assistência às populações carentes, na construção de galpões e formação de associações e cooperativas de catadores, inclusive com cursos contínuos de educação ambiental.

## 2.4 APOIO À DECISÃO

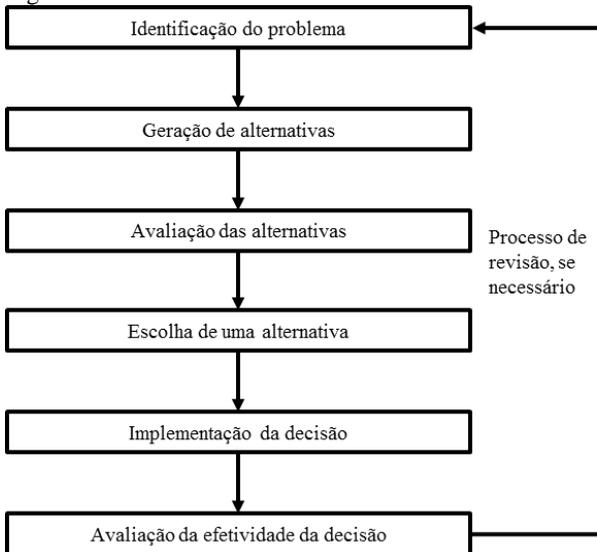
A tomada de decisão é uma constante nas atividades cotidianas e exercemos com diferentes graus de complexidade e em diversos níveis, como o individual, o organizacional e o interorganizacional. Muitas vezes, demanda de opinião, ajuda ou suporte de amigos, peritos, conselhos, etc. (BOUYSSOU *et al.*, 2006).

Para Churchill (1990 apud ENSSLIN, MONTIBELLER NETO e NORONHA, 2001) a tomada de decisão envolve situações complexas

devido às incertezas sobre o caminho a seguir, os objetivos a serem alcançados, as diferentes alternativas de solução, grupos de pessoas envolvidas e/ou atingidas pela decisão; conflitos de valores e objetivos entre os interessados; diferentes relações de poder entre os grupos de interesse envolvidos; necessidade de se levar em conta múltiplos critérios na avaliação das alternativas; grande quantidade de informações quantitativas e qualitativas que devem ser consideradas e a exigência por soluções criativas e/ou inéditas. Assim, mesmo que uma situação se repita, o processo decisório será diferente.

Há diferenças entre tomada de decisão e apoio à decisão. A primeira se processa pelo método racionalista (Figura 5), onde os problemas são enquadrados em categorias para serem resolvidos por meio de procedimentos padrões, buscando solução ótima através da exclusão da subjetividade dos envolvidos no processo decisório. Além disso, não lida com situações complexas, mas problemas bem definidos. Este processo é uma sequência lógica de atividades iterativas que se iniciam pela identificação do problema e terminando com a avaliação da alternativa escolhida (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO e NORONHA, 2001; LUNENBERG, 2010).

Figura 5 - Processo de tomada de decisão



Fonte: Adaptado de Lunenberg (2010)

Por outro lado, Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001) apontam que o apoio à decisão está baseado no paradigma construtivista, onde situações complexas incorporam aspectos subjetivos explicitados, considerando fatores quantitativos e qualitativos. No apoio à decisão existe a possibilidade de análise das alternativas disponíveis pelos envolvidos, que devem estar apoiados no processo, via procedimentos formais. Ao final do processo geram-se recomendações que buscam atender valores e interesses dos envolvidos, a fim de compreender melhor a situação decisória.

Neste sentido, o “apoio à decisão” é a atividade de quem, se apoiando sobre modelos claramente explícitos embora não necessariamente formalizados por completo, ajuda a obter os elementos de resposta às questões que são colocadas pelo orador durante o processo de decisão. Elementos, este, que contribuem para esclarecer a decisão e normalmente a recomendar, ou simplesmente a favorecer um comportamento suscetível de aumentar a coerência entre a evolução do processo, por um lado, os objetivos e o sistema de valores a serviço deste orador que está colocado do outro lado (MAYSTRE, PICTET E SIMOS, 1994).

Ensslin, Montibeller Neto e Noronha (2001) denominam metodologia multicriterial de apoio à decisão (MCDA) a metodologia que considera mais de um aspecto e, portanto, avalia as ações segundo um conjunto de critérios. Cada critério é uma função matemática que mede a performance das ações potenciais com relação a um determinado aspecto. Os critérios são a expressão qualitativa ou quantitativa de pontos de vista, objetivos, aptidões ou entraves relativos ao contexto real, permitindo o julgamento das pessoas, dos objetos ou dos acontecimentos. A MCDA tem como propósito avaliar desempenho, sendo capaz de se adequar a qualquer contexto complexo, se apresentando como uma alternativa aos métodos de otimização clássicos baseados na definição de uma função única (PETRI, 2005; NAFI e WEREY, s.d.).

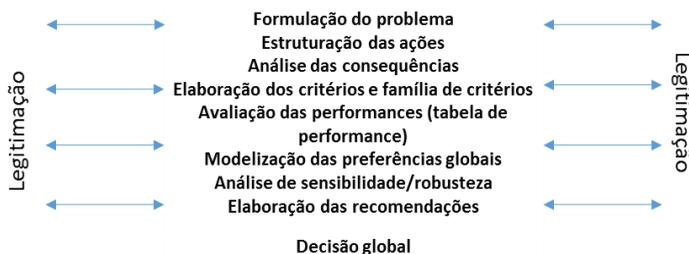
Maystre, Pictet e Simos (1994) afirmam que antes do aparecimento da análise multicritério, os problemas de decisão tinham apenas a abordagem do critério econômico, o que nem sempre representava bem a realidade, pois raramente a comparação das diversas ações e preferências seguindo apenas um critério são modelizáveis. Assim, todo método de análise multicritério tem como principal característica formalizar ou modelizar a preparação da decisão, apresentando duas vantagens decisivas: melhorar a transparência do

processo de decisão e definir, precisar e colocar em evidência a responsabilidade do decisor.

Rousseaux (2015) apresenta alguns atores que podem influenciar, de forma mais próxima ou mais distante, a tomada de decisão. O decisor é a pessoa à quem se destina o apoio à decisão. É ele que aprecia as possibilidades, fixa os objetivos, exprime as preferências que devem prevalecer na evolução do processo, podendo ser o próprio requerente ou outra pessoa. O homem do estudo é quem suporta o apoio à decisão, pois seu papel consiste, entre outros, a explicar o modelo, a explorar em vista dos elementos de resposta, a esclarecer o decisor sobre as consequências de tal ou tal comportamento tornando-os inteligíveis e eventualmente recomendando apenas uma ou uma série de ações ou, ainda, uma metodologia. Os atuantes são os atores que sofrem as consequências da decisão.

O processo de decisão apresenta várias etapas (Figura 6), conforme Nafi e Wery (s.d.). A etapa de **formulação do problema** requer uma compreensão da situação estudada, do contexto e dos atores implicados na tomada de decisão. A interação com os diferentes atores permite compreender o processo de decisão, os objetivos, o objeto da decisão e a natureza da decisão a tomar. Ou seja, é a definição da natureza do problema formulando uma problemática de seleção, triagem ou classificação.

Figura 6 - Etapas do processo de apoio à decisão



Fonte : Adaptado de Rousseaux (2015).

Para Bouyssou *et al.* (2006), a representação da situação problemática é um esforço para dar as respostas às questões do tipo: Quem tem um problema? Por que é um problema? Quem decide sobre este problema? Qual é a implicação do cliente sobre este problema?

Quem vai pagar as consequências de uma decisão? A situação da problemática pode ser representada por um trio que engloba o conjunto dos participantes do processo de decisão, o conjunto das questões que os participantes trazem para o processo de decisão e o conjunto dos compromissos que os participantes assumem sobre suas questões e as questões dos outros.

Roy (1985) afirma que há 4 problemáticas relativas ao apoio à decisão. A primeira é a **problemática da escolha ( $\alpha$ )** onde se ajuda a escolher uma “melhor ação” ou a elaborar um procedimento de seleção, justificando a “não escolha” do maior número possível de ações para possibilitar a escolha da melhor ação.

A segunda é a **problemática da triagem ( $\beta$ )** que ajudar a triar as ações de acordo com as normas ou a elaborar um procedimento de atribuição.

A terceira é a **problemática do arranjo ( $\gamma$ )** que consiste em colocar o problema em termos do arranjo das ações de “A”. Adotar esta problemática é buscar tirar partido do máximo de informações permitindo comparar entre elas os elementos de “A” para descobrir, decidir e finalmente arranjar em classes sucessivas as ações de um subconjunto A’ de “A”.

E por fim, a quarta problemática que é a da **descrição ( $\delta$ )** que ajuda a descrever as ações e/ou suas consequências de maneira sistemática e formalizada ou a elaborar um procedimento cognitivo. Ou seja, se refere mais a formular um problema do que resolvê-lo, orientando a investigação, colocando em evidência informações relativas às ações potenciais construídas em vista a ajudar diretamente o decisor a descobri-las, compreendê-las e julgá-las.

Segundo Nafi e Wery (s.d.), a determinação do objeto da decisão consiste em identificar o conjunto das ações ou alternativas sobre as quais vai ocorrer a decisão. De acordo com Rousseaux (2015), esta etapa, chamada de **formulação ou estruturação das ações**, consiste em formular as diferentes ações ou soluções para resolver o problema. A formulação do problema pode ser devido aos estudos realizados previamente ou ser uma questão da exigência dos atores presentes, em função dos valores e objetivos de cada ator.

Este autor ainda descreve a próxima etapa deste processo que é a etapa de **formulação das consequências das ações e construção de uma família de critérios**. Segundo o autor, para essa etapa podem ser adotados diversos tipos de procedimentos: 1. Sequencial, onde um primeiro estudo (ex. técnico-econômico) define as características principais do estudo e um segundo (ex. ambiental) vem em seguida para

“arredondar os ângulos”; 2. Paralelo, onde os estudos acima mencionados são executados em conjunto com pontos de contato para verificar sua coerência; 3. Integrado, onde os diferentes componentes do estudo são tratados juntos, mesmo se cada componente é objeto de um documento correspondente às exigências específicas. As consequências são os efeitos observados ou observáveis da implantação de uma das ações selecionadas e muitas vezes é o estudo dessas consequências que levantam questões e permite que os atores gerem seus critérios.

A cada critério é associado uma escala, em valores cardinais ou ordinais, devendo, no entanto, representar a mesma coisa para todos os atores. Assim, para selecionar um critério, é necessário um consenso sobre a significação do critério para que em seguida, a escala de valor selecionada para a avaliação das ações seja a mesma para todos. Desta forma, o critério identifica e mensura as consequências das ações sobre as quais vai repousar a decisão (ROY, 1985; ROUSSEAU, 2015; NAFI e WEREY, s.d.).

A construção dos critérios, de acordo com Nafi e Wery (s.d.) é uma etapa delicada que necessita uma compreensão do problema posto e uma interação com os atores envolvidos na tomada de decisão, identificando os objetivos, a natureza das consequências possíveis sobre o objeto da decisão, ou seja, as ações consideradas. A definição dos critérios necessita uma posterior avaliação da contribuição e influência de cada um dentro da decisão final (ponderação) e que se traduz por pesos que são definidos pelos atores envolvidos ou através de um processo interativo com as partes consideradas. Os critérios usados para julgar qual ação é preferida devem apresentar as seguintes condições:

- Apoio à decisão deve permitir julgar o interesse econômico das diferentes ações entre elas, se traduzindo na construção de uma família de critérios que possam representar, de uma forma mais próxima possível, os custos e as vantagens das ações.
- Os critérios devem ser de uma parte, suficientemente numerosos e precisos para bem discriminar entre eles as diferentes ações; de outra parte, não serem redundantes para evitar aumentar a importância atribuída a uma dimensão de análise.
- Os critérios podem ser de natureza diferente (famílias de critérios): econômicos, sociais, ambientais, técnicos.

Para uma família de critério: a escala de preferência de cada critério deve ser objeto de um consenso máximo; cada critério deve

repousar sobre um eixo de significação familiar sobre o qual todas as ações podem ser comparadas; a família de critério deve ser exaustiva, coerente e não redundante. Por exaustividade, entende-se que todos os critérios possíveis devem ser levados em consideração. Por coesão, entende-se que se há duas ações equivalentes, apenas uma delas deve permanecer (ou duas, se unidas). Por não redundância, entende-se que não pode haver redundância de critérios (ROUSSEAUX, 2015).

A próxima etapa citada por Rousseaux (2015) é a **construção da matriz de avaliação ou matriz de performances**. Nesta matriz, cada critério recebe um peso e limiares de acordo com as necessidades, desta forma, as ações podem ser comparadas. Quanto mais a estruturação do modelo de apoio à decisão (ações, critérios) é aceita e compreensível por todos, mais ele será operacional, portanto, o essencial do processo de apoio à decisão reside, em grande parte, dentro deste trabalho de estruturação.

A seguir há a etapa de **modelização das preferências globais** (ou agregação dos critérios) representada pela escolha de um método de apoio à decisão. Bouyssou *et al.* (2006) destacam a existência de diversas abordagens de apoio à decisão (modelização das preferências) e afirmam que a passagem de uma situação problemática a um modelo de apoio à decisão e as ações possíveis que este modelo implica demanda a utilização de um “modelo de racionalidade”.

Segundo Rousseaux (2015), o resultado do processo de apoio à decisão é uma seleção de soluções admissíveis por todos ou uma classificação das ações entre elas ou uma triagem em categorias segundo as normas pré-estabelecidas.

#### **2.4.1 Metodologias de apoio à decisão voltadas à recuperação de área degradadas**

Pelo exposto, é possível perceber que apontar ações para a recuperação de áreas degradadas por resíduos sólidos é um problema que envolve a metodologia multicriterial de apoio à decisão.

Como exemplo de tal utilização, o *Brookhaven National Laboratory*, desenvolveu, através do *Environmental Sciences Department*, em 2002 um documento intitulado *Evaluating Environmental Decision Support Tools* (Avaliação de ferramentas para apoio à decisão ambiental). O trabalho objetivou desenvolver uma taxonomia das ferramentas de apoio à decisão para fornecer um quadro para a compreensão das diferentes ferramentas e projetá-las para a resolução de problemas de recuperação ambiental, além de rever as

ferramentas existentes nas áreas selecionadas e desenvolver uma matriz de análise para cada programa produzido. Desta forma, o documento detalha as etapas a serem percorridas durante o processo de desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à decisão, o que foi de grande importância na compreensão da metodologia a ser desenvolvida.

Outro exemplo de trabalho que utiliza a MCDA como ferramenta para a recuperação de lixões foi desenvolvido pela *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005), e é representado por um sistema de apoio à decisão que permite a análise e definição de problemas a resolver, hierarquizar as prioridades, escolher e executar as soluções melhores adaptadas às especificidades locais, adequando, da melhor forma, impactos/trabalho/relocação do local e otimização de custos. Este material foi desenvolvido a partir das condições das disposições irregulares de resíduos sólidos que necessitavam de recuperação na França. Tal sistema apresenta uma ferramenta para diagnóstico aprofundado da área a recuperar representado por um questionário que agrupa os critérios a serem investigados em 8 categorias: substrato geológico, águas subterrâneas, águas superficiais, habitação, impacto visual, tamanho e idade da disposição e composição dos resíduos.

Cada um dos critérios é avaliado por ponderação dos diferentes parâmetros físicos ou ambientais, com valores entre 1 e 5, em função da incidência observada sobre o critério em questão. O resultado desta análise é uma avaliação qualitativa dos quatro tipos de impactos potenciais sobre os respectivos meios (águas subterrâneas, águas superficiais, proximidade de habitações e paisagem/visual). A partir destas informações, calcula-se o impacto global da disposição que pode ser fraca, média ou forte. Este material apresenta em anexo um programa para a avaliação de cenários de recuperação e análise econômica.

Um terceiro exemplo é o relatório desenvolvido pela *Air Force Center for Environmental Excellence Technology Transfer Division* (1999), uma agência americana, que traça o processo de decisão para a recuperação de lixões através da utilização de fluxogramas, descrições textuais do processo e notas explicativas que acompanham os fluxogramas. O relatório ainda identifica os requisitos do processo e as oportunidades para a seleção de soluções alternativas de baixo custo com base em fatores específicos do local, requisitos regulamentares e de orientação atual. O processo depende de fatores específicos do local que incluem o tipo de resíduo disposto, sua quantidade e idade; as condições climáticas; a história da disposição e as características geológicas; o uso

das águas subterrâneas e superficiais locais e os requisitos regulamentares.

O que se percebe é que as diferentes metodologias para apoio à decisão em reabilitação/recuperação/remediação de lixo trabalham com a necessidade da execução do diagnóstico da área a ser reabilitada, investigando, para tal, diversos meios, como o solo, as águas superficiais e subterrâneas, o ar, a população e o meio do entorno, além das questões relativas aos próprios resíduos dispostos na área. Ainda, as metodologias trabalham com a realização de uma avaliação de risco da área para, após, procederem à escolha das alternativas de recuperação mais adequadas a cada situação. É seguindo esta linha de trabalho que se desenvolveu a metodologia desta pesquisa.

## 2.5 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

Querini (2012) define Análise do Ciclo de Vida (ACV) como uma abordagem voluntária visando quantificar os impactos ambientais de um produto ou de um sistema em todo ciclo de vida, possuindo duas características próprias em relação às outras ferramentas de avaliação ambiental: estudo sobre o ciclo de vida completo do produto ou do processo e a tradução das emissões e fluxo de matérias em indicadores ambientais cobrindo um campo exaustivo de impactos.

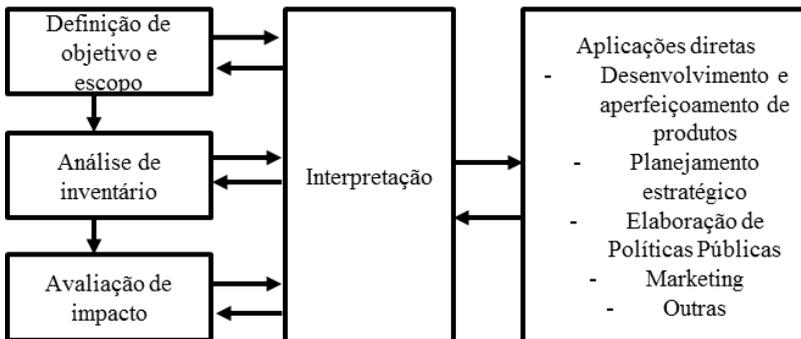
A ACV é uma metodologia sistemática e iterativa, estabelecida pela Organização Internacional de Normalização (*International Standardization Organization* - ISO 14040, 2006a) que enfoca os aspectos ambientais e os impactos ambientais potenciais, o que, pela definição da norma, inclui serviços, expressos, por exemplo, no uso de recursos e as consequências de liberações para o meio ambiente, ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, desde a aquisição das matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até a disposição final. Ou seja, engloba todas as transformações desde o berço ao túmulo. A ACV utiliza: compilação de inventário de energia pertinente, contribuições de materiais e emissões ambientais; avaliação de potenciais impactos ambientais associados às contribuições e emissões identificadas; interpretação dos resultados obtidos nas constatações da análise do inventário e na avaliação de impactos (FUKOROZAKI, 2011).

Esta metodologia nasceu nos Estados Unidos nos anos 70 e, em seguida, se propagou pela Europa, em particular, Holanda e Suíça onde se passaram os principais avanços metodológicos.

A ACV é um dos mais difundidos métodos de avaliação do impacto ambiental dos produtos e serviços em muitos setores. Todavia, existem algumas preocupações sobre a qualidade dos dados ACV, visto a ausência de uma característica padrão para a avaliação da qualidade desses estudos e de tratamento sistemático e abrangente na maioria dos bancos de dados e programas para a ACV (GONZALEZ-GARCIA *et al.*, 2011; HEIJUNGS e HUIJBREGTS, 2004).

Segundo Querini (2012) a abordagem da ACV ocorre em 4 etapas (Figura 7) definidas pelas normas ISO14040 e 14044: definição dos objetivos, o contexto do estudo, inventário do ciclo de vida (ICV), tradução em impactos ambientais e interpretação dos resultados. Em teoria, as etapas ocorrem sucessivamente, mas na prática, não raro a realização de uma etapa pode redefinir outra já desenvolvida.

Figura 7- Etapas de uma Avaliação de Ciclo de Vida



Fonte: NBR ISO 14040 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009)

Em alguns casos, o objetivo de uma ACV pode ser alcançado através da realização apenas de uma análise de inventário e de interpretação. Esse procedimento é usualmente denominado estudo de ICV.

### 2.5.1 Definição dos objetivos e contexto do estudo

Para Querini (2012) esta etapa, além de determinar os objetivos do estudo, determina também as fronteiras do sistema estudado. Os objetivos do estudo permitem estimar o nível de detalhe requerido na fase de inventário, além de precisar os diferentes impactos ambientais a

avaliar durante o estudo. É nesta etapa que também se define a Unidade Funcional (UF) do estudo, o que condicionará os resultados. A UF permite a comparabilidade entre diferentes sistemas, ou seja, preencher a mesma função, que é definida por um uso limitado dentro de um espaço e tempo. Matheys *et al.* (2007) destacam a importância da escolha de uma unidade funcional adequada, visto que esta escolha pode influenciar o resultado final do estudo.

### **2.5.2 Inventário do ciclo de vida**

A fase de análise de inventário do ciclo de vida (ICV) é definida pela NBR ISO 14040 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009) como sendo a segunda fase de uma ACV, a qual trata-se de um inventário dos dados de entrada/saída associados ao sistema em estudo. Essa fase envolve a coleta dos dados necessários para o alcance dos objetivos do estudo em questão.

Fukorozaki (2011) descreve o ICV como um modelo do sistema técnico usado para produzir, transportar, usar e eliminar um produto, onde se estabelece um diagrama de fluxos, no qual os processos relevantes e as entradas e saídas do sistema são compilados com propósito de identificar e quantificar os recursos requeridos do meio e as emissões geradas para os diversos compartimentos ambientais. Os questionamentos sobre o início e o fim da contabilização da energia, o uso de materiais e as emissões resultantes nos processos da cadeia produtiva é um fator chave da análise, uma vez que o sistema técnico de um produto se relaciona com vários outros setores, incluindo transporte, energia, materiais, entre outros, que de uma forma ou outra, colaboram para os potenciais impactos (ou desempenho ambiental) do produto.

PE International (s.d.) afirma que os resultados do inventário do ciclo de vida incluem diferentes emissões. Depois que as categorias de impacto relevantes são selecionadas, os resultados são atribuídos a uma ou mais categorias. Se as substâncias contribuem para mais do que uma categoria de impacto, elas devem ser classificadas como contribuintes para todas as categorias relevantes. Por exemplo, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> são atribuídas para a categoria de impacto “potencial de aquecimento global”. As emissões de NO<sub>x</sub> podem ser classificadas como contribuintes para eutrofização e acidificação e por isso, o fluxo total será inteiramente atribuído as estas duas categorias. Por outro lado, SO<sub>2</sub> é repartido entre categorias de impacto saúde humana e acidificação. A saúde humana e a acidificação são mecanismos paralelos e então, os fluxos são alocados entre as duas categorias de impacto.

### 2.5.3 Avaliação dos impactos

Segundo Querini (2012) ela consiste na tradução do fluxo de substâncias que estão em um ICV em certo número de impactos ambientais potenciais explícitos. Para Fukorozaki (2011), esta etapa é dirigida à avaliação da significância das contribuições relacionadas à extração de recursos e emissões para o ambiente obtidas no inventário, utilizando modelos de mecanismos ambientais, nos quais os resultados do inventário podem ser traduzidos em potenciais impactos e/ou danos, tais como mudanças climáticas, acidificação, efeitos toxicológicos a saúde humana e aos ecossistemas, depleção do ozônio estratosférico, entre outros.

O objetivo desta fase, de acordo com a NBR ISO 14040 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), é prover informações adicionais para ajudar na avaliação dos resultados do ICV de um sistema de produto, visando ao melhor entendimento de sua significância ambiental.

Para Querini (2012), para determinar o impacto potencial de uma substância sobre um sistema-alvo, é necessário levar em conta inúmeros parâmetros. O impacto é caracterizado por uma combinação de alguns ou todos os parâmetros seguintes: ação da fonte, exposição, acessibilidade e sensibilidade dos alvos. Mais detalhadamente, o impacto de uma substância sobre o ambiente depende mais precisamente das seguintes características: quantidade e concentração da emissão, mobilidade e tendência à dispersão, persistência no meio (dependente das velocidades de degradação), acumulação (dentro dos sedimentos ou dos tecidos vivos), sinergia com outras substâncias ou transformação em outros produtos dentro do ambiente e efeito prejudicial (sobre os seres humanos, os animais, as plantas, os ecossistemas e outros alvos não vivos). A comunidade científica tem construído sempre modelos que integram estes parâmetros e permitem prever a contribuição de uma substância a um dado parâmetro. Assim, para cada substância e cada impacto, um fator de caracterização (FC) é definido como resultado da saída, da exposição e do efeito. Cada um dos impactos se apresenta da seguinte forma:

Indicador de impacto:  $\sum(n_i \times FC_i)$

Cada indicador é a soma das massas  $n$  das substâncias  $i$  por um fator de caracterização FC para cada substância  $i$ .

A normalização, de acordo com Querini (2012), é uma etapa facultativa suplementar que permite medir a contribuição relativa do sistema ou do produto estudado a um dado impacto ambiental, dividindo-o pelo impacto ambiental de uma situação de referência. Para isso, é necessário conhecer todas as emissões da situação de referência que tenham influência sobre o impacto normalizado. A normalização é uma ferramenta bem útil por estimar a importância de um impacto em relação a uma situação de referência, embora ela introduza uma incerteza, o que explica que ela seja facultativa dentro de uma ACV.

Para Querini (2012), muitos parâmetros relativizam a pertinência da normalização. Num primeiro tempo, todas as emissões de poluentes não podem ser medidas, em particular, sobre uma escala geográfica, como o mundo. Por consequência, muitos números de emissões estudados são questão de extrapolação dos dados holandeses. Além disso, o nível de detalhe das emissões não é sempre equivalente ao nível de detalhe requerido para efetuar os cálculos de impacto. As emissões de dióxido de carbono e de metano podem ser calculadas, permitindo obter um número de normalização para o impacto sobre o aquecimento climático. Por outro lado, os diferentes tipos de pesticidas e a composição dos COV emitidos no ar não podem ser conhecidos. É conveniente lembrar que a pertinência dos valores de normalização é inversamente proporcional ao número de substâncias, tendo uma influência sobre o impacto estudado.

PE International (s.d.) destaca que os resultados do indicador de impactos são normalizados como quantidades adimensionais que permitem a comparação entre diferentes categorias de impacto.

A ponderação dos impactos, também chamada análise multicritério é uma etapa facultativa que resulta numa redução do número de indicadores a interpretar, a partir dos impactos ambientais da etapa anterior, utilizando ferramentas matemáticas e buscando minimizar parte da subjetividade inerente à toda agregação. A ponderação é usada para comparar diferentes resultados de indicador de impacto de acordo com sua significância, usando fatores de ponderação que são avaliados através de pesquisas entre diferentes grupos. A ponderação pode ser usada também para agregar indicador de impacto ponderado, resultando em um único resultado (PE INTERNACIONAL, s.d.; QUERINI, 2012).

Os métodos de análise multicritério são particularmente úteis para comparar muitos sistemas sobre um grande número de impactos e se divide em 2 categorias: globais (*score* único) e parciais (redução do número de indicadores). Os primeiros buscam a determinar uma função

matemática que agregue todos os pontos de vista a considerar e atribuem um valor único para cada sistema. Os segundos comparam as ações duas a duas e estabelecem as relações de sobreclassificação entre elas.

#### **2.5.4 Interpretação da ACV**

Segundo a NBR ISO 14040 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009), a interpretação do ciclo de vida é a fase final do procedimento de ACV, na qual os resultados de um ICV e/ou de uma AICV, ou de ambos, são sumarizados e discutidos como base para conclusões, recomendações e tomada de decisão de acordo com a definição de objetivo e escopo.

Fukorozaki (2011) afirma que a combinação dos resultados obtidos no ICV e na AICV podem tomar a forma de conclusões e recomendações úteis para a tomada de decisões das diferentes partes interessadas em relação: a escolha de processos e produtos menos impactantes, a identificação de oportunidades de melhoria dos aspectos ambientais dos produtos e processos, ao planejamento estratégico, ao projeto ou reprojeto, a seleção de indicadores de desempenho ambiental, a rotulagem ecológica, entre outros.

Para Querini (2012), a interpretação dos resultados deve permitir ao autor responder à questão colocada na primeira parte da ACV, o que requer a realização de uma análise de sensibilidade que objetiva medir, com ajuda, principalmente, de ferramentas estatísticas, a variação associada a cada um dos impactos calculados, permitindo determinar a precisão dos resultados e, então, efetuar as comparações. A análise de sensibilidade implica em identificar os principais parâmetros críticos a fim de fazê-los variar e observar sua influência sobre os resultados.

Na fase de interpretação, de acordo com PE International (s.d.), os resultados são checados e avaliados para ver se são consistentes com os objetivos e escopo e se o estudo é completo. Esta fase inclui dois principais passos: a identificação de questões significativas e avaliação. O primeiro passo da fase de interpretação do ciclo de vida é estruturar os resultados do ICV e da AICV e identificar as “questões significativas” ou os dados que contribuem mais significativamente para os resultados do ICV e da AICV para cada produto, processo ou serviço. A identificação das questões significativas guia a etapa de avaliação. Devido a grande quantidade de dados coletados, é apenas viável, dentro de um tempo e recursos razoáveis, avaliar os dados que contribuem significativamente com o resultado. As questões significantes incluem:

os elementos do inventário, tais como os consumos energéticos, os grandes fluxos de materiais, resíduos e emissões, etc; os indicadores de categoria de impacto que são de especial interesse ou cujo valor é importante; contribuições essenciais dos estágios do ciclo de vida para os resultados do ICV ou do AICV como processos unitários individuais ou grupos de processos (ex. transporte, produção de energia). Os resultados podem ser apresentados na forma de lista de dados, tabelas, diagramas de barra ou outras formas convenientes e podem ser estruturados de acordo com a fase do ciclo de vida, diferentes processos (suprimento energético, transporte, extração de matéria -prima), tipos de impactos ambientais ou outro critério.

Ainda para PE International (s.d.), a etapa de avaliação tem por objetivo aumentar a confiabilidade do estudo através de 3 métodos que podem ser usados: **verificação da completude**, onde analisa-se qualquer informação faltante ou incompleta a fim de verificar se a informação é necessária para satisfazer o objetivo e escopo do estudo. Os dados faltantes devem ser adicionados ou recalculados ou, ainda, a definição do escopo e do objetivo podem ser ajustados; **verificação de sensibilidade**, o que determina como os resultados são afetados pelas incertezas nos dados, hipóteses, métodos de alocação, procedimentos de cálculos, etc. Este elemento é especialmente importante quando alternativas diferentes são comparadas de modo que as diferenças significativas ou a falta delas são comparadas para ser compreensível e confiável; **verificação da consistência**: a consistência dos métodos e objetivos e escopo do estudo é checado. Algumas questões relevantes são checadas e podem ser: qualidade dos dados, fronteiras dos sistemas, simetria dos dados de período de tempo e região, regras de alocação e avaliação de impactos.

A etapa de interpretação é um processo iterativo, tanto dentro da própria fase de interpretação, quanto com outras fases da ACV. Os papéis e as responsabilidades de várias partes interessadas devem ser descritos e levados em conta. Se uma revisão crítica pode ser conduzida, estes resultados devem ser descritos.

### 2.5.5 Métodos de caracterização de impactos

PE International (s.d.) afirma que a caracterização descreve e quantifica o impacto ambiental de um sistema de produto analisado. Depois de atribuir os resultados do ICV às categorias de impacto, os fatores de caracterização têm que ser aplicados. Os resultados do ICV são convertidos em unidades de referência usando fatores de impacto.

Por exemplo, a substância de referência para a categoria de impacto ambiental “potencial de aquecimento global” é o CO<sub>2</sub> e a unidade de referência é definida como Kg CO<sub>2</sub>-equivalente. Todas as emissões que contribuem para o aquecimento global são convertidas em Kg CO<sub>2</sub>.

São utilizadas 2 abordagens para classificação e caracterização ambiental: *midpoint* e *endpoint*. Os métodos *midpoint* possuem uma abordagem orientada ao problema, cujos fluxos são classificados como pertencentes às categorias de impacto ambiental às quais contribuem. Já os métodos *endpoint* possuem uma abordagem orientada ao dano (PE INTERNATIONAL, s.d.).

Segundo *European Commission* (2010 apud Querini, 2012) a comunidade científica está de acordo para definir os seguintes impactos como sendo *midpoint*: depleção de recursos (minerais e energéticos), aumento do efeito estufa, depleção do ozônio atmosférico, toxicidade e ecotoxicidade, acidificação, eutrofização (terrestre e aquática), efeitos respiratórios (poluição e ozônio fotoquímico), poluição radioativa, perturbações, mudança de usos dos solos. No nível *endpoint*, de acordo com Muracy e Lopez (1997 apud Querini, 2002), dois danos são consensuais dentro da literatura: saúde e ecossistemas. No caso avaliação dos danos sobre a saúde, o indicador deve permitir mostrar a mortalidade e a morbidade, associadas aos impactos gerados pelo sistema estudado. Para cada dano, o número de anos de vida perdidos (YLL, *years of life lost*) e o número de anos com deficiência (YLD, *years of life disabled*) são adicionados para obter um número de anos expressos em DALY (*disability-adjusted life years*). DALY, para Querini (2012) representa o indicador mais consensual para avaliar as consequências sobre a saúde, em particular, pois é o indicador usado pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

Para Querini (2012), o indicador usado deve quantificar os efeitos sobre as funções e as estruturas dos ecossistemas afetados (os efeitos podem ser de natureza física ou química). A complexidade e diversidade dos ecossistemas tornam difícil a utilização de um único indicador, os impactos podem provocar danos sobre duas variáveis (diversidade e quantidade) e a muitos níveis (ecossistema, espécie e indivíduo). A diminuição do número de espécies dentro de um ecossistema é geralmente o indicador escolhido, pois é o menos difícil de medir. Ele é medido em PDF (*potentially disappeared fractions of species*) multiplicado pela superfície afetada no período de um ano. O indicador obtido, é então dado em PDF.m<sup>2</sup>.ano.

Querini (2012) afirma que a escolha de um método *endpoint* ou *midpoint* depende do objetivo do estudo e necessidade de interpretação

de resultados. Assim, mais a cadeia de impacto é importante, mais a incerteza é importante. Então, a fase de ICV das emissões possui fraca incerteza, mas levando em conta o número geralmente elevado de substâncias, é dificilmente interpretável. Os impactos *midpoint* permitem reduzir o número de indicadores, todavia, com perda de informação e compromisso científico. Os fenômenos de compensação dos impactos *midpoints* podem ser mascarados quando os indicadores *endpoint* são agregados. A compensação é o fato que ao nível de danos agregados, um impacto muito forte pode ser mascarado por muitos impactos fracos e dar assim, a impressão de um sistema pouco impactante. Enfim, a avaliação integrada, que consiste em ponderar os danos para ter apenas um score, se faz ao preço de uma perda de informação. Quanto mais longa for a cadeia de impactos, mas o número de indicadores se reduz, facilitando a tomada de decisão. Então, a escolha *midpoint/endpoint/score* único depende do compromisso desejável pelo autor entre incerteza e número de indicadores, bem como dos objetivos do estudo e às pessoas à qual é destinado.

O número de categorias de impacto é tipicamente escolhido como foco de um estudo de ACV e a escolha das categorias de impacto depende do objetivo do estudo, pois devem cobrir os efeitos ambientais dos sistemas de produtos analisados. A escolha das categorias de impacto e dos métodos de avaliação de impactos deve ser documentada na definição de escopo e objetivos (PE INTERNATIONAL, s.d.).

Para Querini (2012) os diferentes métodos de classificação e os indicadores escolhidos numa ACV devem responder a quatro critérios: exaustividade, não redundância, viabilidade e pertinência frente ao sistema estudado. Os métodos de caracterização de impactos encontrados na literatura são numerosos, dentro os quais há: EDIP<sub>97</sub>, Eco-indicator<sub>99</sub>, EPS<sub>2000</sub>, CML<sub>2001</sub>, IMPACT<sub>2002+</sub>, EDIP<sub>2003</sub> e ReCiPe<sub>2008</sub>.



### 3. METODOLOGIA

A presente pesquisa surgiu da necessidade de proposição de uma metodologia, adaptada às condições técnicas, sociais, ambientais e econômicas brasileiras, capaz de apoiar a decisão, de forma rápida e mais precisa, na escolha de técnicas para a recuperação de áreas degradadas por disposição irregular de resíduos sólidos, ainda muito comuns no Brasil. Desta forma, esta tese busca propor uma metodologia capaz de abranger áreas que receberam, ou ainda recebem resíduos sólidos de origem urbana em todo o território nacional, levando em conta, para isto, as condições próprias de cada local, orientando quanto ao encerramento e recuperação ambiental destas áreas.

Para facilitar a compreensão, o termo “metodologia” diz respeito ao trabalho global desenvolvido que é formado por inúmeras “ferramentas”. Da mesma forma, sobretudo quando se trata da metodologia e dos resultados e discussões, o termo “área degradada pela disposição irregular de resíduos sólidos” foi substituído por “lixões”.

Para o alcance dos objetivos apresentados, o método de trabalho dividiu-se em quatro etapas. Para cada etapa, a Figura 8 apresenta os objetivos e resultados esperados para o usuário final da metodologia.

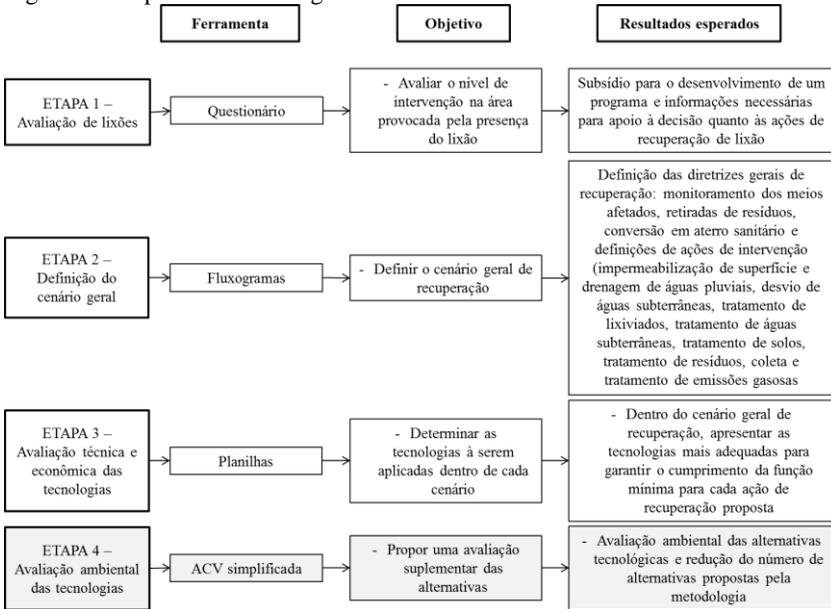
Na etapa 1 construiu-se um questionário aplicado no diagnóstico ambiental, com o objetivo de avaliar o nível de intervenção na área em decorrência da presença do lixão. Posteriormente, este questionário originou um programa para a avaliação ambiental de lixões desenvolvido outra tese em paralelo. Esta etapa foi validada por especialistas diversos através da utilização de dados reais de alguns lixões.

Na etapa 2 construiu-se 2 fluxogramas utilizados para a definição do cenário geral de recuperação. Realizou-se a validação desta etapa em conjunto com a validação da etapa anterior, utilizando dados reais de lixões.

Na etapa 3 construiu-se 2 tabelas para a avaliação técnico-econômica das diferentes tecnologias que podem ser aplicadas na recuperação ambiental de um lixão. Estas tabelas propõem uma comparação das tecnologias de forma e selecionar as mais viáveis para a recuperação ambiental dos lixões. A validação desta etapa ocorreu através de pesquisa de opinião aplicada a especialistas.

A etapa 4 – avaliação ambiental das tecnologias – é uma etapa opcional, pois devido às dificuldades relativas à sua execução, ela pode ser utilizada como complementar ao processo de apoio à decisão ou estar ausente.

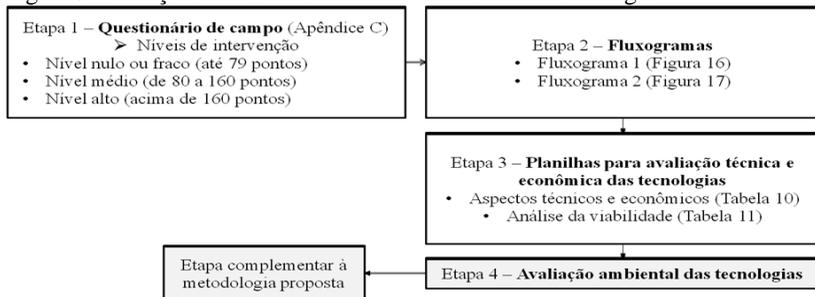
Figura 8 - Etapas da metodologia



Fonte: desenvolvida pela autora

A Figura 9 busca esclarecer como as diferentes ferramentas propostas pela metodologia se articulam entre si a fim de conduzir o apoio final à decisão.

Figura 9 - Relação entre as diversas ferramentas da metodologia



Fonte: desenvolvida pela autora

A descrição do desenvolvimento das etapas e cada ferramenta proposta encontram-se detalhadas a seguir.

### 3.1 ETAPA 1 – AVALIAÇÃO DOS LIXÕES

Esta etapa busca avaliar os lixões a serem recuperados de acordo com os níveis de intervenção observados e/ou riscos que apresentam ao ambiente, populações e aos bens, fornecendo informações necessárias para as etapas que sucedem. Para tanto, desenvolveu-se um questionário de campo que foi informatizado, em uma tese<sup>2</sup> que ocorreu em paralelo a esta, originando um programa para avaliação ambiental de lixões.

#### 3.1.1 Desenvolvimento e avaliação do questionário

Para o desenvolvimento das questões e seus parâmetros utilizou-se os seguintes trabalhos: *Remise em état des décharges: méthodes et techniques* (AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE, 2005), Relatórios de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2001a), Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2001b), Reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2010), Indicadores ambientais no monitoramento de processos de recuperação de áreas degradadas (OLIVEIRA e AZEVEDO, 2010), Projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários (REICHERT, 2007), Lixões inativos na região carbonífera de Santa Catarina: análise dos riscos a saúde pública e ao meio ambiente (POSSAMAI *et al.*, 2007), Desenvolvimento de um indicador para avaliação de desempenho de aterro de resíduos sólidos urbanos (PEREIRA, 2005), *Desechos solidos. Principios de ingeniería y administration* (TCHOBANOGLIOUS, 1982), *Guindance for conducting remedial investigations and feasibility studies under CERCLA* (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1988), Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2014), Seleção de municípios críticos a deslizamentos (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2011).

Devido à necessidade de verificação da adequação da área degradada face à legislação ambiental, determinou-se a necessidade da

---

<sup>2</sup> O desenvolvimento do programa foi realizado pelo doutorando Juliano da Cunha Gomes, também do LARESO e utilizou as informações disponibilizadas pela presente tese

investigação da situação local diante do zoneamento e plano diretor do município onde o mesmo se encontra (caso estes elementos existam); das leis ambientais, por exemplo, os códigos florestais, na esfera local, estadual e nacional e os elementos normativos, incluindo aqueles referentes a construções e operações de aterros, recuperação de áreas degradadas, ou outros aspectos pertinentes. Para tanto, os seguintes elementos legais e normativos foram consultados: NBR 8419/1992, referente à apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), NBR 13896/1997, referente aos aterros de resíduos não perigosos - critérios para projeto, implantação e operação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), NBR 10004/2004, sobre classificação de resíduos sólidos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), Resolução CONAMA N° 357/2005 (CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 2005), Resolução CONAMA N° 420/2009 (CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 2009), Resolução CONAMA N° 396/2008 (CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 2008), Lei N° 12.305/2010 (BRASIL, 2010), Lei N° 12.651/2012 (BRASIL, 2012). O questionário foi dividido em sete partes, conforme mostra a Figura 10.

A primeira parte contém as orientações aos usuários, composta pela “listagem de leis e normas necessárias para o preenchimento do questionário”, “informações e análises físico-químicas requeridas previamente à visita”, além de informações gerais como “identificação e caracterização da área”, “condições meteorológicas no dia da visita” e “situações” possibilitando a identificação do local a ser reabilitado e do responsável pelas informações fornecidas. Após, têm-se as 6 categorias, a seguir citadas: “caracterização do lixão”; “solo e águas subterrâneas”; “águas superficiais”; “meio social”; “meio natural e paisagens” e “meio atmosférico”.

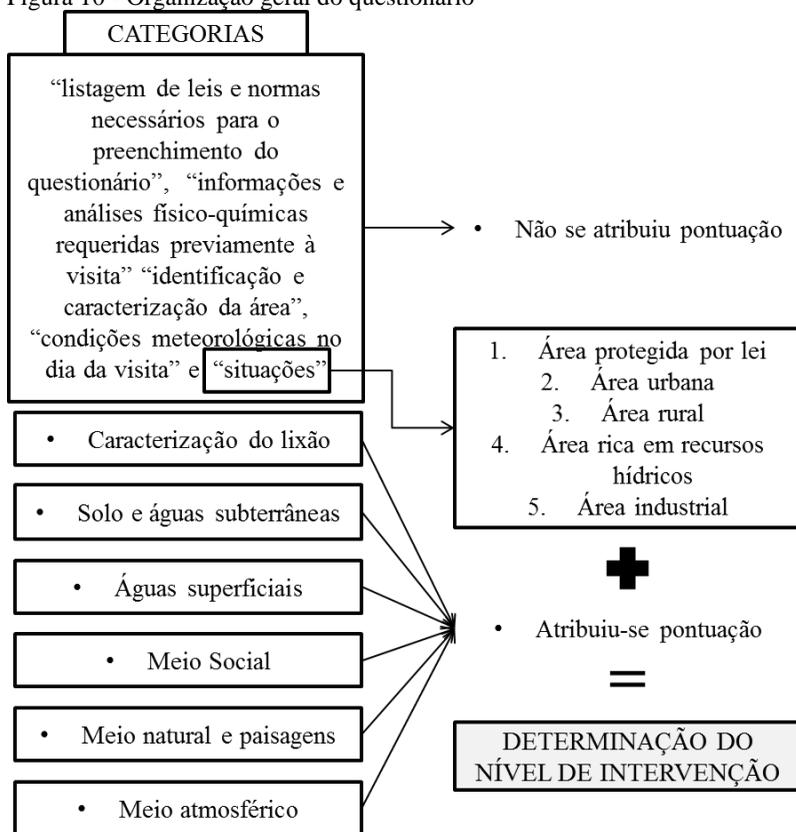
Cada categoria foi composta por um número variável de critérios, aqui denominado de questões<sup>3</sup>, conforme exemplificado na Figura 11. Os critérios apresentados no questionário tiveram seus parâmetros expressos em escalas ordinais e cardinais. Para Maystre, Pictet e Simos (1994), a escala ordinal é caracterizada por permitir apenas a aplicação das relações: maior que (>), menor que (<) ou igual a (=) sobre seu

---

<sup>3</sup> Optou-se por red denominar os critérios como questões por facilitar a compreensão do usuário e evitar a confusão quando este nome novamente se fizer presente na etapa 3.

valor, enquanto que a escala cardinal é caracterizada por permitir a aplicação das quatro operações aritméticas básicas. Lupatini (2002) afirma que a escala ordinal possui dados qualitativos (ex: resíduos parcialmente visíveis) e a escala cardinal, dados quantitativos (ex: em metros).

Figura 10 - Organização geral do questionário



Fonte: desenvolvida pela autora

Cada questão possui um número de parâmetros que varia de 2 a 6. As questões possuem o mesmo peso. No entanto, cada parâmetro possui um peso (pontuação) diferente, sendo eles ordenados da menor para maior pontuação. Considerou-se que quanto mais baixa a pontuação, menor é o nível de intervenção relacionado ao parâmetro.

Figura 11 - Exemplo de uma questão e seus parâmetros na categoria “Meio social”

#### 4. MEIO SOCIAL

##### 4.1 Densidade populacional dentro de um raio de 500 m

- a) ( ) <10 residências  
 b) ( ) 100 - 10 residências  
 c) ( ) >100 residências

Fonte: desenvolvida pela autora

Para estabelecer a pontuação dos parâmetros, considerou-se o número máximo de parâmetros, neste caso, 6, como a pontuação máxima possível em todas as questões. Em seguida, dividiu-se este número pela quantidade de parâmetros existentes em cada questão. O valor resultante foi considerado como o valor do parâmetro menor peso ou menos problemático (letra a) e aos demais, foi-se somando este valor (Quadro 4).

Quadro 4 - Pontuação considerada aos parâmetros

Número de parâmetros	Valor obtido por cada parâmetro
2	Não = 3 Sim = 6
3	a = 2 b = 4 c = 6
4	a = 1,5 b = 3 c = 4,5 d = 6
5	a = 1,2 b = 2,4 c = 3,6 d = 4,8 e = 6
6	a = 1 b = 2 c = 3 d = 4 e = 5 f = 6

Fonte: A autora

Para o desenvolvimento do programa considerou-se que o conteúdo da primeira parte não influenciaria diretamente a pontuação final do lixão. Para a determinação da pontuação de um lixão utilizou-se os pesos das categorias em uma determinada situação (adiante descrito) e a pontuação das respostas das questões. A pontuação atribuída aos lixões está diretamente relacionada ao nível de intervenção que a área sofreu em decorrência da presença do lixão e varia da seguinte forma:

- Para lixões com pontuação máxima de 79 pontos: nível baixo de intervenção ambiental;

- Para lixões com pontuação entre 80 e 160 pontos: nível médio de intervenção ambiental;

- Para lixões com pontuação superior a 160 pontos: nível alto de intervenção ambiental.

A avaliação do questionário deu-se através de uma banca de especialistas encontrados com auxílio da Plataforma Lattes. Usando as palavras-chaves “aterro sanitário”, “lixão” e “resíduos sólidos” e selecionando apenas doutores obteve-se 243 resultados que foram submetidos a uma triagem de forma a excluir os que apresentavam menor afinidade com a temática de pesquisa, resultando numa lista de 60 especialistas selecionados. Além disso, outros 6 especialistas foram indicados pelos doutores contatados e, posteriormente, também convidados a participar da avaliação do questionário. A carta de apresentação contendo o convite aos especialistas (Apêndice A), bem como, o questionário, foram enviados aos 66 especialistas através de e-mail, e o retorno da ferramenta avaliada resultou numa participação efetiva de 15 doutores.

Para a avaliação por cada especialista, em anexo à carta de apresentação, enviou-se uma tabela referente à avaliação do questionário onde os doutores deveriam responder questões sobre a possibilidade do alcance dos objetivos propostos pela ferramenta, bem como, para cada parte, indicar a pertinência e/ou a ausência de questionamentos. As sugestões dadas pelos especialistas foram analisadas uma a uma de forma a incorporarem-se as mais pertinentes e refutar as que não se apresentavam apropriadas. Após esta análise, o questionário foi revisado, o que permitiu atingir o modelo final.

### **3.1.2 Ponderação das categorias do questionário**

Bahia (2013) afirma que para a recuperação ambiental é necessário propor medidas que levem em consideração a fragilidade do ambiente onde o lixão está inserido. Desta forma, realizou-se o

procedimento de ponderação, considerando que a representação de um determinado risco pode ser maior ou menor de acordo com as condições particulares encontradas em cada lugar. Por exemplo, para um lixão que se encontra em meio a uma comunidade, o risco social terá maior significância, do que na situação em que um lixão localiza-se no meio rural. Da mesma forma, o risco sobre as águas será maior quando o lixão está em uma área de recarga de manancial do que na situação em que ele está em uma área com menor quantidade de recursos hídricos e solo menos permeável.

O sistema de ponderação das categorias que compõem o questionário (caracterização do lixão, solo e águas subterrâneas, águas superficiais, social, meio natural e paisagens e ar) considera 5 situações genéricas:

1. Áreas de interesse ambiental ou espaço territorial especialmente protegido, como APP, RL ou uma UC, conforme especificado na Lei 9985/2000 (“Lei do SNUC”)
2. Área urbana
3. Área rural
4. Área em talvegue que pode abrigar curso d’água intermitente e/ou região de várzea e/ou área de recarga de manancial?
5. Área industrial

O procedimento de ponderação foi efetuado com base na metodologia usada por Schmid (2012) na qual cada especialista consultado, de acordo com seu conhecimento, atribuiu um percentual relativo à importância da categoria (caracterização do lixão, solo e águas subterrâneas, águas superficiais, social, meio natural e paisagens e ar) em relação a cada situação específica. A média do grau de importância atribuído pelos especialistas foi utilizada para a ponderação das categorias no programa derivado desta pesquisa.

Para realizar esta ponderação, recorreu-se aos 15 mesmos especialistas que participaram da avaliação do questionário por entender-se que estes estavam dispostos a contribuir com o desenvolvimento do trabalho. A exceção foi feita a um especialista que, por haver participado diretamente da definição das 5 situações genéricas, não foi convidado para participar da ponderação das categorias do questionário. O material a ser ponderado foi enviado por e-mail acompanhado de uma breve instrução (Apêndice B).

## 3.2 ETAPA 2 – DEFINIÇÃO DO CENÁRIO GERAL DE RECUPERAÇÃO

Esta etapa possibilita, para o usuário da metodologia, a definição do **cenário geral de recuperação** que consiste na definição de uma diretriz geral para a recuperação e as diferentes ações que compõem este cenário.

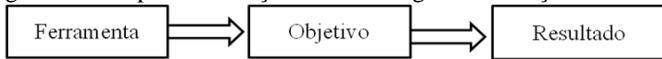
A **diretriz geral** do cenário deve ser entendida como a definição de um contexto global no qual não é possível descrever de maneira precisa e exata as tecnologias a serem implantadas para a recuperação do lixão. Como possíveis diretrizes gerais tem-se: monitoramento da área; retirada dos resíduos; conversão em aterro sanitário, confinamento dos resíduos e definição de ações de recuperação. É pertinente esclarecer que nenhum dos cenários prevê a possibilidade de utilização da área com fins habitacionais ou outros usos que podem ser comprometidos por possíveis instabilidades de terreno.

Por **definição de ações de recuperação** entendem-se a proposição de soluções para problemas diversos, por exemplo, tratamento dos resíduos retirados; impermeabilização superior e drenagem das águas pluviais (ou melhoria da existente); implantação de sistema de drenagem e tratamento de gases; coleta e tratamento de lixiviado; restrição ao uso da água superficial e monitoramento da mesma; tratamento de águas subterrâneas; desvios de águas subterrâneas; tratamento de solo e reconformação geométrica dos taludes ou outra medida cabível.

Nesta etapa, desenvolveu-se 2 fluxogramas. O fluxograma 1 é utilizado para a escolha da diretriz geral de recuperação. O fluxograma 2 conduz para a especificação das ações de recuperação. Para melhor entendimento desta etapa, a Figura 12 sintetiza as ferramentas desenvolvidas, apresentando o objetivo e o resultado que estas devem alcançar em relação ao usuário final.

Para a geração dos fluxogramas considerou-se as informações contidas nos seguintes materiais: *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005), Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2001b), Fundação Estadual do Meio Ambiente (2010), U.S. *Environmental Protection Agency* (1988), Índice de Qualidade de Aterros da CETESB, Bisordi *et al.* (2004), Alberte, Carneiro e Kan (2005), *Air Force Center for Environmental Excellence Technology Transfer Division* (1999), NBR 8419, NBR 13896, Resolução CONAMA N° 357/2005, Resolução CONAMA N° 420/2009, Lei Federal N° 12.305/2010 e Lei Federal N° 12.651/2012.

Figura 12 - Etapa 2: Definição do cenário geral e das ações de recuperação



Fluxograma 1	Definir a diretriz geral de recuperação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monitoramento da área</li> <li>- Retirada dos resíduos</li> <li>- Conversão em Aterro Sanitário</li> <li>- Definição das ações de recuperação</li> </ul>
Fluxograma 2	Definir as ações de recuperação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tratamento dos resíduos</li> <li>- Impermeabilização superior e drenagem das águas pluviais</li> <li>- Coleta e tratamento e tratamento de gases</li> <li>- Coleta e tratamento de lixiviado</li> <li>- Restrição ao uso da água superficial</li> <li>- Tratamento das águas subterrâneas</li> <li>- Desvio das águas subterrâneas</li> <li>- Tratamento de solo</li> <li>- Reconformação geométrica dos taludes ou outra medida</li> </ul>

Fonte: desenvolvida pela autora

### 3.3 ETAPA 3 – AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DAS TECNOLOGIAS

A metodologia desta etapa foi elaborada seguindo 6 passos principais descritos:

1. Definição de ações (ou família de ações) de recuperação
2. Definição da função mínima e estabelecimento de uma lista de possíveis tecnologias
3. Definição das condições operatórias
4. Determinação da viabilidade técnica e econômica das tecnologias
5. Composição do(s) cenário(s) detalhado (s)
6. Avaliação ambiental das tecnologias

É necessário esclarecer que dentro do contexto desta tese, a recuperação de um determinado lixão é o conjunto de inúmeras tecnologias que definem o cenário detalhado. As ações necessárias à

recuperação devem ser definidas e classificadas em grandes famílias com base no objetivo ou natureza dos meios a tratar.

### 3.3.1 Definição de ações ou famílias de ações

As ações de recuperação são as possíveis ações corretivas que, foram definidas como necessárias no fluxograma 2 da etapa 2 e precisam ser aplicadas nos diferentes compartimentos ambientais (água, ar e solo) de forma a se proceder a recuperação ambiental de um lixão. Estas ações foram identificadas a partir da revisão bibliográfica.

### 3.3.2 Definição da função mínima e estabelecimento de uma lista de possíveis tecnologias

A função mínima é entendida como o desempenho mínimo a ser cumprido por cada uma das tecnologias que podem ser aplicadas nas ações de recuperação. Assim, o não atendimento à função mínima é compreendido como critério de exclusão da tecnologia em avaliação. As funções mínimas foram definidas com base na legislação ambiental vigente no Brasil (leis e resoluções do CONAMA).

Cada ação pode ser desenvolvida com base na aplicação de inúmeras tecnologias. A lista das tecnologias propostas pela tese (Quadro 5) não busca ser uma listagem exaustiva e definitiva, sendo apenas proposta de forma a viabilizar a construção da metodologia e, além do conhecimento já consolidado pelos desenvolvedores desta etapa, teve como base os seguintes autores:

Quadro 5 - Lista de tecnologias propostas para as ações de recuperação

<b>Ações de recuperação</b>	<b>Autores consultados</b>
Impermeabilização de superfícies e drenagem de águas pluviais	Reichert (2007)
Desvio de águas subterrâneas	Joseph <i>et al.</i> (2004; s.d.)
Tratamento de lixiviados	Bidone (2007) Lange <i>et al.</i> (2006) Reichert (2013) Gomes <i>et al.</i> (2009)
Tratamento de águas subterrâneas	Donaire (2007) Caetano (2014) Schmidt (2010)
Tratamento de solos	Donaire (2007) Schmidt (2010) Andrade, Augusto e Jardim (2010)

	Santos (2004)
Tratamento de resíduos	Fundação Estadual de Meio Ambiente (2010) <i>Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie</i> (2005) Lemos <i>et al.</i> (2009)
Tratamento das emissões gasosas	Reichert (2007) Brito Filho (2005) Fernandes (2009) Arcadis (2010)

Fonte: Desenvolvido pela autora

### 3.3.3 Definição das condições operatórias

Entende-se as condições operatórias como as condições de aplicação das tecnologias a fim de atender as funções mínimas. Portanto, o atendimento (ou não) das funções mínimas pelas tecnologias avaliadas permite a exclusão das menos aptas ao processo de recuperação de um determinado lixo.

Para a definição das condições operatórias construiu-se uma tabela para cada ação de recuperação que deve ser preenchida pelo usuário final da metodologia. Esta tabela é utilizada para a coleta de informações para a avaliação técnica e econômica das tecnologias. Para a construção desta tabela considerou-se os requisitos de infraestrutura, recursos materiais e humanos, geração de resíduos, aspectos técnicos e econômicos (preços unitários e totais) relativos à tecnologia avaliada na tabela em questão.

### 3.3.4 Determinação da viabilidade técnica e econômica das tecnologias

A viabilidade técnica e econômica das tecnologias é efetivamente avaliada pelo usuário final nesta etapa com base nas informações coletadas anteriormente.

Para permitir esta avaliação, construiu-se uma tabela que resgata as informações coletadas na tabela da etapa anterior, transformando-as em critérios e subcritérios de avaliação de forma a resultar em duas possíveis respostas, “viável” ou “não viável” para cada subcritério de avaliação. Assim, cada alternativa tecnológica é avaliada por 8 subcritérios econômicos e 8 técnicos, cada um julgado como

viável ou não para o atendimento da função mínima por parte da tecnologia em questão.

Optou-se por não determinar um percentual mínimo de critérios viáveis para a não exclusão da tecnologia por compreender que a decisão final sobre a escolha deve ser do decisor, já que esta metodologia atua como um suporte à decisão.

### **3.3.5 Composição do(s) cenário(s) detalhado (s)**

Os possíveis cenários detalhados são formados pela combinação das técnicas julgadas viáveis. Desta forma, esta etapa resulta num conjunto de  $n$  cenários cujas tecnologias componentes podem ser ambientalmente avaliadas na etapa posterior.

## **3.4 ETAPA 4 - AVALIAÇÃO AMBIENTAL DAS TECNOLOGIAS PARA A RECUPERAÇÃO**

O desenvolvimento desta etapa da metodologia ocorreu com o apoio do grupo de pesquisa em avaliação do ciclo de vida (Ciclog).

Para a avaliação ambiental das tecnologias adotou-se a metodologia de avaliação do ciclo de vida (ACV), normatizada pela ISO 14040 e 14044 (ISO, 2006a; 2006b). Devido à inviabilidade da aplicação da metodologia em todas as tecnologias que podem ser utilizadas na recuperação ambiental de uma área degradada por disposição irregular de resíduos sólidos urbanos, nesta tese optou-se em utilizar a metodologia da ACV apenas para o tratamento do biogás gerado em um lixão.

### **3.4.1 Definição de objetivo e escopo da ACV**

A unidade funcional definida foi o tratamento de  $1 \text{ m}^3$  de biogás. As fronteiras do sistema foram estabelecidas como do berço ao portão (cradle-to-gate), e compreendem os impactos desde a produção dos materiais usados nos equipamentos para geração de energia elétrica e térmica e as emissões oriundas da produção do biogás, sua queima (para os cenários com queima) e da conversão em energia. Considerou-se também a fase de uso. A seguir são descritas as tecnologias avaliadas:

- Queima simples: considera que o biogás gerado nos aterros é queimado com eficiência da queima de 20%.

- Queima por flare: considera o uso de flare para a queima do biogás, assumindo uma eficiência de 90% da queima.
- Aproveitamento da energia elétrica: o biogás coletado é transformado em energia elétrica.
- Aproveitamento da energia térmica: o biogás coletado é transformado em energia térmica.
- Aproveitamento da energia elétrica e térmica: representa uma planta de cogeração, na qual o biogás é convertido em energia elétrica e térmica.

Por queima simples considerou-se a queima direta na saída dos drenos dentro da área do lixão (Figura 13). Por queima por flare, considerou-se o cenário onde há um sistema de coleta de biogás que o encaminha a um *flare* único (Figura 14).

Figura 13 - Cenário de queima simples



Fonte: Ecycle (s.d.)

Figura 14 - Cenário de queima por *flare*



Fonte: Exportpages (2016)

Para os cenários de aproveitamento energético, considerou-se a abordagem de expansão do sistema por meio do método de substituição, ou seja, é considerado que a conversão do biogás em energia elétrica e/ou térmica, substitui o uso de energia de outras fontes, gerando um ‘crédito’ ambiental para estes cenários. Portanto, assumiu-se que são evitadas a produção de energia elétrica da rede e de energia térmica a partir de óleo combustível.

### 3.4.2 Dados

Os dados da composição do biogás e os indicadores de desempenho técnico dos cenários com aproveitamento energético podem ser visualizados na Tabela 8. As emissões durante a queima do biogás, simples e por *flare*, foram estimadas com base na metodologia do IPCC (2006). Para a infraestrutura das plantas de aproveitamento

energético e as emissões do processo de conversão foram utilizados dados *background* da base de dados ecoinvent® (HECK, 2007).

Tabela 8 - Composição do biogás e dados de desempenho utilizados para os cenários de aproveitamento energético.

Características do biogás		
Emissão	Composição (%) <sup>a</sup>	Peso (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>b</sup>
Metano (CH <sub>4</sub> )	52,3	0,716
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	37,1	1,530
Indicadores de desempenho técnico		
Produção de biogás (L <sub>0</sub> ) <sup>c</sup>	73,59	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / ton de resíduos
Eficiência do biogás	28% eletricidade <sup>c</sup>	50% térmica <sup>d</sup>
Poder calorífico inferior (PCI) <sup>e</sup>	6,46 kWh/m <sup>3</sup>	23360 MJ/m <sup>3</sup>

Fontes: a Maciel e Jucá (2013).

b Ferrer e Alves (2006).

c ICLEI (2009).

d Pöschl, Ward e Owende (2010).

e Hamelin *et al.* (2010).

### 3.4.3 Avaliação do impacto de ciclo de vida (AICV)

A AICV foi realizada por meio do método ReCiPe (H), com abordagem *endpoint* e fatores de normalização para a população mundial para o ano 2000 (*World H/A*) (GOEDKOOPE *et al.*, 2009). A escolha deste método justifica-se por utilizar um modelo de caracterização que apresenta os resultados na forma de um indicador único (*single score*), em mPt<sup>4</sup>.

Para formação deste indicador único agregou-se 16 indicadores da lista abaixo. Não se utilizou os indicadores destacados com o asterisco devido à insuficiência de informação quantitativa para a inclusão deles:

- mudanças climáticas
- depleção da camada de ozônio
- acidificação terrestre
- eutrofização de águas doces
- eutrofização marinha\*
- toxicidade humana
- formação de ozônio fotoquímico

<sup>4</sup> mPt=miliPoints. É um valor adimensional.

- formação de material particulado
- ecotoxicidade terrestre
- ecotoxicidade de águas doces
- ecotoxicidade marinha
- radiação ionizante
- ocupação de terra agrícola
- ocupação de área urbana
- transformação de terra natural
- depleção de água\*
- depleção de metais
- depleção fóssil

### 3.5 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA

A validação das etapas desta pesquisa aconteceu em dois momentos distintos. Num primeiro momento avaliou-se as ferramentas resultantes das etapas 1 e 2, que são, respectivamente: o questionário de campo (na forma informatizada, ou seja, o programa para a avaliação ambiental de lixões) e os fluxogramas para a geração de cenários gerais de recuperação.

Para tanto, convidaram-se os mesmos especialistas que participaram da avaliação do questionário e da ponderação de suas categorias. Além disso, buscou-se colaboração junto às prefeituras municipais e empresas especializadas em consultoria ambiental que tivessem experiência com recuperação de lixões.

As prefeituras contatadas estavam na listagem de municípios com os quais o MPSC estabeleceu um Termo de Ajustamento de Conduta em função da existência de lixões em seus territórios. As empresas de consultoria ambiental foram localizadas através de buscas na internet e indicação de profissionais conhecidos e/ou que participaram de forma direta ou indireta da pesquisa.

O link do repositório onde é possível encontrar o programa para a avaliação ambiental de lixões foi fornecido aos usuários que foram responsáveis pela aplicação desta ferramenta, simulando uma situação de real utilização. Foi oferecido suporte e orientação aos usuários durante os processos de instalação e utilização do programa. Em alguns casos, quando solicitado, acompanhou-se a aplicação do questionário em campo e dos fluxogramas para a definição dos cenários gerais de recuperação.

Num segundo momento, ocorreu a validação da etapa 3, representada pela aplicação de planilhas para a avaliação técnica e econômica das tecnologias para a recuperação ambiental de lixões.

O processo de validação ocorreu de forma separada das demais etapas devido às dificuldades dos especialistas em obterem os dados necessários. Tais contratemplos foram devido à exigência de se levantar os custos econômicos implicados na obtenção e transporte dos recursos materiais e contratação dos recursos humanos envolvidos na implementação das tecnologias de recuperação em cada lixão avaliado.

Estes impedimentos foram percebidos ao longo do processo de validação diante da ausência de retorno das avaliações dos especialistas ou das respostas negativas. Em consequência, para a realização da validação exclusivamente desta etapa, contatou-se empresas especializadas na recuperação ambiental de áreas degradadas e empresas com foco específico em promover o tratamento dos meios contaminados, como a água subterrânea. Esta opção ocorreu por compreender que apenas estas empresas teriam conhecimento sobre os custos econômicos envolvidos na recuperação ambiental.

Todavia, mesmo após a mudança na escolha dos especialistas, a validação da metodologia continuou a não acontecer. Alguns especialistas alegaram a impossibilidade da utilização dos dados disponíveis por tratar-se de informação confidencial de seus clientes. Além disso, detectou-se uma resistência por parte das empresas em colaborar, uma vez que se tratava da execução de uma atividade que necessitava de tempo para ser realizada, desviando a equipe técnica das funções habituais e que não se revertia em recursos financeiros à empresa.

Assim, para contornar tais impasses, construiu-se uma avaliação simplificada da metodologia através da proposição das questões apresentadas no Quadro 6 e respondidas com base na experiência de trabalho de cada especialista, levando em conta sua formação acadêmica.

Foram contatados profissionais com formação e experiência prática necessárias para a avaliação em questão, ligados às empresas de consultoria ambiental, ou indicados por terceiros.

Quadro 6 – Avaliação das planilhas para avaliação técnica e econômica das tecnologias

<p>1. A apresentação da ferramenta é de fácil entendimento, permitindo ao usuário aprender a utilizá-la sem necessidade de auxílio técnico?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não</p>
<p>2. A interface da ferramenta é amigável e de fácil utilização?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não</p>
<p>3. Com base em sua experiência, as proposições feitas pela ferramenta estariam coerentes com um diagnóstico da área realizado por você ou sua equipe de trabalho?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não</p>
<p>4. Com base em sua experiência, você acredita que a ferramenta auxiliaria na decisão das ações de recuperação a implementar em um lixão ?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não</p> <p>Por quê?</p>
<p>5. Quais as alterações que você faria na ferramenta de forma a deixá-la mais adequada para atingir o objetivo proposto?</p>
<p>Observações:</p>



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados e efetuadas as discussões pertinentes a estes. Assim, este capítulo vai tratar do questionário de campo (etapa 1 da metodologia), dos fluxogramas para a definição dos cenários gerais de recuperação (etapa 2), da avaliação técnica e econômica das tecnologias (etapa 3) e da avaliação ambiental (etapa 4).

### 4.1 ORIENTAÇÕES AOS USUÁRIOS

Estas orientações servem para a aplicação da metodologia desenvolvida, o que inclui o questionário de campo, os fluxogramas e tabelas, não incluindo a avaliação ambiental das tecnologias (etapa da ACV).

A metodologia desenvolvida tem como público-alvo os profissionais de órgãos públicos ou empresas responsáveis pela recuperação de áreas degradadas pela disposição irregular de RSU, além de outros profissionais que tenham interesse na aplicação da metodologia.

Por conhecer a existência de inúmeras soluções tecnológicas que podem ser aplicadas objetivando a recuperação de lixões, a metodologia não se propõe a oferecer uma solução final, por entender que a escolha envolve diversos critérios, tais como econômicos, técnicos, ambientais e sociais e que a opção pelos critérios mais relevantes para a escolha deve ser realizada pelo decisor. Todavia, a metodologia trabalha com a possibilidade de elucidar a problemática, de forma a apoiar o decisor nas ações a serem executadas.

A metodologia não se destina à escolha de áreas para o recebimento de resíduos ou proposição de alternativas de tratamento para estes. Esta aplica-se às situações nas quais é necessário fazer a recuperação do lixão, cuja atividade de deposição já está encerrada ou que deverá ser encerrada, e que já conta com alternativa de recebimento dos resíduos, garantindo que, após os trabalhos de recuperação, a área não torne a recebê-los. A fim de evitar novos danos ambientais e à saúde pública, a alternativa de recebimento de resíduos deve estar de acordo com normas de engenharia já estabelecidas e utilizadas.

A metodologia desenvolvida não busca trabalhar com a dimensão social, representada pelos catadores presentes em um lixão. No entanto, no projeto de encerramento de um lixão deverão estar previstas ações de inserção social dos catadores, podendo ser a organização e o

encaminhamento destes para participarem de associações ou cooperativas para realizarem os serviços de coleta seletiva ou trabalhar nas Unidades de Triagem, se for o caso.

#### **4.1.1 Qualificações mínimas do usuário da metodologia**

Ao longo do processo de desenvolvimento e validação da metodologia, percebeu-se a necessidade de especificação das qualificações mínimas que o usuário da metodologia deve possuir. Estas qualificações são:

- Possuir, no mínimo, uma formação técnica em meio ambiente ou saneamento que permita conhecimento sobre processo de recuperação de lixões. Desejável ensino superior na área ambiental;
- Possuir conhecimento suficiente: para distinguir as diferentes formas de disposição final de resíduos (lixão, aterro controlado e aterro sanitário) e suas implicações ambientais, sanitárias e sociais; sobre os requisitos técnicos, econômicos e ambientais para a implementação das diferentes tecnologias de recuperação dos meios e sobre a legislação e normalização referentes à problemática;

#### **4.1.2 Listagem de leis e normas necessárias para o preenchimento do questionário**

Antes de iniciar o preenchimento do questionário de campo, o usuário deve ter ao seu alcance:

- Plano nacional de resíduos sólidos;
- Plano estadual de resíduos sólidos (se houver);
- Plano municipal ou intermunicipal de resíduos sólidos (se houver);
- Lei 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos;
- Lei que institua a política estadual de resíduos sólidos (se houver);
- Lei que institua a política municipal de resíduos sólidos (se houver);
- Lei 11.445/2007, que institui a Política Federal de Saneamento Básico,

- Lei estadual de saneamento básico,
- Lei municipal de saneamento básico,
- Planos (nacional, estadual e municipal) de saneamento básico.
- Lei 9985/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC;
- Plano Diretor Municipal (se houver);
- NBR 13896/1997, que fixa condições mínimas exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos, de forma a proteger adequadamente as coleções hídricas superficiais e subterrâneas próximas, bem como os operadores destas instalações e populações vizinhas;
- NBR 10004/2004, que classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente;
- CONAMA 420/2009, que 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;
- CONAMA 396/2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências;
- CONAMA 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

#### **4.1.3 Informações e análises físico-químicas requeridas previamente à visita**

Previamente à visita é importante que o usuário já disponha as informações abaixo, uma vez que as mesmas facilitarão os trabalhos em campo:

- Acumulado de chuva nas 24h anteriores à visita
- Nível piezométrico abaixo últimas dos resíduos

- Tipo de solo e permeabilidade
- Análise de solo segundo CONAMA 420/2009
- Análise de água subterrânea segundo CONAMA 396/2008
- Análise de águas superficiais segundo CONAMA 357/2005
- Mapa de solos da região
- Mapa dos recursos hídricos da região
- Levantamento geotécnico (levantamento planialtimétrico, estudo da estabilidade de taludes)

#### **4.1.4 Aplicação da metodologia**

A correta aplicação da metodologia inicia por uma leitura cuidadosa dos materiais. Os conceitos devem estar bem claros, de forma a evitar erros de interpretação que possam influenciar o processo de apoio à decisão para a escolha das tecnologias.

Antes da aplicação do questionário de campo, é importante que o usuário faça um levantamento das informações já disponíveis em documentos e das informações ainda não disponíveis para que estas sejam providenciadas. Muito útil também é a análise prévia de imagens aéreas que facilitem a identificação da área do lixão e dos elementos de entorno (população, recursos hídricos, etc.).

Embora de elevados custos e, muitas vezes de difícil obtenção, as análises físico-químicas são de fundamental importância por demonstrarem a real situação em relação à contaminação ambiental e devem ser realizadas por equipe técnica capacitada. Na prática, elas são pouco utilizadas devido aos custos, o que leva a diagnósticos incompletos e erros de interpretação das condições ambientais. Sabendo desta questão, a metodologia propõe a realização das mesmas de forma a garantir um resultado mais próximo aos reais impactos.

A avaliação da viabilidade técnico-econômica terá seus custos estimados de acordo com o mercado local e deverá ser feita, preferencialmente junto às empresas que executam as tecnologias avaliadas, como as empresas que fazem a remediação de águas subterrâneas, a fim de estar mais próxima possível da realidade. Essa necessidade é demonstrada em decorrência do desconhecimento dos custos de implantação de cada tecnologia por parte da maioria dos profissionais que usarão a metodologia. Usualmente, as ações reconhecidas pelas municipalidades como sendo de recuperação de um

lixão têm sido o cercamento da área, a cobertura dos resíduos com terra e, mais raramente, a revegetalização.

## 4.2 QUESTIONÁRIO DE CAMPO

Para o usuário da metodologia, esta etapa é fundamental para o desenvolvimento das etapas posteriores e consiste no levantamento sistematizado de dados primários e secundários da área a ser recuperada, organizados na forma de um questionário de campo<sup>5</sup>.

O questionário, bem como seu programa, permite a determinação das alterações sofridas pelos diferentes compartimentos ambientais (ar, águas e solo), bem como, os danos sociais decorrentes da presença do lixão nestas áreas e posterior escolha das alternativas de recuperação a serem aplicadas. As informações coletadas pelo questionário são diversas, tais como:

- Estudos históricos sobre a natureza e quantidade dos resíduos dispostos e o tempo de utilização do lixão;
- Estudos de vulnerabilidade dos meios com base em dados disponíveis: população humana ou vizinhança do lixão; presença e profundidade do lençol freático ou distância de um curso d'água; utilização dos recursos hídricos; configuração topográfica e estabilidade geotécnica (por exemplo, riscos de deslizamento do terreno);
- Investigações locais: observações visuais para a identificação dos impactos ambientais potenciais sobre os meios, fauna e/ou flora e riscos diretos para as populações vizinhas; análises dos meios (parâmetros globais de poluição, odores, etc.); coleta de amostras de solo, resíduos, águas e ar e análises laboratoriais destas.

Esta ferramenta está dividida em 7 partes (análise inicial da área, caracterização do lixão, solo e águas subterrâneas, águas superficiais, meio social, meio natural e paisagens e meio atmosférico) e foi submetida a uma primeira banca de especialistas para avaliação e uma segunda banca para a ponderação das categorias de acordo com

---

<sup>5</sup> Em paralelo a esta tese, ocorreu, no mesmo grupo de pesquisa, o andamento da tese do doutorando Juliano da Cunha Gomes cujo objetivo foi desenvolver um programa capaz de operacionalizar este questionário. Este programa permite estimar o nível de intervenção de cada lixão a ser recuperado e, nas situações de dois ou mais lixões, classificá-los de acordo com a ordem de prioridade de recuperação em função de uma escala numérica resultante da atribuição de pesos às categorias e pontuação às diferentes possíveis respostas. Tal tese também informatizará as demais etapas desta pesquisa.

diferentes situações específicas a que podem estar sujeitas um lixão, além da etapa de validação. Todas as questões dentro das categorias possuem o mesmo peso, embora seus parâmetros possuam pontuação diferenciada, estando ordenados da menor à maior pontuação.

Após a análise das proposições feitas pelos doutores chegou-se a um formato final deste questionário (Apêndice C). Esta seção vai descrever os resultados pertinentes às bancas de especialistas, desenvolvimento do questionário de campo, ou seja, escolha das questões componentes. A etapa de validação da ferramenta será descrita em outra seção.

#### **4.2.1 Das bancas de especialistas**

Ao longo do desenvolvimento do questionário, este foi submetido a duas bancas de especialistas com finalidades diferentes. A primeira teve como foco avaliar o alcance do objetivo pela aplicação desta ferramenta, a pertinência dos questionamentos propostos ou a possível ausência de questões importantes. A segunda banca foi utilizada para a ponderação das categorias do questionário dentro de 5 situações genéricas, de forma a possibilitar o desenvolvimento de um programa. Os resultados relativos a ambas as bancas são descritos na sequência do texto.

##### **4.2.1.1 Banca de especialistas para a avaliação do questionário**

Esta banca de especialistas avaliou a construção dos questionamentos sendo composta por doutores especialistas em resíduos sólidos e/ou geotecnia, hidrologia, ou ainda, a outros aspectos relacionados à temática selecionados através da Plataforma Lattes.

Dos 243 resultados apresentados pela plataforma, após a análise dos currículos, chegou-se a 60 selecionados (25% da amostra inicial) como sendo os mais aptos a colaborar com o desenvolvimento do trabalho<sup>6</sup>, de acordo com a experiência profissional. Além destes, mais 6 especialistas foram indicados pelos próprios participantes.

---

<sup>6</sup> Buscou-se os especialistas na plataforma Lattes utilizando-se a combinação de palavras-chaves “resíduos sólidos” e “recuperação de lixões”. Todavia, a análise dos currículos permitiu averiguar que muitos não tinham de fato uma experiência expressiva que fosse resultar em contribuições satisfatórias para a pesquisa.

Todos os 66 foram contatados e convidados a participar da avaliação do questionário, todavia, apenas 15 profissionais retornaram a ferramenta já avaliada, resultando num percentual de 23% conforme Figura 15. A mesma figura traz os resultados do contato com os 66 especialistas divididos em 4 grupos de acordo com a resposta fornecida.

O grupo 1 corresponde ao não retorno por parte do especialista quando contatado por e-mail (36 especialistas ou 54%). O grupo 2 corresponde ao caso dos especialistas que retornaram o e-mail de contato afirmando que não haviam interesse em participar ou que não se julgavam aptos para tal (8 especialistas ou 12%). O grupo 3 corresponde aos especialistas que manifestaram o interesse em participar da avaliação do questionário, mas que não retornaram este já avaliado (7 especialistas ou 11%). E por fim, o grupo 4 é correspondente aos 15 especialistas que contribuíram para a avaliação do trabalho.

Figura 15– Resultado do contato com os 66 especialistas



Fonte: Desenvolvido pela autora

O alto percentual de respostas enquadradas na situação 1 pode ter diversas origens como e-mail de contato desatualizado, uma vez que dentro desta situação também ocorreu, em poucos casos, a devolução automática do e-mail. Além disso, a vida profissional e/ou pessoal atribulada do pesquisador que faz com que não seja possível verificar a tempo todos os e-mails recebidos.

Este último motivo também pode estar associado à situação 2 e, principalmente, à 3 conforme as respostas recebidas relacionadas a falta

de tempo. Em alguns casos, este foi o motivo para a não participação na pesquisa e em outros, o pesquisador afirmou precisar de um tempo de retorno maior do que o inicialmente proposto, o que acabou por se converter na não colaboração.

Para todos os especialistas consultados o questionário, da maneira que foi construído, cumpre o objetivo de ser uma ferramenta destinada à avaliação dos lixões.

Quanto às contribuições/observações dos especialistas, elas foram em grande número devido à extensão do questionário e assim, elas não serão discutidas uma a uma. Todavia, dentre as inúmeras observações relacionadas à pertinência e ausência de questionamentos, destacou-se:

- Ausência de questionamentos sobre a propriedade do terreno e demais aspectos legais (itens acrescidos);
- Dúvidas sobre a necessidade de questionamento sobre as condições meteorológicas no dia da visita (item mantido e justificado mais a frente);
- Ausência de campo para anexo de fotos e croqui do terreno (itens acrescidos);
- Ausência de item questionando se o lixão está localizado em área urbana ou rural (item acrescido);
- Ausência de contato do(s) informante(s) (item acrescido);
- Dúvidas sobre a necessidade de questionamento sobre a existência de impermeabilização inferior (item mantido e justificado mais a frente);
- Ausência de questionamentos sobre as populações sensíveis na área ou entorno do lixão (item acrescido).

As contribuições julgadas pertinentes foram acatadas e o questionário modificado de forma a atingir o formato final.

#### 4.2.1.2 Banca de especialista para a ponderação das categorias

Para a ponderação das categorias dentro das 5 situações genéricas que um lixão pode estar submetido, 14 especialistas foram contatados através de e-mail. Destes 14 especialistas, obteve-se o retorno de 9 ponderações conforme apresentado na Tabela 9. As situações genéricas utilizadas para a ponderação são:

- Situação 1, onde um lixão pode estar dentro de uma área de interesse ambiental ou protegida, como área de preservação permanente (APP), Reserva Legal (RL), ou Unidade de Conservação (UC) como definido pelo Lei 9985/2000.
- Situação 2: Área urbana

- Situação 3: Área rural
- Situação 4: Região de várzea, curso d'água intermitente e corpos hídricos dentro de um raio de 200 m do lixão
- Situação 5: Área industrial

É importante lembrar que nesta etapa a ponderação das categorias dentro das diferentes situações ocorreu apenas para as categorias “caracterização do lixão”, “solo e águas subterrâneas”, “águas superficiais”, “social”, “meio natural e paisagens” e “meio atmosférico”. Portanto, a primeira parte do questionário, a análise inicial da área não foi utilizada diretamente para a avaliação e classificação de lixões.

É possível perceber na Tabela 9 que, em relação à situação 1, houveram divergências acentuadas entre os especialistas consultados. Mas, de modo geral, os especialistas consideraram que as categorias meio social e meio atmosférico não apresentavam grande importância dentro desta situação. É interessante destacar a baixa pontuação obtida pelo meio atmosférico, de certa maneira subestimada, tendo em vista os impactos potenciais que um lixão pode ter sobre a atmosfera. Para os especialistas, as categorias mais relevantes dentro da situação onde um lixão pode estar numa área de interesse ambiental ou protegida são as categorias de solo e águas subterrâneas, água superficial e meio natural e paisagens.

Na situação 2, que considera a possibilidade de um lixão estar em uma área urbana, a categoria à qual mais se atribuiu importância foi a de meio social, como era esperado. Já na situação 3, que considera a possibilidade do lixão estar no meio rural, ocorreu o inverso, e as categorias que receberam maior pontuação foram as de solo e águas subterrâneas e água superficial, enquanto que o meio social recebeu a pontuação mais baixa.

Na situação 4, em uma situação onde o lixão está em uma área rica em recursos hídricos, considerou-se como mais importantes as categorias solo e águas subterrâneas e águas superficiais.

E por fim, na situação 5 que considera a possibilidade do lixão estar em uma área industrial, as maiores pontuações também foram atribuídas ao solo e águas subterrâneas e águas superficiais.

Tabela 9 - Ponderação de cada categoria dentro das situações genéricas segundo cada especialista

	Espec.1	Espec.2	Espec.3	Espec.4	Espec.5	Espec.6	Espec.7	Espec.8	Espec.9	Média aritm.	Média adotada
<b>Situação 1</b>											
Caracterização do lixo	10	5	20	30	5	20	10	20	25	16,11111	16
Solo e água subterrânea	20	25	20	20	30	25	25	20	20	22,77778	23
Água superficial	20	25	20	20	30	15	25	20	20	21,66667	22
Meio social	10	5	5	10	5	10	10	10	10	8,333333	8
Meio natural e paisagens	30	30	30	10	30	25	25	10	20	23,33333	23
Meio atmosférico	10	10	5	10	0	5	5	20	5	7,77778	8
<b>Situação 2</b>											
Caracterização do lixo	10	15	20	20	5	20	20	20	25	17,22222	17
Solo e água subterrânea	5	20	20	20	30	20	10	5	20	16,66667	17
Água superficial	5	10	20	15	20	20	10	5	20	13,88889	14
Meio social	40	20	20	15	20	20	25	30	20	23,33333	23
Meio natural e paisagens	20	10	10	10	20	15	10	20	5	13,33333	13
Meio atmosférico	20	25	10	20	5	5	25	20	10	15,55556	16
<b>Situação 3</b>											
Caracterização do lixo	5	10	20	20	10	20	15	15	20	15	15
Solo e água subterrânea	30	15	20	20	30	25	25	25	20	23,33333	23

Água superficial	30	25	20	25	25	20	25	25	25	24,4444	24
Meio social	10	10	10	10	5	10	5	5	15	8,888889	9
Meio natural e paisagens	15	25	20	15	25	20	25	15	10	18,88889	19
Meio atmosférico	10	15	10	10	5	5	5	15	10	9,444444	10
<b>Situação 4</b>											
Caracterização do lixo	10	10	15	25	5	20	5	15	15	13,33333	13
Solo e água subterrânea	20	25	30	10	30	25	25	35	25	25	25
Água superficial	30	25	30	30	30	20	30	30	25	27,77778	28
Meio social	10	10	5	10	10	5	5	5	15	8,333333	8
Meio natural e paisagens	20	20	15	15	20	25	30	5	10	17,77778	18
Meio atmosférico	10	10	5	10	5	5	5	10	10	7,777778	8
<b>Situação 5</b>											
Caracterização do lixo	10	20	15	20	5	25	20	20	15	16,66667	17
Solo e água subterrânea	10	25	25	15	30	25	20	15	30	21,66667	22
Água superficial	10	20	25	20	20	25	20	15	30	20,55556	20
Meio social	30	15	10	20	20	10	15	20	15	17,22222	17
Meio natural e paisagens	20	5	15	10	20	10	15	15	5	12,77778	13
Meio atmosférico	20	15	10	15	5	5	10	15	5	11,11111	11

Desta forma, percebe-se que para os especialistas, as categorias que mais foram relevantes na maioria das situações são as de solo e águas subterrâneas e águas superficiais. Por outro lado, de maneira geral, as categorias menos relevantes para os especialistas foram as dos meios social e atmosférico.

#### **4.2.2 Composição do questionário**

A análise dos materiais já descritos na metodologia e as sugestões feitas pelos especialistas consultados permitiram a composição do questionário de campo. Abaixo seguem as discussões, justificativas e observações referentes às questões e seus parâmetros.

As proposições feitas pelos especialistas são de naturezas diversas, como reformulações, supressões e acréscimos de questionamentos e de possíveis respostas. Devido a grande quantidade de proposições apresentadas, as mesmas não serão discutidas, da mesma forma que não serão apresentadas as alterações efetuadas ao longo do processo.

##### **4.2.2.1 Análise inicial da área**

Como análise inicial da área têm-se a identificação e caracterização desta, as condições meteorológicas no dia da visita e as diferentes situações físicas, geográficas ou legais que podem ocorrer em uma área que abriga um determinado lixão.

Muitos lixões estão dentro da área urbana e podem ser facilmente localizados através do endereço composto pelo nome da rua, número e bairro. No entanto, esse mesmo tipo de localização não é válido quando se trata de um terreno localizado em área rural, por isso a necessidade de utilização de coordenadas geográficas.

A bacia hidrográfica, a localização em área urbana ou rural ou em áreas de preservação permanente, o enquadramento da área segundo plano diretor municipal e utilização futura da área são importantes para a definição das ações de planejamento em relação a esta, bem como para o seu enquadramento dentro de uma das 5 situações possíveis – lembrando que destas situações dependem ponderações diferentes em relação às categorias.

O período de atividade do lixão e os tipos de resíduos aterrados (questionado mais a frente) permitem uma noção geral sobre os riscos sanitários e ambientais.

É importante identificar o proprietário do terreno principalmente se os recursos da recuperação forem de origem pública.

A identificação do(s) informante(s) e função(ões) realizada(s) são elementos indispensáveis para eventuais esclarecimentos.

Muitos especialistas consultados expressaram dúvidas quanto a real necessidade de se questionar sobre as condições meteorológicas no dia da visita. Todavia, optou-se por manter este item por compreender-se que este possui influência sobre a percepção de odores e incidência de insetos. Da mesma forma, também optou-se por manter o questionamento sobre a intensidade e direção dos ventos por influenciar também na percepção de odores.

A questão sobre o acumulado de chuvas nas últimas 24h foi acrescentada ao questionário por possuir influência sobre a formação de lixiviado e seu escoamento superficial.

Foi também sugerido pelos especialistas consultados a disponibilização de um espaço no qual possam ser inseridas fotos e croqui do lixão. Optou-se por colocar este espaço ao final do questionário.

Esta parte do questionário é utilizada como complementar no processo de avaliação do lixão e planejamento das ações de recuperação. Portanto, não tem implicação direta na pontuação final utilizada para a verificação do nível de intervenção e hierarquização dos lixões.

A fim de orientar o processo de preenchimento do questionário, acrescentou-se inicialmente uma lista de leis e normas necessárias para o preenchimento do questionário e uma lista de informações e análises físico-químicas requeridas previamente à visita.

#### 4.2.2.2 Caracterização do lixão

A partir desta categoria, todas as discussões e justificativas pertinentes a cada questão serão mais profundamente exploradas, uma vez que as mesmas possuem influência direta na avaliação do lixão em decorrência da pontuação apresentada.

Diferentemente da análise inicial da área onde é possível descrever o terreno como um todo e o seu entorno, esta parte é direcionada para análise direta do lixão e seus elementos constituintes.

- *Questões 1.1 – Área do lixão e 1.4 – Espessura da camada de resíduos*

São duas informações de suma importância para a avaliação do nível de intervenção associado a um lixão e posteriormente, aplicação

das técnicas de recuperação, pois são utilizadas para o cálculo do volume de resíduos e são recomendadas por diversos autores como Bahia (2013), Joseph et al. (2004) e *Agence de l'environnement et de La maîtrise de l'énergie* (2005).

Os parâmetros apresentados nestas questões tiveram seus valores fixados arbitrariamente com base nos diferentes estudos de caso de lixões brasileiros:

Questão 1.1

- a) < 5.000 m<sup>2</sup>
- b) de 5.000 m<sup>2</sup> a 50.000 m<sup>2</sup>
- c) de 50.000 m<sup>2</sup> a 500.000 m<sup>2</sup>
- d) > 5.000 m<sup>2</sup>

Questão 1.4

- a) menos de 2 m
- b) de 2 a 10 m
- c) mais de 10 m
- d) dado não existente

- *Questão 1.2 – Atividade do lixão*

Este item indica se o lixão em avaliação ainda está ativo ou se já foi fechado e há quanto tempo ele não está mais em atividade. Quanto mais tempo desativado, menor será a geração de biogás e lixiviado. Sabe-se que os processos de degradação da matéria orgânica podem persistir por um período indeterminado após o encerramento do lixão ou aterro (AINA, 2006; JOSEPH *et al.*, s.d.; *AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE*, 2005). Em função disso, no Brasil, utiliza-se o tempo de 20 anos após o encerramento da atividade como o tempo mínimo necessário de monitoramento e tratamento de lixiviado e biogás. Esse tempo de 20 anos foi adotado como valor de referência para uma situação com menor risco ambiental e sanitário. Para esta questão os parâmetros fixados são:

- a) Lixão fechado há mais de 20 anos
- b) Lixão fechado num tempo entre 10 e 20 anos
- c) Lixão fechado há menos de 10 anos
- d) Ainda em atividade

- *Questão 1.3 – Acidentes e eventos importantes no lixão*

Este item objetiva apresentar um quadro geral sobre a possibilidade de eventos geotécnicos muito comuns em lixões, como adensamentos dos resíduos (recalques), deslizamentos e erosões, conforme relatado por Bervique (2008), Fundação Estadual de Meio Ambiente (2010) e Alberte, Carneiro e Kan (2005).

Optou-se por, simplificadamente, descrever com “sim” ou “não” a ocorrências destes eventos, além de um campo para acrescentar outros eventos não descritos.

- *Questão 1.5 – Natureza dos resíduos segundo a NBR 10.004/2004*

Este item está diretamente relacionado à periculosidade dos resíduos aterrados e sua investigação é recomendada para os processos de recuperação de lixões por diversos autores, como Bahia (2013), Joseph et al. (2004) e *Agence de l'environnement et de La maîtrise de l'énergie* (2005). Alcantara et al. (2011) ressaltam que normalmente, os aterros que contêm apenas RSU apresentam baixos níveis de metais pesados no lixiviado. Valores mais elevados, provavelmente, ocorrem em decorrência da disposição de resíduos industriais, pois estes aumentam a possibilidade de contaminação do solo e da água com metais pesados. Sobre a disposição de resíduos de serviço de saúde, os autores afirmam que representa um grande risco à saúde pública e ao meio ambiente devido a possível presença de agentes biológicos de maior virulência ou concentração, de substâncias químicas e materiais perfurocortantes ou escarificantes, além da presença de seringas e agulhas que aumentam os riscos de acidentes com os catadores eventualmente presentes.

Devido à falta de controle sobre o que é lançado, é bastante comum nos lixões a presença de resíduos industriais e de serviços de saúde em meio aos resíduos domésticos (SERRA e RODRIGUES, 2002; LOPES, LEITE e PRASAD, 2013). Também ocorre a disposição de carcaças animais, aumentando os riscos à saúde pública (MEDEIROS et al., 2008).

A definição dos parâmetros ocorreu com base na NBR 10004/2004, sendo possível, neste caso, a múltipla escolha das respostas:

- a) Resíduos inertes – classe II B
- b) Resíduos domésticos – classe II A
- c) Resíduos perigosos – classe I

- *Questão 1.6 – Impermeabilização superior*

A presença de cobertura superior é importante sob diversos aspectos: evitar a dispersão de resíduos, a liberação de gases, a proliferação de vetores, o acesso de animais domésticos, a infiltração das águas das chuvas na massa de resíduos (MANSOR, et al., 2010). Além da situação clássica de resíduos estarem dispostos sem cobertura, é muito comum que estes sejam cobertos apenas por uma camada de terra que é insuficiente para impedir, principalmente, o problema de infiltração das águas pluviais. A ausência de material de cobertura, ou ainda, a cobertura inadequada dos resíduos foi evidenciada na literatura

por Alcantara *et al.* (2011), França e Ruaro (2009), Possamai, Costa e Viana (s.d.), Lopes, Leite e Prasad (2013), Medeiros *et al.* (2008).

A definição dos três parâmetros utilizados nesta questão ocorreu com base na NBR 13896/1997:

- a) Existente e construída de acordo com a NBR 13896/1997, sendo capaz de impedir a infiltração das águas pluviais e emissão de gases
- b) Existente, mas não construída de acordo com a NBR 13896/1997, portanto, não sendo capaz de impedir a infiltração das águas pluviais dentro do solo ou é apenas parcial
- c) Inexistente

*- Questão 1.7 – Pluviometria*

Possui influência bastante acentuada na geração de lixiviados. Os parâmetros desta questão foram estabelecidos com base em dados de pluviometria anual no Brasil apresentados por Serviço Geológico do Brasil (2011):

- a) 0-400 mm/ano
- b) 400-800 mm/ano
- c) 800-1600 mm/ano
- d) mais do que 1600 mm/ano

*- Questão 1.8 – Declividade do terreno*

Possui relação com os eventos geotécnicos que podem ocorrer no terreno e sua investigação foi recomendado por Joseph *et al.* (2004) e Fundação Estadual de Meio Ambiente (2010). Os parâmetros desta questão foram estabelecidos com base em valores de declividade em terras brasileiras estudados por Serviço Geológico do Brasil (2011):

- a) 0-3% (plano)
- b) 3-8% (ligeiramente ondulado)
- c) 8-20% (ondulado)
- d) 20-45% (fortemente ondulado)
- e) 45-75% (montanhoso)
- f) 75-100% (escarpado)

#### 4.2.2.3 Solo e águas subterrâneas

*- Questão 2.1 – Impermeabilização inferior*

Esta questão mostrou-se bastante polêmica. Muitos doutores afirmaram que, sendo um lixão, este item estaria obrigatoriamente ausente. Todavia, vale destacar que considera-se como disposição inadequada de resíduos de sólidos todas as formas de disposição final de resíduos que apresentem risco sanitário e ambiental, o que inclui aterros controlados e aterros sanitários que, por questões diversas, deixaram de ser operados de acordo com as normas, como relatado por Dias, Carvalho e Limons (2013). Nesta tese, a fim de facilitar a compreensão e utilização da metodologia desenvolvida, o termo “disposição

inadequada de resíduos sólidos” foi substituído em todas as ferramentas pelo termo “lixão”. Portanto, considerou-se a possibilidade de existência de impermeabilização inferior. A definição dos parâmetros ocorreu com base na NBR 13896/1997 e são:

- a) Existente e construída de acordo com a NBR 13896/1997, sendo capaz de impedir a infiltração de lixiviados
- b) Existente, mas não construída de acordo com a NBR 13896/1997
- c) Inexistente
- d) Dado não existente

- *Questão 2.2 - Presença de lixiviados nos taludes, aterros e entornos*

Considerando a importância desta questão no que se refere aos aspectos sanitários e ambientais a mesma foi incluída. Seus parâmetros foram definidos de acordo com as possíveis situações que podem ocorrer em um lixão: a) não se constata visualmente a presença de lixiviados; b) presença de fluxo de lixiviados após forte chuva; c) presença visível e constante de lixiviados.

Nos estudos de caso, foi evidenciada a presença de afloramento de lixiviado por diversos autores, incluindo Medeiros *et al.* (2008).

- *Questões 2.3 - Existência de coleta de lixiviados e 2.4 – Existência de tratamento de lixiviados*

Considerou-se que a coleta de lixiviados não está necessariamente atrelada ao tratamento destes. Desta forma, optou-se por manter os dois questionamentos separados. Os parâmetros dos mesmos foram definidos com base nas possíveis situações que podem se passar em um lixão:

Questão 2.3

- a) Sim
- b) Parcial
- c) Não

Questão 2.4

- a) Sim
- b) Sim, mas não adequado para evitar contaminação
- c) Não

- *Questão 2.5 – Natureza do solo sob o lixão*

A *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005) ao tratar dos fenômenos de transporte de contaminantes, cita a convecção ou dispersão convectiva como sendo o transporte dos solutos pelo movimento do fluido em deslocamento, na ocorrência do fluxo das águas para o lençol freático ou para as águas superficiais. Este processo depende das características do meio como tamanho dos poros,

heterogeneidade, tortuosidade, granulometria, provocando espalhamento da poluição e uma diluição da pluma com as águas não contaminadas.

Além disso, alguns fenômenos atuam na atenuação ou limitação da transferência de poluentes, como é o caso da adsorção. Determinados elementos e características do solo são responsáveis pelo fenômeno de adsorção, diminuindo a possibilidade de contaminação do lençol freático.

Portanto, considerou-se fundamental propor a investigação dos tipos de solos sob o lixão.

Para os parâmetros desta questão considerou-se os 3 grandes grupos de solo e considerando-se que um solo não é composto por apenas um tipo de mineral, optou-se por acrescentar o termo “predominantemente”:

- a) Solo predominantemente argiloso
- b) Solo predominantemente siltoso
- c) Solo predominantemente arenoso

- *Questão 2.6 – Permeabilidade do solo onde está localizado o lixão*

Conforme *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005), os fenômenos de transporte de poluentes no solo dependem de inúmeros fatores. A permeabilidade do solo é um dos fatores que atuam influenciando a suscetibilidade de contaminação das águas subterrâneas. Ainda, segundo *Alcantara et al.* (2011), permeabilidade à água é um parâmetro que diz respeito à geração de lixiviado. Os parâmetros foram definidos com base na NBR 13896/1997:

- a) Inferior a  $5 \times 10^{-5}$  cm/s
- b)  $5 \times 10^{-4}$  cm/s
- c) Maior que  $5 \times 10^{-4}$  cm/s

- *Questão 2.7 – Nível piezométrico abaixo dos resíduos*

Sabendo que quanto maior for a distância entre os resíduos e as águas subterrâneas, menor é a probabilidade de contaminação das mesmas, uma vez que o solo atua na retenção dos contaminantes, embora, seja preciso destacar que o tipo de solo exerce importância fundamental neste processo.

Os parâmetros foram definidos com base na NBR 13896/1997:

- a) > 3 m
- b) 1,5 – 3 m
- c) <1,5 m

- *Questão 2.8 – Se a distância entre os resíduos e a água subterrânea é inferior a 1,5m*

Ainda ao tratar dos mecanismos de transporte de poluentes, *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005) discorre sobre a difusão molecular que se produz sobre efeito de gradiente de concentração e quando existe uma continuidade líquida entre os resíduos e o meio (na água subterrânea, por exemplo). Nesta situação, a substância migra de uma zona de forte concentração para uma zona de fraca concentração. Portanto, esta questão verifica a possibilidade de contaminação direta da água subterrânea pelos resíduos. Os parâmetros foram definidos com base em *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005):

- a) Resíduos fora do contato com a água subterrânea
- b) Resíduos potencialmente banhados
- c) Resíduos banhados

- *Questão 2.9 – Descontinuidades do terreno sobre o qual está o lixão*

Esta questão novamente verifica a possibilidade de contaminação direta da água subterrânea pelos resíduos devido à estrutura geológica sobre a qual está assentado o lixão. Os parâmetros foram definidos com base em *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005):

- a) Ausência reconhecida de falhas, fraturas ou de carstificações no terreno onde está o lixão ou em sua proximidade
- b) Ausência de falhas, fraturas ou de carstificações no terreno onde está o lixão, mas presente nas proximidades
- c) Presença de falhas, fraturas ou de carstificação intensa no terreno onde está o lixão

- *Questão 2.10 – Contaminação do solo comprovada devido à presença de uma ou mais substâncias cujos valores ultrapassam os limites recomendados pela resolução CONAMA Nº 420/2009?*

Um dos quesitos mais frequentemente verificados quando se trata da avaliação de lixões. Análises químicas do solo do antigo lixão de Juazeiro do Norte (CE), realizadas por Alcantara *et al.* (2011), no ponto de acúmulo de lixiviado, revelaram uma concentração elevada de manganês, bário, cromo, chumbo, cobalto, cobre e zinco. Valores elevados de matéria orgânica, ferro, cobre, manganês e zinco também foram verificados por Beli *et al.* (2005). Outros autores também

constatarem a poluição do solo, como França e Ruaro (2009), Oliveira e Pasqual (2004), Zanta e Ferreira (2002) e Vilhena (2010).

Os parâmetros definidos são:

- a) Não
- b) Sim
- c) Dado não existente

*- Questão 2.11 – Contaminação das águas subterrâneas comprovada devido à presença de uma ou mais substâncias cujos valores ultrapassam os limites recomendados pela resolução CONAMA Nº 396/2008 conforme uso preponderante das águas subterrâneas?*

Esta questão também é largamente encontrada na literatura referente ao tema e sua investigação foi proposta por Alberte, Carneiro e Kan (2005) e Fundação Estadual de Meio Ambiente (2010). Alguns autores realizaram estudos de caso onde constataram a contaminação das águas subterrâneas (VILHENA, 2010; SERRA e RODRIGUES, 2002; OLIVEIRA e PASQUAL, 2004; ALCANTARA *et al.*, 2011). O último estudou a situação do antigo lixão de Juazeiro do Norte (CE) e realizou análises de poços da área do entorno do lixão que são utilizados diariamente para dessedentação de animais, irrigação e consumo humano, encontrando diversas alterações nos valores em relação aos padrões da CONAMA 396/2008 e Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

Os parâmetros foram definidos com base em CONAMA 396/2008:

- a) Não
- b) Sim
- c) Dado não existente

*- Questões 2.12 – Distância de um ponto de alimentação de água potável de uso doméstico e 2.13 – Distância de um ponto de alimentação de água para o abastecimento público*

A possibilidade de contaminação das águas subterrâneas por parte do lixão torna-se mais grave ao considerarmos a utilização para o abastecimento humano. Esta possibilidade é citada por Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2001b). Nestas questões, formuladas com base em *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005), considerou-se como “uso doméstico” a água captada para o consumo direto de uma ou mais famílias sem que a esta passe por um tratamento antes de sua utilização e considerou-se “abastecimento público” a situação na qual a água é captada por uma

empresa responsável por seu tratamento e distribuição. Para ambas as questões os parâmetros foram definidos conforme NBR 13896/1997:

- a) > 200 m
- b) 100-200 m
- c) < 100 m
- d) Desconhecida

- *Questão 2.14 – Uso preponderante da água subterrânea ou entorno diretamente afetado pela presença do lixão*

Muitas bibliografias discorrem sobre a influência do lixão, não apenas dentro da área na qual ele está, mas também em relação ao entorno. Esta questão, embora não seja frequentemente proposta para a avaliação de lixões, considera a potencialidade de riscos econômicos e de saúde pública caso a água subterrânea apresente suas propriedades alteradas pela presença do lixão. Assim, os parâmetros foram propostos pela autora dentro desta lógica:

- a) Não utilizada
- b) Uso animal, na agricultura, piscicultura, lazer ou industrial
- c) Abastecimento humano

#### 4.2.2.4 Águas superficiais

Nesta categoria, alguns especialistas apontaram a possibilidade real de existência de mais de um corpo hídrico dentro da mesma área. Devido à dificuldade de se trabalhar com esta situação dentro do questionário, optou-se por aplicar-se as questões abaixo ao corpo hídrico mais próximo.

- *Questões 3.1 - Distância de um ponto de alimentação em água potável para o uso doméstico e 3.4 - Distância de um ponto de alimentação em água potável para o uso público*

A possibilidade de contaminação das águas superficiais por parte do lixão se torna mais grave se considerarmos a utilização para o abastecimento humano. Nestas questões, formuladas com base em *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005), considerou-se como “uso doméstico” a água captada para o consumo direto de uma ou mais famílias sem que a esta passe por um sistema público de tratamento antes de sua utilização e “abastecimento público” a situação na qual a água é captada por uma empresa responsável por seu tratamento e distribuição. Para a definição dos parâmetros considerou-se a NBR 13896/1997:

- a) > 200 m
- b) 100-200 m
- c) < 100 m
- d) Desconhecida

- *Questão 3.2 – Utilização das águas*

Novamente busca-se a avaliação da influência do lixão em relação à qualidade das águas. Neste caso, esta avaliação está pautada na classe das águas superficiais que podem sofrer contaminação pela presença do lixão. Os parâmetros foram definidos com base no CONAMA 357/2005:

- a) Classe IV
- b) Classe III
- c) Classe II
- d) Classe I
- e) Classe especial

- *Questões 3.3 – Distância entre o lixão e a borda do corpo hídrico mais próximo; 3.5 – Distância da zona balneável mais próxima e 3.6 – Distância da nascente d'água mais próxima*

As três questões relacionam a influência do lixão com usos diversos das águas superficiais tomando como base o proposto por *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005). A proximidade de corpos hídricos com lixões foi destacada na literatura por França e Ruaro (2009).

Para as três questões, os parâmetros basearam-se na NBR 13896/1997:

- a) > 200 m
- b) 100-200 m
- c) < 100 m

- *Questão 3.7 – Uso preponderante da água de superfície*

Igualmente a questão 2.14, esta também discorre sobre a influência do lixão, não apenas dentro da área na qual ele está, mas também em relação ao entorno. No entanto, diferentemente àquela questão, esta associa-se às águas de superfície. Diferentes usos das águas superficiais próximas a um lixão foram encontrados na literatura como dessedentação de animais, higiene, lavagem de roupas e de utensílios domésticos (ALCANTARA *et al*, 2011).

Os parâmetros foram propostos pela autora dentro da lógica aplicada à questão 2.14:

- a) Não é utilizada

- b) Uso animal, na agricultura, piscicultura, lazer ou industrial
- c) Abastecimento humano

- *Questão 3.8 – Poluição das águas constatada por análises – valores máximos permitidos de turbidez, DQO, DBO, pH, OD, E. Coli, cloreto e nitrogênio amoniacal estabelecidos pela resolução CONAMA N° 357/2005?*

Esta questão também é largamente encontrada na literatura referente ao tema e diversos autores recomendam sua investigação nas áreas de lixão a recuperar, como Alberte, Carneiro e Kan (2005) e Fundação Estadual de Meio Ambiente (2010). Segundo Alcantara *et al.* (2011), a poluição das águas superficiais em decorrência da presença de lixão provocou alteração de valores referentes à coliformes, cloretos, nitrogênio amoniacal, manganês. A poluição das águas superficiais também foi relatada por Deusdará *et al.* (2011), Serra e Rodrigues (2002), Medeiros *et al.* (2008), Oliveira e Pasqual (2004), Vilhena (2010) e Beli *et al.* (2005).

Os parâmetros utilizados nesta questão foram definidos com base em CONAMA 357/2005:

- a) Não
- b) Sim

#### 4.2.2.5 Meio social

Esta categoria busca avaliar a influência do lixão na qualidade de vida das populações residentes no entorno ou, até mesmo, assentadas sobre eles, ou que frequentam as imediações, bem como nas atividades exercidas por estas populações. A Fundação Estadual de Meio Ambiente (2010) destaca a interferência da estrutura local devido à chegada de populações de baixa renda no entorno em busca de alternativa de trabalho proporcionada pela catação e comercialização de materiais recicláveis do lixão. As condições insalubres e sub-humanas desta situação podem ser agravadas pela disposição de resíduos de serviço de saúde e industriais.

Muito importante foi a participação da banca na avaliação desta categoria ao perceber a ausência de questionamentos sobre a presença das populações sensíveis nas proximidades de um lixão (ativo ou inativo) e as atividades de agricultura e lazer que podem ocorrer.

- *Questões 4.1 – Densidade populacional dentro de um raio de 500 m e 4.4 – Distância do núcleo populacional mais próximo*

Quanto maior for a presença humana na área de influência de um lixão, maiores são os riscos sanitários associados a este. França e Ruaro (2009), Possamai, Costa e Viana (s.d.), Lopes, Leite e Prasad (2013) destacaram a presença de populações no entorno de lixões ou ainda sobre estes.

Ambas as questões e seus parâmetros foram elaborados com base em *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005) e NBR 13896/1997:

Questão 4.1

- a) < 10 residências
- b) 100 – 10 residências
- c) > 100 residências

Questão 4.4

- a) > 500 m
- b) < 500 m
- c) Há aglomeração humana sobre o terreno do lixão ou imediatamente ao lado

- *Questão 4.2 – Há presença de hospital, creche, escola ou asilo na área do lixão ou num raio de 500 m?*

A presença de populações vulneráveis (crianças, idosos e doentes) próximas ao lixão torna mais delicada esta situação e foi relatada por Cavazzana, Schiapatti e Lima (2012), Lopes, Leite e Prasad (2013).

Como não há normalização nem legislação pertinente, o valor de 500 m foi estabelecido com base na NBR 13896/1997:

- a) Não
- b) Sim

- *Questão 4.3 – Odores do lixão*

A presença de odores pode denunciar a possibilidade de emanções de biogás, que por sua vez, podem representar sérios riscos à segurança e propriedades. Além disso, o ar é veículo importante para a transmissão de substâncias tóxicas ao homem (BELI *et al*, 2005). A presença de gases na atmosfera foi verificada por Cavazzana, Schiapatti e Lima (2012), França e Ruaro (2009), Serra e Rodrigues (2002), Bervique (2008) e Vilhena (2010).

Os parâmetros, neste caso, são qualitativos por compreender-se as dificuldades inerentes a medição precisa de biogás e foram estabelecidos conforme *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005):

- a) Sem odores
- b) Odores fracos
- c) Odores fortes

- *Questão 4.5 – Existência de atividades agropecuárias na área ou no entorno*

Sabendo-se que muitas vezes os lixões encontram-se localizados em áreas rurais, torna-se pertinente verificar a possibilidade de ocorrência de atividades agrícolas no entorno. O uso de áreas de lixões já encerrados para a agricultura foi relatado por Alcantara *et al.* (2011) e Medeiros *et al.* (2008).

Esta pergunta e seus parâmetros foram desenvolvidos pela autora:

- a) Nunca
- b) Às vezes
- c) Frequentemente

- *Questão 4.6 – Utilização da área ou do entorno para atividades de lazer*

Mesmo que não ocorra a presença de núcleos populacionais ou elementos turísticos nas proximidades, a área pode ser utilizada para o lazer, implicando em riscos para a população que a frequenta. Esta pergunta e seus parâmetros foram desenvolvidos pela autora da seguinte forma:

- a) Nunca
- b) Às vezes
- c) Frequentemente

- *Questão 4.7 - Zona de isolamento físico do lixão*

O sistema de isolamento do lixão é importante para impedir o acesso de pessoas não autorizadas e de animais domésticos. A NBR 13896/1997 determina a necessidade de cerca que circunde completamente a área em operação, construída de forma a impedir o acesso de pessoas estranhas e animais. A inexistência de isolamento físico do lixão é bastante destacada pela literatura e foi relatada por França e Ruaro (2009) e Possamai, Costa e Viana (s.d.). Os parâmetros foram definidos da seguinte forma:

- a) Zona isolada com barreira de proteção e vigiada
- b) Zona isolada com barreira de proteção, mas não vigiada
- c) Zona não isolada e não vigiada

- *Questão 4.8 – Presença de animais no lixão*

Esta questão refere-se diretamente à existência de animais cuja presença está relacionada ao acúmulo de resíduos sólidos e a inexistência de cerca de proteção, representando risco à saúde humana,

conforme relatado por Possamai, Costa e Viana (s.d.), Lopes, Leite e Prasad (2013), Vilhena (2010) e Zanta e Ferreira (2002).

Esta pergunta e seus parâmetros foram desenvolvidos pela autora:

- a) Insetos
- b) Roedores
- c) Escorpiões
- d) Urubus
- e) Outras aves – Quais?
- f) Outros animais – Quais?

*- Questão 4.9 – Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno*

A presença de um lixão, por diversos motivos, pode trazer danos à saúde da população, conforme relatado por Serra e Rodrigues (2002), Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (s.d.), Carvalho e Pfeiffer (2005), Medeiros *et al.* (2008), Vilhena (2010) e Joseph *et al.* (2004). Como danos à saúde compreendem-se os distúrbios físicos, além dos mentais e comportamentais que podem acometer a população afetada pelo lixão e que muitas vezes não são facilmente percebidos. Esta questão, desenvolvida pela autora, busca averiguar a possibilidade da existência destes danos, podendo ser mais facilmente detectada através das agentes de saúde do município ou bairro e os seus parâmetros foram definidos da seguinte forma:

- a) Nunca
- b) Às vezes
- c) Frequentemente
- d) Dado não disponível

*- Questão 4.10 – Danos materiais à população residente no lixão e/ou entorno*

Como danos materiais à população entende-se qualquer dano à propriedade privada que tenha ocorrido em decorrência da presença do lixão, como, por exemplo, rachaduras ou desmoronamento de residências. Geralmente, estes riscos estão associados ao acúmulo de gases em residências, garagens e porões, ocasionando riscos de explosões e incêndio (AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE, 2005; COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2001b), sendo muito frequentes em áreas de lixões já encerrados e que foram utilizados para construção de imóveis, principalmente, de moradias populares (SERRA e

RODRIGUES, 2002). Os parâmetros foram desenvolvidos pela autora da seguinte forma:

- a) Nunca
- b) Às vezes
- c) Frequentemente
- d) Dado não disponível

- *Questão 4.11 – Existência de catadores*

Muitas vezes a sobrevivência econômica dos catadores está relacionada ao exercício da coleta de recicláveis dentro de lixões, mesmo que isso represente sérios prejuízos à saúde deles. Alcantara *et al.* (2011) verificaram a presença de catadores no antigo lixão de Juazeiro do Norte (CE) e estes, embora conscientes dos riscos de contaminação relacionados diretamente ao trabalho que realizam e às condições em que o mesmo é exercido, ampliavam os riscos à sua saúde por, além de exercerem a coleta de recicláveis neste local, ainda utilizarem as águas superficiais do entorno para atividades como dessedentação animal, banho, lavagem de roupas e de utensílios domésticos. A presença de catadores em lixões também foi verificada por Beli *et al.* (2005), Cavazzana, Schiapatti e Lima (2012), Carvalho e Pfeiffer (2005), Lopes, Leite e Prasad (2013), Bisordi *et al.* (2004), Fundação Estadual de Meio Ambiente (2010) e Joseph *et al.* (2004).

Esta pergunta e seus parâmetros foram desenvolvidos pela autora:

- a) Não
- b) Sim

#### 4.2.2.6 Meio natural e paisagens

A presença de áreas contaminadas, como lixões, representa sérios riscos aos ecossistemas. Nesta categoria, verificou-se os riscos associados à poluição visual, aos elementos culturais, turísticos, arqueológicos ou ambientais que possam estar dentro da área de influência de um lixão, além dos danos à fauna e flora.

- *Questão 5.1 – Largura da barreira vegetal*

A NBR 13896/1997 determina a necessidade de cerca viva arbustiva ou arbórea ao redor da instalação quando os aspectos relativos à vizinhança, ventos dominantes e estética assim o exigirem e faixa de proteção sanitária *non-aedificant* de no mínimo 10 m de largura. Assim, os parâmetros foram definidos como:

- a) > 10 m
- b) < 10 m
- c) Não há barreira vegetal

- *Questão 5.2 – Distância de importante elemento cultural, turístico, arqueológico ou ambiental*

Esta questão foi elaborada com base em *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005) e para a construção de seus parâmetros considerou-se a NBR 13896/1997:

- a) > 500 m
  - b) 251-500 m
  - c) < 250 m
  - d) Desconhecida
- Qual elemento?

- *Questão 5.3 – Existência de desmatamento e/ou de redução de biodiversidade em razão da presença do lixo*

Esta questão e seus parâmetros foram definidos com base em *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005) e buscam traduzir, indiretamente, os danos ocasionados à fauna e flora:

- a) Não
- b) Sim
- c) Dado não existente

- *Questão 5.4 - Dispersão de resíduos no entorno*

Como consequência da não cobertura dos resíduos, ou ainda, da presença de catadores na área do lixão, pode haver dispersão dos resíduos em suas imediações, contribuindo para danos à saúde da população, além dos prejuízos estéticos (MEDEIROS *et al.*, 2008, FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2010 e JOSEPH *et al.*, 2004).

Esta questão e seus parâmetros foram originados de *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (2005):

- a) Não
- b) Sim

- *Questão 5.5 – Há possibilidade das águas subterrâneas ou superficiais contaminadas se dirigirem a um manguezal ou pântano?*

Embora não haja relatos na literatura sobre esta possibilidade, sabe-se que a mesma pode ocorrer, como é o caso do antigo lixão do Itacorubi, na cidade de Florianópolis (SC), que foi instalado

parcialmente em área de manguezal. Sabe-se também que este tipo de ecossistema é particularmente sensível por servir de nascedouro a inúmeras espécies animais, além de possuir flora peculiar. Assim, os parâmetros foram definidos como:

- a) Não
- b) Sim
- c) Dado não existente
- d) Não se aplica

- *Questão 5.6 – Danos aos animais domésticos e/ou selvagens*

Em consequência da ausência de controle do acesso à área do lixão, este pode ser frequentado pela população de entorno, bem como por animais domésticos e selvagens que transitam em busca de alimentos. Desta forma, optou-se por investigar a possibilidade de danos visíveis ou já conhecidos à fauna local construindo os seguintes parâmetros:

- a) Não
- b) Sim
- c) Dado não existente

#### 4.2.2.7 Meio atmosférico

A decomposição dos resíduos orgânicos é responsável pela produção de lixiviados e biogás que, na ausência de medidas de controle, podem ser liberados diretamente no meio ambiente. Assim, é comum em áreas de lixões a formação de bolsões de biogás no interior do mesmo ou, ainda a liberação destes gases tóxicos diretamente na atmosfera, riscos de explosão e/ou incêndios (FEDERAÇÃO DAS INDUSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS, s.d.).

- *Questão 6.1 – Presença de odores no lixão e/ou entorno*

Relatado por Bervique (2008), Lopes, Leite e Prasad (2013), França e Ruaro (2009) e Serra e Rodrigues (2002) esta questão busca investigar a possível geração e liberação de biogás e os danos associados à presença do mesmo, sendo que a sua avaliação é qualitativa. Para tanto, construiu-se os seguintes parâmetros:

- a) Nunca
- b) Às vezes
- c) Frequentemente

- *Questão 6.2 – Ocorrência de explosões recentes*

São frequentemente relatados na literatura e na imprensa em geral os casos de explosão devido ao acúmulo de biogás. Esta situação é particularmente mais preocupante quando envolve a frequência de pessoas em decorrência da existência de estruturas construídas, representando sérios riscos à população. Os parâmetros para esta questão são:

- a) Nunca
- b) Às vezes
- c) Frequentemente
- d) Dado não disponível

*- Questão 6.3 – Queima de resíduos*

Alcantara *et al.* (2011) relataram que na região de Juazeiro do Norte a poluição do ar pela fumaça da queima dos resíduos no lixão atingia os moradores do entorno e de pequenas propriedades rurais da região, conforme apontado pelos mesmos. Na queima descontrolada do lixo ocorre a liberação para o ar de várias substâncias perigosas como dioxinas e furanos. A queima de resíduos foi verificada por Lopes, Leite e Prasad (2013) e Carvalho e Pfeiffer (2005). Os parâmetros para esta questão foram definidos como:

- a) Nunca
- b) Às vezes
- c) Frequentemente

*- Questão 6.4 – Possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás*

É importante conhecer a possibilidade de formação de bolsões de biogás ou da migração deste na massa de resíduos justamente por representarem perigo de explosão e/ou queima. Definiu-se os parâmetros como:

- a) Não
- b) Sim
- c) Não sei

*- Questões 6.5 - Existência de coleta de biogás e 6.6 - Existência de tratamento de gás*

Estas perguntas e seus parâmetros foram adaptados de Possamai (2007). Igualmente à questão referente à coleta e tratamento de lixiviados, considerou-se que a existência da coleta de biogás não representa necessariamente a existência de tratamento. Para ambas as questões os parâmetros foram definidos da seguinte forma:

- a) Sim, em toda a área
- b) Sim, parcialmente
- c) Não
- d) Dado não existente

#### 4.3 CENÁRIO GERAL DE RECUPERAÇÃO

A composição do cenário geral de recuperação pelo usuário final da metodologia deverá ser realizada utilizando os fluxogramas contidos nas figuras a seguir. O cenário geral de recuperação é composto por um conjunto de ações que são necessárias para a recuperação do lixão. O fluxograma 1 (Figura 16) permite definir o primeiro passo do processo de recuperação do lixão, que pode ser:

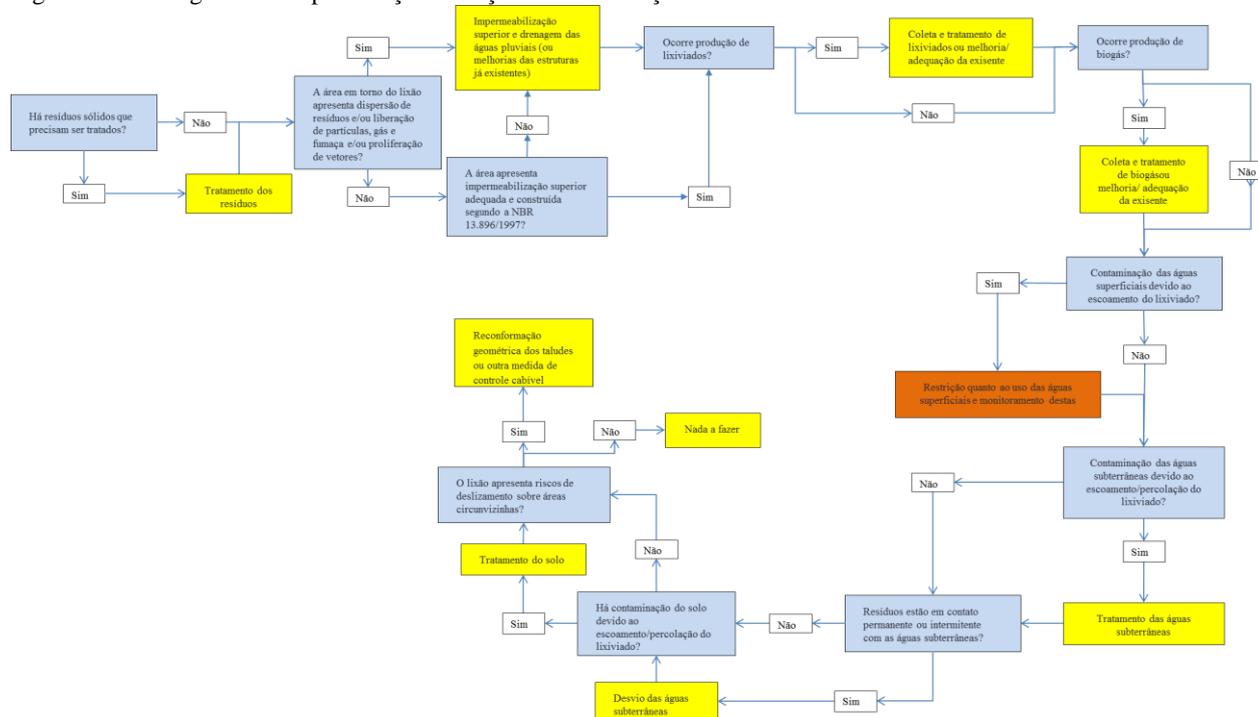
- Se o nível de intervenção associado à presença do lixão é mínimo ou nulo a área deve ser delimitada e cercada, com instalação de sistemas de sinalização e **monitorada** (monitoramento da estabilidade do maciço e da qualidade das águas superficiais e subterrânea);

- Se o nível de intervenção associado à presença do lixão não é mínimo ou nulo: retirar os resíduos, se o lixão encontra-se numa área protegida ou se não é possível a sua conversão em aterro sanitário e se a retirada dos resíduos é possível do ponto de vista econômico ou técnico; converter a área em aterro sanitário, se possível esta conversão; confinamento dos resíduos com impermeabilização superior e lateral de acordo com a NBR 13896/1997; proposição de ações de recuperação específicas definidas pelo fluxograma 2 (Figura 17).

Nos quadrados em amarelo do fluxograma 1 onde lê-se “fluxograma 2”, deve-se compreender que há a necessidade de aplicação do fluxograma 2 para melhor especificar as ações de recuperação. Neste mesmo fluxograma, onde lê-se “fim da atividade dos catadores” deve-se considerar que para a realização desta ação é necessário o desenvolvimento de um programa social envolvendo uma equipe capaz de inserir os catadores em outra atividade, amparado-os nesta transição. É recomendável que eles estejam inseridos de maneira formal nos sistemas de coleta seletiva e triagem de materiais recicláveis.



Figura 17 - Fluxograma 2: Especificação das ações de intervenção



Fonte: Desenvolvido pela autora

## 4.4 AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DAS TECNOLOGIAS

Para cada ação de recuperação definida pelos fluxogramas utilizados na etapa anterior, pode haver um conjunto de diferentes tecnologias que podem ser aplicadas. No entanto, é necessário verificar quais são as mais adequadas a cada situação de recuperação.

Assim, nesta etapa as tecnologias serão avaliadas pelo usuário final, podendo, ao final do processo, resultar em um grupo, ou mais, de alternativas que compõem o cenário detalhado.

### 4.4.1 Ações ou famílias de ações

As ações aqui consideradas foram definidas pelos fluxogramas da etapa 2. Sabendo-se que algumas das ações de recuperação podem envolver situações diversas, como é o caso, por exemplo, do tratamento de lixiviados, elegeu-se o termo “família de ações” para enquadrar estas situações. Como ações ou famílias de ações tem-se:

- Impermeabilização de superfície e drenagem das águas pluviais;
- Desvio das águas subterrâneas;
- Coleta e tratamento dos lixiviados: tratamento de nitrogênio amoniacal, redução de matéria orgânica biodegradável, redução de matéria orgânica recalcitrante, eliminação de metais;
- Tratamento das águas subterrâneas: eliminação de compostos orgânicos dissolvidos não voláteis, eliminação de compostos orgânicos voláteis, eliminação de metais, eliminação de fases líquidas não aquosas;
- Tratamento de solos: pré-tratamento, compostos orgânicos biodegradáveis, compostos orgânicos recalcitrantes, compostos inorgânicos;
- Tratamento de resíduos;
- Coleta e tratamento de emissões gasosas

### 4.4.2 Função mínima e possíveis tecnologias

Para cada ação ou família de ações, definiu-se uma função mínima que estas devam preencher, listando-se possíveis alternativas tecnológicas que deverão ser avaliadas a fim de verificar se são capazes, ou não, de atender estas funções mínimas. As funções mínimas estão sempre relacionadas ao atendimento da legislação e normalização vigentes.

#### 4.4.2.1 Para a impermeabilização de superfície e drenagem das águas pluviais

- Função mínima: impedir que as águas pluviais infiltrem nos resíduos e garantir que a drenagem das águas pluviais seja capaz de resistir a um pico de chuva de 5 anos segundo a NBR 13896/1997.
- Técnicas disponíveis: impermeabilização mínima (areia, argila e solo); impermeabilização composta (areia, argila, geomembrana PEAD, solo) + solo com vegetação para proteção da camada menos permeável da cobertura final e calhas para a drenagem das águas pluviais.

#### 4.4.2.2 Para o desvio das águas subterrâneas

- Função mínima: Impedir o contato das águas subterrâneas com os resíduos num tempo mínimo de 20 anos, se necessário.
- Técnicas disponíveis: barreiras hidráulicas de solo-bentonita; barreira hidráulica solo-bentonita-cimento; rebaixamento do lençol freático por bombeamento.

#### 4.4.2.3 Para o tratamento dos lixiviados

- **Função mínima**: reduzir os níveis de poluição dos lixiviados a fim de garantir os valores de concentração dos parâmetros físico-químicos de qualidade das águas estabelecidos pela Resolução CONAMA n ° 357/2005 num tempo mínimo de 20 anos ou mais, se necessário.

#### - Ações:

##### - Redução do nitrogênio amoniacal

- Função mínima: Garantir os valores de nitrogênio amoniacal estabelecidos pela Resolução CONAMA n ° 357/2005.
- Técnicas disponíveis: nitrificação/desnitrificação; precipitação química com sais de fosfato e magnésio; tratamento *off-site*.

**- Redução da matéria orgânica – fração biodegradável**

- Função mínima: garantir os valores de concentração de DBO estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005.
- Técnicas disponíveis: tratamentos biológicos intensivos (lagoas, wetlands); tratamentos biológicos extensivos (sistemas de lagoas, wetlands); tratamento *off-site*.

**- Redução da matéria orgânica – fração recalcitrante**

- Função mínima: garantir os valores de concentração de DQO estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005.
- Técnicas disponíveis: oxidação química (reativo de Fenton); precipitação por reação química (sais ou coagulantes); tratamento *off-site*.

**- Eliminação de metais**

- Função mínima: garantir os valores de concentração de metais estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005.
- Técnicas disponíveis: precipitação química; adsorção por carvão ativado; tratamento *off-site*.

4.4.2.4 Para o tratamento das águas subterrâneas

- **Função mínima**: reduzir os níveis de poluição das águas subterrâneas a fim de garantir os valores de concentração estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 396/2008.

**- Ações:**

**- Eliminação dos compostos orgânicos dissolvidos não voláteis**

- Função mínima: garantir os valores de concentração dos compostos orgânicos estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 396/2008.
- Técnicas disponíveis: *in situ*: bio sparging; *on situ* ou *off-site*: bombeamento + tratamento por processos biológicos da fração biodegradável (leito bacteriano, etc.); bombeamento + tratamento físico químico da fração recalcitrante (ver tratamento de lixiviados)

**- Eliminação dos compostos orgânicos voláteis (COV)**

- Função mínima: garantir os valores de concentração dos compostos orgânicos estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 396/2008.
- Técnicas disponíveis: Fase 1: extração dos contaminantes: extração por aeração, extração por aspiração; Fase 2: tratamento por adsorção (carvão ativado) ou biofiltro (*on situ* ou *off-site*)

**- Eliminação dos metais**

- Função mínima: garantir os valores de concentração dos metais estabelecidos pela Resolução CONAMA n ° 396/2008.
- Técnicas disponíveis: *in situ*: barreiras reativas permeáveis; *on situ*: bombeamento + tratamento por precipitação química; bombeamento + adsorção; tratamento *off-site*.

**- Eliminação das fases líquidas não aquosas**

- Função mínima: Garantir os valores de concentração dos hidrocarbonetos estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 396/2008.
- Técnicas disponíveis: separação por bombeamento (hidrocarbonetos flutuantes), bombeamento do fundo (para as fases densas)

4.4.2.5 Para o tratamento de solos

- **Função mínima**: reduzir os níveis de poluição dos solos a fim de garantir os valores de concentrações estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 420/2009.

**- Ações:**

**- Pré-tratamento**

- Função mínima: Separar a fração do solo cujo nível de poluição exige um tratamento
- Técnicas disponíveis: Triagem granulométrica a seco ou sob água (*ex situ*)

**- Eliminação dos compostos orgânicos biodegradáveis**

- Função mínima: garantir os valores de concentrações dos compostos orgânicos estabelecidos pela Resolução CONAMA n°420/2009.
- Técnicas disponíveis: *in situ*: bio venting ou bio sparging; *on site* ou *ex situ*: escavação + tratamento biológico (biopilhas)

**- Eliminação dos compostos recalcitrantes**

- Função mínima: garantir os valores de concentrações dos compostos recalcitrantes estabelecidos pela Resolução CONAMA n°420/2009
- Técnicas disponíveis: *in situ*: escavação + oxidação química; extração por lavagem (com detergente); tratamento térmico por dessorção; *on situ* ou *off-site*: tratamento térmico por incineração; estocagem.

**- Tratamento dos compostos inorgânicos:**

- Função mínima: garantir os valores de concentrações dos compostos inorgânicos estabelecidos pela Resolução CONAMA n°420/2009
- Técnicas disponíveis: *on situ* ou *off-site*: vitrificação, estabilização/solidificação; extração por lavagem (ácido, complexante) + tratamento da parte extraída.

## 4.4.2.6 Para o tratamento dos resíduos

- **Função mínima**: garantir que a presença dos resíduos dentro do local após a recuperação não cause risco de poluição dos meios nem contato direto com animais ou humanos.

- **Técnicas disponíveis**: *on situ* ou *off-site*: escavação + estocagem (levar em conta o destino dos resíduos escavados); *in situ*: confinamento; *in situ* ou *on situ*; bio remediação

## 4.4.2.7 Para a coleta e tratamento das emissões gasosas

- **Função mínima**: implantar uma solução tecnológica capaz de coletar e tratar as emissões gasosas a fim de garantir os valores estabelecidos pela

Resolução CONAMA n° 003/1990 num tempo de duração mínima de 20 anos ou mais, se necessário.

- **Técnicas disponíveis:** cobertura de superfície reativa; instalação de sistema de coleta de gás e camada drenante; queima ou valorização energética (elétrica, térmica, cogeração, etc); adsorção (carvão ativado) ou lavagem.

#### **4.4.3 Condições operatórias**

As condições operatórias são as condições sob as quais as tecnologias devem ser aplicadas para permitir que estas atendam as funções mínimas.

Para determinar as condições operatórias referentes a cada tecnologia, elaborou-se uma tabela padrão sobre os aspectos técnicos e econômicos e de infraestrutura do lixão para cada ação de recuperação, listando as possíveis tecnologias que podem ser aplicadas. A Tabela 10 ilustra o preenchimento das condições operatórias das tecnologias voltadas à coleta e tratamento das emissões gasosas, citando um exemplo de aplicação desta tabela.

Assim, o usuário final da metodologia deverá assinalar qual alternativa tecnológica está avaliando em cada ação e, sobre esta, preencher a tabela informando os recursos materiais, humanos e de infraestrutura, bem como, outras particularidades referentes a cada alternativa tecnológica em avaliação.

#### **4.4.4 Viabilidade técnica e econômica das tecnologias**

Esta etapa visa à comparação das tecnologias disponíveis utilizando critérios econômicos e técnicos, com base nas informações coletadas pela Tabela 10. Para a execução desta etapa, foi elaborada outra tabela (Tabela 11) que pode ser utilizada por todas as alternativas tecnológicas a avaliar e que explora os dados já fornecidos pelas etapas anteriores de forma a permitir a verificação da viabilidade (ou não) da aplicação de cada tecnologia. Assim, ao final, será possível excluir aquelas alternativas que não apresentam viabilidade econômica e/ou técnica e reter, para a composição dos possíveis cenários de recuperação, apenas as que se mostrarem viáveis.

Tabela 10 - Questionário a preencher sobre as condições técnicas e econômicas para a coleta e o tratamento das emissões gasosas garantindo o respeito à função mínima associada

Técnica: ( ) Camada de superfície reativa ( ) Sistema de coleta de gás - drenos verticais e horizontais e camada drenante									
( ) Queima ( ) Valorização energética elétrica ( ) Valorização energética térmica ( ) Valorização energética por cogeração ( ) Adsorção ( ) Lavagem									
Superfície necessária para a implantação da técnica (m2)									
Natureza e quantidade de rejeitos gerados									
Recursos		Tipo	Descrição detalhada	Quantidades e unidades de medida	Horas de trabalho por unidade	Consumo energético horário e tipo de energia	Preço unitário (aquisição e/ou transporte até o terreno)	Preço total (aquisição e/ou transporte até o terreno)	
Recursos materiais	Máquinas e equipamentos	Pá mecânica							
		Bulldozer							
		Niveladora							
		Outro (especificar)							
	Equipamentos permanentes	PVC							
		Bomba 1							
		Bomba 2							
		Queimadores							
		Bomba							
		Filtros							
		Cascalho							
	Outro (especificar)								
	Produtos consumíveis ou reagentes	Água							
		Argila							
Reagente									
Outro									

	(especificar)					
Recursos humanos	Engenheiro					
	Trabalhador especializado					
	Trabalhador não especializado					
	Outro (especificar)					
Infraestrutura ou condição particular (alimentação elétrica, etc.)	Potência elétrica instalada					
	Distância entre o lixão e o local de tratamento					
	Outro (especificar)					
Duração total dos trabalhos						
Descrição do local receptor dos materiais, resíduos e meios retirados						

Fonte: Desenvolvido pela autora

Tabela 11 - Análise da viabilidade das diferentes técnicas a partir da análise técnica e econômica

Família de ação:				
Ação:				
Técnica a avaliar:				
Família	Critérios	Sub critérios	Indicadores	Avaliação
<b>Econômico</b>	Recursos humanos	Custo de mão-de-obra	Custo necessário em relação ao orçamento disponível	1. Viável 2. Não viável
	Recursos materiais	Custo de obtenção e transporte de máquinas e equipamentos	Custo necessário em relação ao orçamento disponível	1. Viável 2. Não viável
		Custo de obtenção e transporte dos equipamentos permanentes	Custo necessário em relação ao orçamento disponível	1. Viável 2. Não viável
		Custo de obtenção e transporte dos produtos consumíveis ou reagentes	Custo necessário em relação ao orçamento disponível	1. Viável 2. Não viável
		Custo para o transporte, tratamento ou disposição dos resíduos	Custo necessário em relação ao orçamento disponível	1. Viável 2. Não viável
	Recursos energéticos	Custo para o consumo energético (combustíveis, eletricidade)	Custo necessário em relação ao orçamento disponível	1. Viável 2. Não viável
	Gestão dos materiais, resíduos e meios retirados	Possibilidade de tratamento dos resíduos	Custo necessário em relação ao orçamento disponível	1. Viável 2. Não viável
		Distância entre o lixão e o local de tratamento	Custo necessário em relação ao orçamento disponível	1. Viável 2. Não viável
<b>Técnico</b>	Recursos humanos	Disponibilidade de mão-de-obra	Mão-de-obra necessária em relação à disponível no mercado local	1. Viável 2. Não viável
	Recursos materiais	Disponibilidade de máquinas e equipamentos	Equipamentos e máquinas necessários em relação ao mercado local	1. Viável 2. Não viável
		Disponibilidade de equipamentos permanentes	Equipamentos permanentes necessários em relação ao mercado local	1. Viável 2. Não viável
		Disponibilidade de produtos consumíveis e reagentes	Produtos consumíveis ou reagentes necessários em relação à disponibilidade no mercado local	1. Viável 2. Não viável

	Estrutura física	Disponibilidade de terreno	Superfície necessária em relação à disponível	1. Viável 2. Não viável
		Alimentação elétrica	Potência elétrica necessária em relação à disponibilidade local	1. Viável 2. Não viável
		Acessibilidade do terreno	Existência de infraestrutura rodoviária que permite o acesso ao local	1. Viável 2. Não viável
			Topografia do local	1. Viável 2. Não viável
	Gestão dos materiais, resíduos e meios retirados	Localização e característica do local receptor	Compatibilidade em relação à normas e leis locais	1. Viável 2. Não viável

Fonte: Desenvolvido pela autora

Ao final deste processo resta um ou mais grupo de tecnologias que se demonstram viáveis para a recuperação do lixo. Cada grupo de tecnologias é chamado de cenário detalhado.

#### 4.4.5 Avaliação ambiental das tecnologias

Devido ao grande número de tecnologias que podem ser utilizadas para a recuperação ambiental dos lixões, a aplicação da metodologia da ACV como possibilidade de avaliação de tecnologias de forma complementar foi realizada apenas considerando o tratamento de biogás. Os resultados desta avaliação podem ser visualizados na Tabela 12. Valores negativos significam que os cenários possuem um impacto positivo, ou seja, os ganhos ambientais pelo aproveitamento energético são superiores aos impactos gerados pelos equipamentos.

Tabela 12 - Resultados da avaliação ambiental por meio da ACV.

<b>Tecnologia de tratamento</b>	<b>mPt</b>
Queima simples	297,0
Queima por <i>flare</i>	37,1
Aproveitamento energia elétrica	-15,8
Aproveitamento. energia térmica	-30,7
Aproveitamento. energia elétrica e térmica	-50,2

Tais resultados sugerem que na aplicação da metodologia considerando os dados apresentados na Tabela 8, o cenário mais viável para o tratamento de biogás é o cenário de cogeração, com aproveitamento do biogás para a produção simultânea de energia térmica e elétrica. Portanto, embora a instalação das tecnologias dos cenários de aproveitamento energético demande grandes instalações, estes cenários se mostraram largamente mais viável do ponto de vista ambiental. O melhor desempenho fica ainda mais evidente, considerando que nos cenários de queima, os impactos da instalação não foram considerados. Tal viabilidade deve-se às emissões evitadas de metano e a não utilização de outras fontes para a produção energética.

É importante acrescentar que a produção de biogás em um lixão pode estar muito baixa comparada a aterros, e que a estimativa de produção futura inviabilize a instalação de uma usina de produção de energia, resultando, em uma grande barreira técnica para implantação dessa tecnologia, embora os ganhos ambientais sejam enormes.

## 4.5 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA

### 4.5.1 Etapas 1 e 2 -Programa para a avaliação ambiental de lixões e fluxogramas para a geração dos cenários gerais de recuperação

Para o processo de validação, estabeleceu-se contato com 23 prefeituras municipais, 31 empresas de consultoria ambiental e 24 doutores e demais especialistas, resultando na aplicação da metodologia em 6 lixões, distribuídos em 4 estados brasileiros. A síntese dos dados gerais relativos à aplicação da metodologia está apresentada por lixão no Quadro 7.

O maior problema verificado em relação à validação da metodologia foi encontrar lixões que apresentassem os dados e análises necessários e após isso, encontrar profissionais com disponibilidade de tempo e interesse para proceder à aplicação da metodologia. As poucas informações disponíveis em relação aos lixões eram desatualizadas ou incompletas, o que pode ter contribuído para super ou subestimar os impactos atuais dos lixões. Além disso, houve também dificuldade em encontrar empresas com experiência em recuperação de lixões, uma vez que a prática mais comum é a simples disposição de terra sobre a área e o cercamento desta.

Ainda, pode-se destacar outros pontos de dificuldades encontrados. Com relação à atuação das prefeituras, existe a negação da existência de um lixão em território municipal. Isso decorre da percepção de que os lixões trazem inúmeros problemas bem conhecidos e que, portanto, precisam, não apenas serem fechados, mas também, recuperados. Muitas prefeituras resistem em fazer essa recuperação, seja por falta de informações sobre sua necessidade, falta de corpo técnico e recursos financeiros para a execução dos trabalhos ou ainda, vontade em fazê-los, uma vez que os serviços de saneamento geralmente não aportam benefícios políticos aos prefeitos.

Como sugestão para solucionar o problema financeiro, as prefeituras podem contar com recursos que podem ser solicitados através da FUNASA, do Ministério das Cidades ou outras fontes de financiamento. Para solucionar o problema da falta de corpo técnico, as prefeituras podem desenvolver parcerias com instituições de ensino para a realização de estudos. Além disso, é necessário planejamento de ações referentes à questão de resíduos e comprometimento por parte dos gestores municipais.

Quadro 7 – Dados gerais do processo de validação da metodologia

Lixão 1	Estado = RS
Etapa 1 realizada?	Sim
Pontuação do lixão verificada na etapa 1	104,865 (médio <sup>7</sup> )
Avaliação da etapa 1 realizada?	Sim
Etapa 2 realizada?	Não (o especialista responsável alegou falta de tempo)
Etapa 3 realizada?	
Avaliação das etapas 2 e 3 realizadas?	
Lixão 2	Estado = SP
Etapa 1 realizada?	Sim
Pontuação do lixão verificada na etapa 1	92,625 (médio)
Avaliação da etapa 1 realizada?	Sim
Etapa 2 realizada?	Não (o especialista responsável alegou falta de tempo)
Etapa 3 realizada?	
Avaliação das etapas 2 e 3 realizadas?	
Lixão 3	Estado = SC
Etapa 1 realizada?	Sim
Pontuação do lixão verificada na etapa 1	83,18 (médio)
Avaliação da etapa 1 realizada?	Sim
Etapa 2 realizada?	Sim
Etapa 3 realizada?	Não (o especialista alegou falta de conhecimentos sobre a aplicação das tecnologias de recuperação)
Avaliação das etapas 2 e 3 realizadas?	
Lixão 4	Estado = SC
Etapa 1 realizada?	Sim
Pontuação do lixão verificada na etapa 1	68,723 (baixo)
Avaliação da etapa 1 realizada?	Sim
Etapa 2 realizada?	Sim
Etapa 3 realizada?	Não (o especialista alegou falta de dados)
Avaliação das etapas 2 e 3 realizadas?	
Lixão 5	Estado = SC
Etapa 1 realizada?	Sim
Pontuação do lixão verificada na etapa 1	81,785 (médio)
Avaliação da etapa 1 realizada?	Sim
Etapa 2 realizada?	Não (os especialistas alegaram falta de dados)
Etapa 3 realizada?	
Avaliação das etapas 2 e 3 realizadas?	
Lixão 6	Estado = PB
Etapa 1 realizada?	Sim
Pontuação do lixão verificada na etapa 1	80,687 (médio)

<sup>7</sup> Máximo de 79 pontos: nível baixo de intervenção ambiental; entre 80 e 160 pontos: nível médio de intervenção ambiental; mais de 160 pontos: nível alto de intervenção ambiental.

Avaliação da etapa 1 realizada?	Sim
Etapa 2 realizada?	Não (o especialista alegou inexistência de dados para a realização destas etapas)
Etapa 3 realizada?	
Avaliação das etapas 2 e 3 realizadas?	

Todos os problemas citados vêm ao encontro do que foi discorrido por diversos autores que afirmaram que a existência dos lixões no Brasil está relacionada a inúmeros fatores, como ignorância dos riscos à saúde pública, aceitação do *status quo* devido à falta de recursos financeiros e técnicos (JOSEPH *et al.*, 2004; BISORDI *et al.*, 2004; AINA, 2006).

Muitos dos municípios contatados afirmaram já terem executado a recuperação ambiental do lixão, o que geralmente se restringiu apenas à colocação de cobertura de terra sobre a camada de resíduos, cercamento da área e, em alguns casos, revegetação, não existindo dados de análises sobre a qualidade ambiental. Além disso, a falta de uma metodologia, de um guia ou roteiro para a recuperação de lixões faz com que não haja padronização em relação às investigações da área ou sobre os serviços a serem executados, o que ressalta a importância desta tese para suprir esta lacuna.

Estes fatos tiveram relação com a dificuldade de encontrar empresa com experiência na execução de recuperação de lixões e que pudesse cooperar com esta pesquisa. Uma solução para evitar que a recuperação ambiental seja insatisfatória do ponto de vista ambiental e sanitário, seria a proposição de um termo de referência ou instrução normativa pelos órgãos ambientais com o objetivo de estabelecer uma “padronização” em relação às investigações e intervenções mínimas a serem executadas no processo de recuperação ambiental de lixões. Alguns estados já contam com este recurso, como São Paulo e Bahia, no entanto, a maioria ainda não.

Outro problema também verificado durante o desenvolvimento da pesquisa e que foi citado por Bisordi *et al.* (2004) é a questão da descontinuidade política, o que faz com que as ações de planejamento (não apenas referentes ao gerenciamento de resíduos sólidos) não aconteçam ou que apenas se restrinjam aos anos do mandato corrente. Como consequência direta disso tem-se vários fenômenos:

- A extinção ou alterações de programas e políticas adotadas no governo anterior, mesmo que bem sucedidas, geralmente em decorrência do remanejamento das finanças públicas ou priorização de outros setores;

- Desconhecimento das ações executadas nos governos anteriores que, relacionada ao fato da habitual ausência de registro e documentação dos trabalhos realizados, conduz a uma situação que foi muito frequente ao longo desta tese: as prefeituras não sabiam informar quem havia realizado os serviços de recuperação do lixão, quais ações haviam sido executadas, quem poderia disponibilizar informações sobre a área e sobre o processo realizado.

No entanto, embora a descontinuidade política ainda seja um problema existente, atualmente ela não deveria ter mais espaço nas prefeituras, uma vez que o Brasil já tem uma Política Nacional de resíduos que obriga os municípios a se adequarem em relação ao encerramento e recuperação de lixões.

Com relação aos profissionais contatados diretamente, ficou bastante evidente a falta de tempo para a validação da metodologia e a falta de experiência com recuperação de lixões. Em outros momentos, verificou-se a suspensão da comunicação por parte do especialista e, conseqüentemente, o não retorno dos instrumentos de validação.

A seguir são descritos os resultados referentes à etapa de validação nos diferentes lixões. É importante frisar que houve uma situação na qual os dados da validação foram excluídos dos resultados por não serem confiáveis, visto que foi possível perceber em inúmeros momentos conflitos entre as informações fornecidas. Todas as contribuições feitas por especialistas para as diferentes etapas da metodologia foram analisadas e incorporadas ao trabalho desenvolvido.

#### **4.5.2 Lixão 1**

O lixão 1 localiza-se geograficamente no estado do RS e não se encontra mais em atividade, uma vez que já foi encerrado e algumas medidas de recuperação foram implementadas. Portanto, o processo de validação da metodologia ocorreu no sentido de averiguar se a situação do mesmo após a recuperação é satisfatória no que se refere à redução dos riscos relacionados a ele. A aplicação do programa para avaliação ambiental (etapa 1) resultou numa pontuação de 104,86, enquadrando o lixão no nível médio de intervenção. O Apêndice D apresenta as informações referentes à aplicação da etapa 1.

O especialista responsável pela validação atua como professor universitário e profissional técnico na empresa de limpeza urbana de um município vizinho a este antigo lixão. Assim, a avaliação da

metodologia realizada por ele (Quadro 8) apresenta suma importância por se tratar de um especialista com acúmulo de conhecimento teórico e prático.

É importante destacar que, embora na opinião do especialista a etapa 1 da metodologia apresenta-se pouco aprofundada, optou-se por mantê-la desta maneira por se compreender que, na maioria das vezes, nem as sondagens e análises mais simples são realizadas em um lixão. Portanto, aprofundar a metodologia apresentaria correr o risco de inviabilizar a aplicação da mesma. As demais sugestões apontadas foram absorvidas a fim de proporcionar melhoria na ferramenta, da mesma forma que incorporou-se as sugestões propostas por outros especialistas.

Quadro 8 - Avaliação da etapa 1 - Lixão 1

Avaliação da etapa 1	Lixão 1
O manual do usuário é de fácil entendimento?	Sim – Comentário: Muito embora eu tenha ido direto à aplicação do programa (creio que a grande maioria dos usuários o fará), uma sugestão será colocar ajudas dentro do programa, tipo, se clicar com o botão direito sobre um campo, surge explicação sobre o mesmo, por exemplo, na tal Lei 9985/2000 que cito o item 6.
A interface da ferramenta é amigável e de fácil utilização?	Sim
O diagnóstico feito pela ferramenta é coerente com o seu diagnóstico?	Sim
Quantos lixões você diagnosticou com a ferramenta?	1
A ferramenta auxiliou na decisão das prioridades de recuperação e eliminação dos lixões?	Sim e Não. A ferramenta permite ter uma ideia sim das prioridades, embora pareça pouco aprofundada.
Você detectou alguma falha ou tem alguma sugestão para a melhoria da ferramenta?	A ferramenta deve avisar quais campos não foram preenchidos

Conforme verificado no Quadro 7, mesmo havendo a necessidade de realização das etapas subsequentes da metodologia, estas não foram validadas devido a falta de tempo alegada pelo especialista. A fim de

suprir esta necessidade, a etapa 2 foi validada pela pesquisadora<sup>8</sup>. Não foi possível a validação da etapa 3 em decorrência da insuficiência de dados.

A Figura 18 demonstra que a aplicação do fluxograma 1 indicou a impossibilidade de conversão da área em aterro sanitário ou a retirada dos resíduos, o que determinou a necessidade de ações de intervenção especificadas pelo fluxograma 2 (Figura 19).

O fluxograma 2 não indicou a necessidade de tratamento de resíduos visto que não é possível ocorrer a remoção destes. A inviabilidade da remoção deve-se basicamente em decorrência do enorme volume de resíduos que deveria ser retirado, o que acarretaria em custos elevados e inexistência de área adequada para o recebimento destes, uma vez que este lixão possui área superior a 500.000m<sup>2</sup> e camada de resíduos com espessura superior a 10 m.

O fluxograma 2 ainda indicou como desnecessário: construção ou melhoria da camada de cobertura de resíduos, visto que já há uma cobertura construída de acordo com a NBR 13896/1997; desvio das águas subterrâneas, pois estas não se encontram em contato com os resíduos e reconformação geométrica dos taludes devido à inexistência de risco de deslizamentos.

Por outro lado, o fluxograma 2 apontou como necessário: ampliação e melhoria dos sistemas de coleta e tratamento tanto de lixiviado, quanto de biogás; restrição ao uso das águas superficiais; tratamento das águas subterrâneas e dos solos.

Recomenda-se, como ações de recuperação de lixões a implementação de sistema de impermeabilização superior, sistemas de drenagem e tratamento dos lixiviados e dos gases, sistema de drenagem das águas pluviais, monitoramento dos meios e isolamento da área (MANSOR *et al.*, 2010; JOSEPH *et al.*, 2004).

Embora a metodologia não seja clara quanto às ações relacionadas à restrição ao uso das águas superficiais, esta deve envolver a sinalização com placas referente à contaminação destes recursos e necessidade de evitar os usos que envolvam riscos à saúde humana e animal até que a situação volte a ser favorável.

---

<sup>8</sup> Deve-se entender ao longo de toda esta etapa que o termo “especialista” foi utilizado para referir-se aos profissionais, doutores ou não, com conhecimentos relacionados à temática desta tese. Já, o termo “pesquisadora” refere-se a pessoa que desenvolveu a pesquisa de doutorado aqui apresentada.

Percebe-se que este lixão, embora já “recuperado” ainda está representando riscos ambientais. Portanto, as ações de recuperação já realizadas não foram satisfatórias.

Figura 18 - Fluxograma 1 – Lixão 1

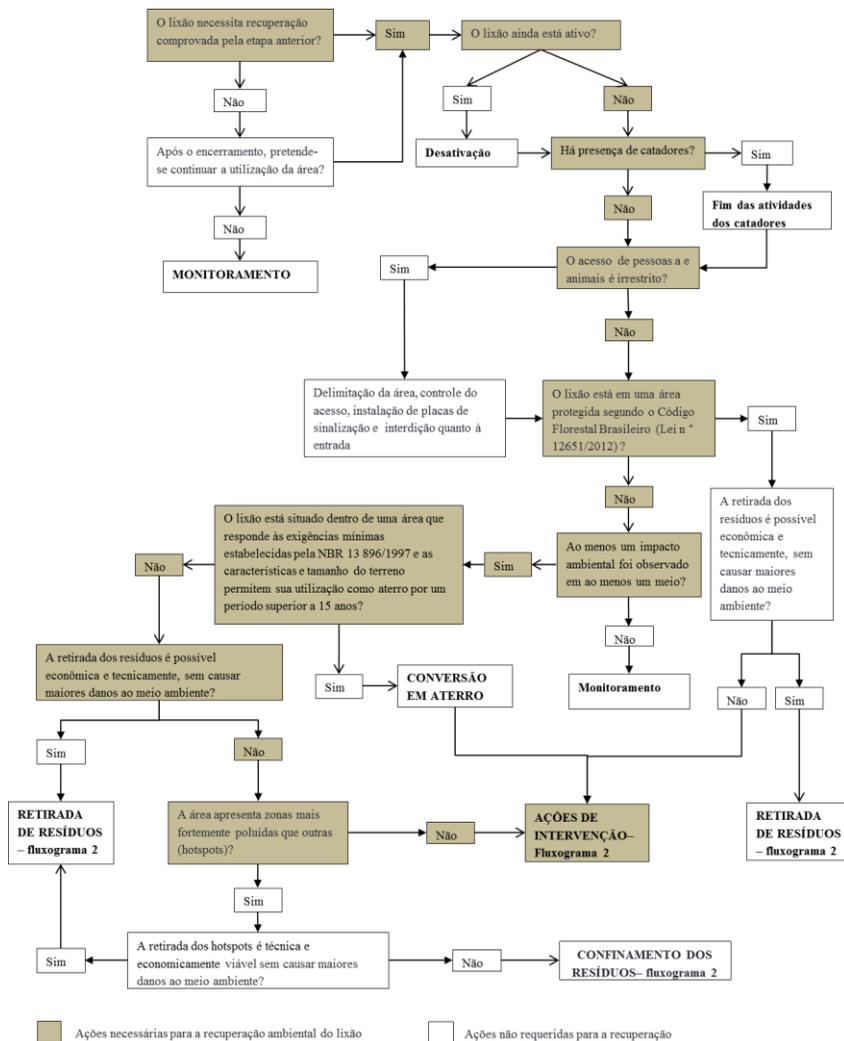
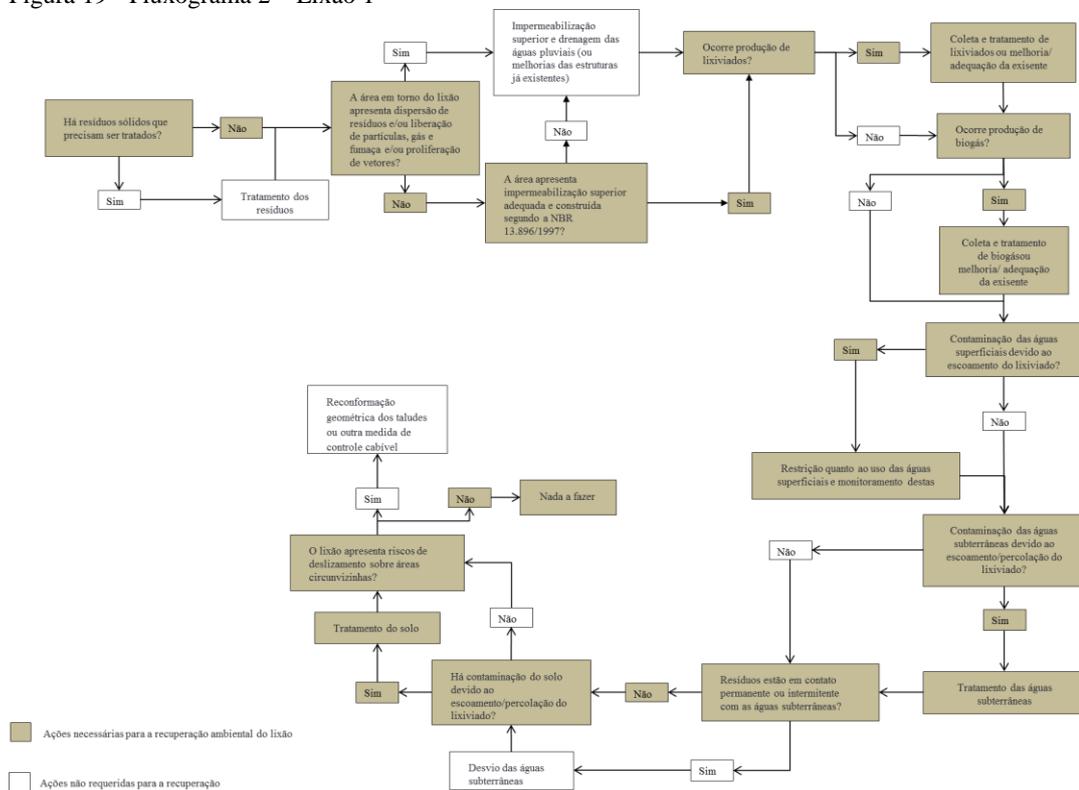


Figura 19 - Fluxograma 2 – Lixão 1



A etapa 3 não foi realizada pela inexistência de dados necessários ao preenchimento da planilha, como volume de biogás, de lixiviados, de águas subterrâneas e de solos a tratar, bem como os tipos e valores de contaminantes encontrados nestes 3 últimos.

### 4.5.3 Lixão 2

O lixão 2 está localizado geograficamente no estado de São Paulo e a validação da metodologia foi realizada por uma doutoranda da área de resíduos sólidos de uma instituição de ensino superior do estado de São Paulo. Em função da pontuação obtida que foi de 92,625, enquadrou-se o lixão em um nível médio de intervenção na área. As informações relativas a este lixão e o resultado da aplicação do programa podem ser conferidas no Apêndice E. Igualmente ao lixão 1, este também já encontra-se encerrado e a validação da metodologia propicia determinar se as ações de recuperação executadas foram suficientes para a redução dos riscos ambientais e sanitários.

É importante destacar que, assim como o especialista que validou a metodologia no lixão 1, em sua avaliação (Quadro 9), a especialista de São Paulo afirmou a necessidade de melhoria do programa no sentido de apontar, de forma precisa, quais os campos que não foram preenchidos, uma vez que o resultado em termos de pontuação e classificação do lixão apenas ocorre quando todos os campos já foram preenchidos.

Quadro 9 - Avaliação da etapa 1 – Lixão 2

Avaliação da etapa 1	Lixão 2
O manual do usuário é de fácil entendimento?	Sim
A interface da ferramenta é amigável e de fácil utilização?	Sim
O diagnóstico feito pela ferramenta é coerente com o seu diagnóstico?	Sim
Quantos lixões você diagnosticou com a ferramenta?	1
A ferramenta auxiliou na decisão das prioridades de recuperação e eliminação dos lixões?	Sim
Você detectou alguma falha ou tem alguma sugestão para a melhoria da ferramenta?	A ferramenta deve apontar quais campos não foram preenchidos e ter a possibilidade de exportar o diagnóstico de cada lixão

A especialista não realizou a validação das etapas 2 e 3 em função da falta de tempo para proceder com o trabalho. Desta forma, a

autora da pesquisa validou a etapa 2, não sendo possível a validação da etapa 3 devido a insuficiência de dados.

Na validação da etapa 2, a aplicação do fluxograma 1 (Figura 20) indicou a inviabilidade de conversão da área em aterro sanitário e da remoção de resíduos. Esta remoção não é indicada devido ao grande volume de material que deveria ser retirado e dos custos financeiros envolvidos neste processo, uma vez que este lixão possui área entre 50.000 m<sup>2</sup> a 500.000 m<sup>2</sup> e camada de resíduos com espessura superior 10 m. Desta forma, o fluxograma indicou a necessidade de executar ações de intervenção detalhadas pelo fluxograma 2 (Figura 21).

O fluxograma 2 não recomendou: tratamento de resíduos (pois estes não serão retirados); desvio das águas subterrâneas e reconformação geométrica dos taludes.

No entanto, o fluxograma 2 indicou como necessário: a construção de impermeabilização superior executada de acordo com a NBR 13896/1997 devido a inexistência de cobertura dos resíduos; construção de sistema de coleta e tratamento de lixiviados e de biogás; restrição e monitoramento das águas superficiais; tratamento de águas subterrâneas. Não foi possível determinar a necessidade ou não de tratamento de solos devido à inexistência de dados referentes à contaminação destes.

Assim, as ações de recuperação deste lixão que foram implementadas anteriormente mostraram-se insatisfatórias para reduzir os riscos ao ambiente e à saúde pública.

Figura 20 - Fluxograma 1 - Lixão 2

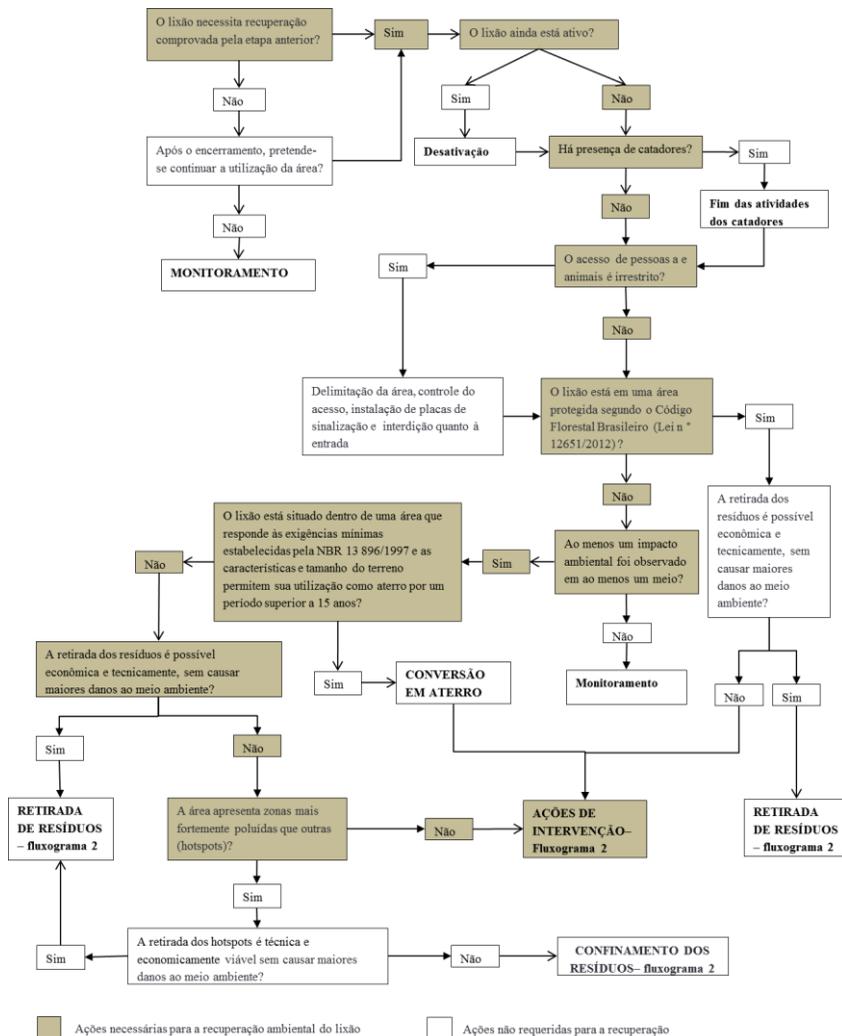
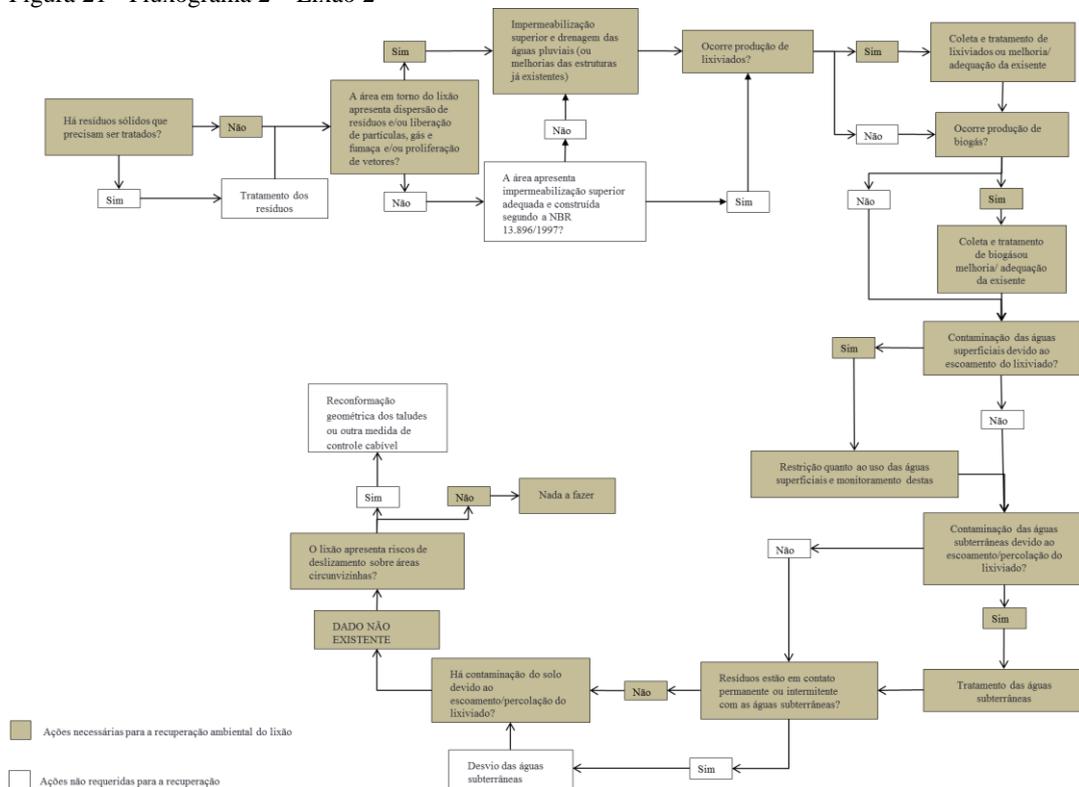


Figura 21 - Fluxograma 2 – Lixão 2



Conforme já mencionado, não foi possível executar a validação da etapa 3 devido a ausência de diversos dados que são necessários para o preenchimento das planilhas de avaliação técnica e econômicas das tecnologias.

#### 4.5.4 Lixão 3

Esta área encontra-se no estado de Santa Catarina, em uma região onde foi possível visitar uma grande quantidade de lixões assentados em vários municípios. A validação da metodologia ocorreu em uma ação conjunta entre a Polícia Militar Ambiental e os pesquisadores que desenvolveram a metodologia<sup>9</sup>, baseada em dados fornecidos pela Polícia Ambiental e pelos atuais proprietários do terreno.

O lixão em questão está estabelecido em uma área ao lado da qual construiu-se, posteriormente, um aterro sanitário. Este lixão foi recuperado pela antiga empresa responsável pela gestão do aterro. As informações referentes à área e o resultado da aplicação da metodologia encontram-se disponíveis no Apêndice F e indicam o enquadramento do lixão em um nível médio de intervenção, com pontuação de 83,18.

A avaliação da metodologia (Quadro 10) foi realizada pela equipe da Polícia Militar que auxiliou no processo de validação.

Quadro 10 - Avaliação da etapa 1 – Lixão 3

Avaliação da etapa 1	Lixão 3
O manual do usuário é de fácil entendimento?	Sim
A interface da ferramenta é amigável e de fácil utilização?	Sim
O diagnóstico feito pela ferramenta é coerente com o seu diagnóstico?	Sim
Quantos lixões você diagnosticou com a ferramenta?	1
A ferramenta auxiliou na decisão das prioridades de recuperação e eliminação dos lixões?	Sim
Você detectou alguma falha ou tem alguma sugestão para a melhoria da ferramenta?	A ferramenta deve sugerir explicações sobre o preenchimento dos campos e apontar quais campos não foram preenchidos

<sup>9</sup> Por pesquisadores compreende-se a doutoranda que desenvolveu esta pesquisa e o doutorando que transformou a etapa 1 em um programa

O principal ponto a destacar sobre as sugestões apresentadas é a necessidade da inclusão de explicações sobre o correto preenchimento dos campos no programa. Tal sugestão foi incorporada posteriormente.

A validação da etapa 2, à exemplo dos dois casos anteriores, realizou-se pela pesquisadora. A validação da etapa 3 não ocorreu pela ausência de dados.

Na etapa 2, o fluxograma 1 (Figura 22), além de apontar para a necessidade de ações de intervenção mais específicas determinadas pelo fluxograma 2 (Figura 23), indica também a necessidade de delimitação da área, instalação de placas de sinalização e interdição quanto a entrada de pessoas não autorizadas, visto que é uma área onde qualquer um pode ter acesso, inclusive crianças, e que podem ter contato com os resíduos, ainda visível em alguns pontos.

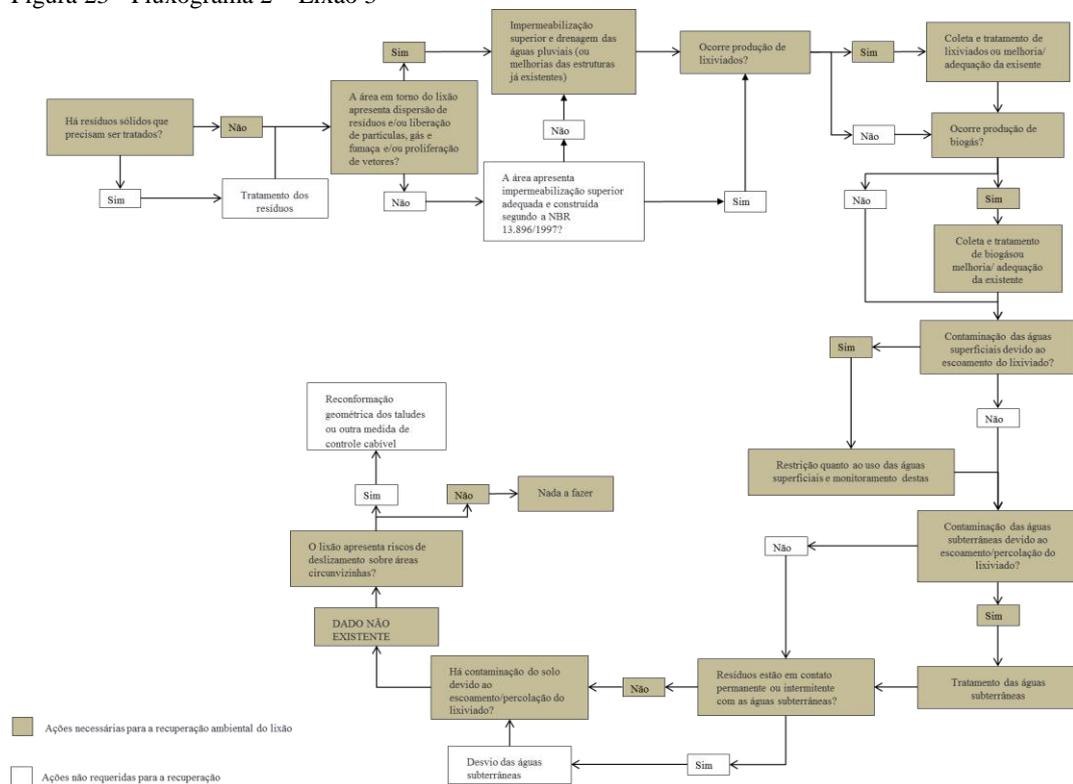
O fluxograma 2 não indicou: a exigência de tratamento de resíduos, pois eles não serão retirados; desvio das águas subterrâneas, pois estas não estão em contato com os resíduos e reconformação geométrica de resíduos.

Todavia, como indicação do fluxograma 2 faz-se necessário: a construção de impermeabilização superior executada de acordo com a NBR 13896/1997 por não haver cobertura dos resíduos; construção de sistema de coleta e tratamento de lixiviados e de biogás; restrição e monitoramento das águas superficiais e tratamento de águas subterrâneas. Não foi possível determinar a necessidade ou não de tratamento de solos devido à inexistência de dados referentes à sua contaminação.

Portanto, requer-se a realização das análises faltantes e a implementação de novas ações de recuperação, uma vez que as existentes não são satisfatórias do ponto de vista ambiental e de saúde pública.



Figura 23 - Fluxograma 2 – Lixão 3



#### 4.5.5 Lixão 4

Este lixão também se encontra no estado de Santa Catarina, todavia em uma microrregião diferente do lixão anterior e está localizado em uma área anexa ao aterro sanitário municipal. Este, a exemplo dos demais, também foi encerrado e recuperado por uma empresa de um município vizinho, contratada pela municipalidade. A aplicação da metodologia foi realizada pelo mesmo profissional que atuou na recuperação do lixão e que, neste momento, busca a melhoria das ações executadas, visto que na época da recuperação, os recursos financeiros eram limitados, não sendo possível executar tudo o que era necessário. O profissional utilizou a metodologia para a escolha das ações a serem aplicadas no lixão neste novo processo de recuperação.

A pontuação obtida pela aplicação da metodologia foi de 68,723, sendo o único lixão pesquisado enquadrado na categoria de baixo nível de intervenção. As informações deste lixão podem ser conferidas no Apêndice G.

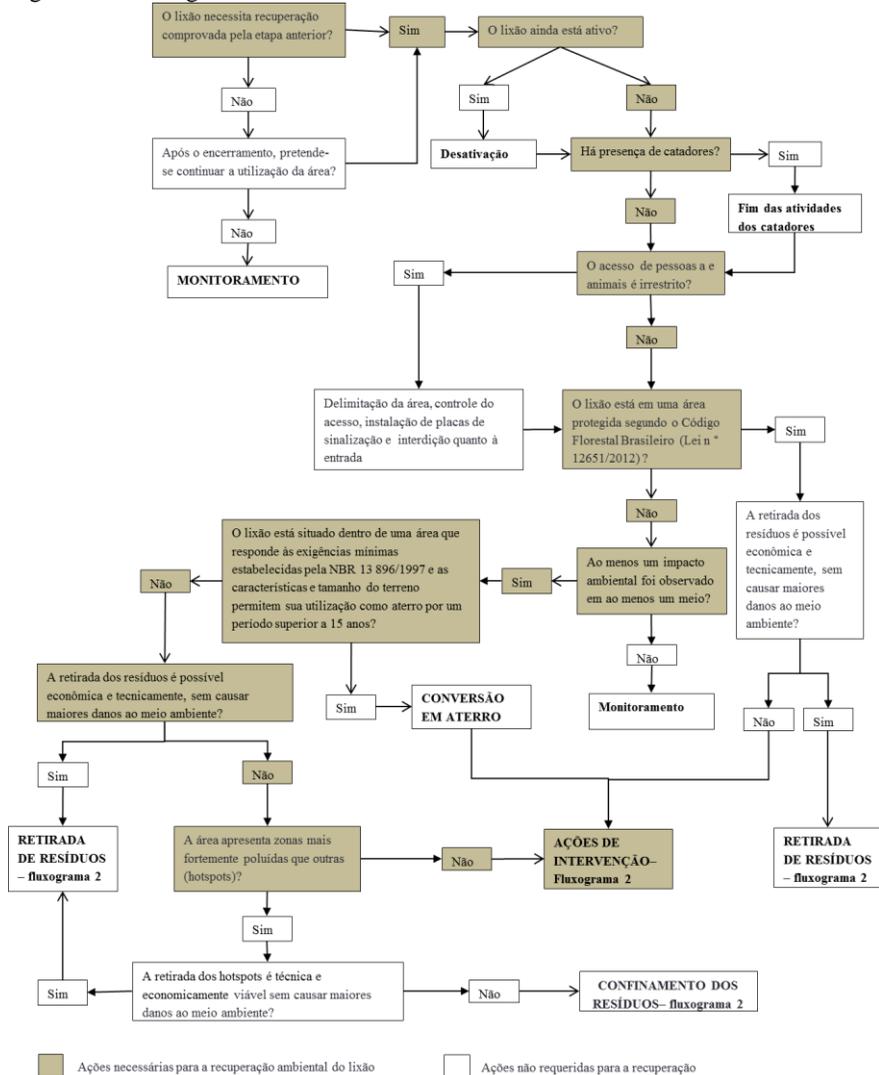
Em sua avaliação (Quadro 11), o profissional percebeu uma falha apresentada pela metodologia ao tentar indicar os pontos mais críticos em relação ao lixão.

Quadro 11 – Avaliação da etapa 1 – Lixão 4

Avaliação da etapa 1	Lixão 4
O manual do usuário é de fácil entendimento?	Sim
A interface da ferramenta é amigável e de fácil utilização?	Sim
O diagnóstico feito pela ferramenta é coerente com o seu diagnóstico?	Sim
Quantos lixões você diagnosticou com a ferramenta?	1
A ferramenta auxiliou na decisão das prioridades de recuperação e eliminação dos lixões?	Sim
Você detectou alguma falha ou tem alguma sugestão para a melhoria da ferramenta?	A tentativa do programa em “resumir” os principais impactos após a geração do diagnóstico foi falha por apresentar como impactos pontos que não eram de fato problemas

A aplicação do fluxograma 1 (Figura 24) determinou a necessidade de ações de intervenção especificadas pelo fluxograma 2 (Figura 25).

Figura 24 - Fluxograma 1 – Lixão 4

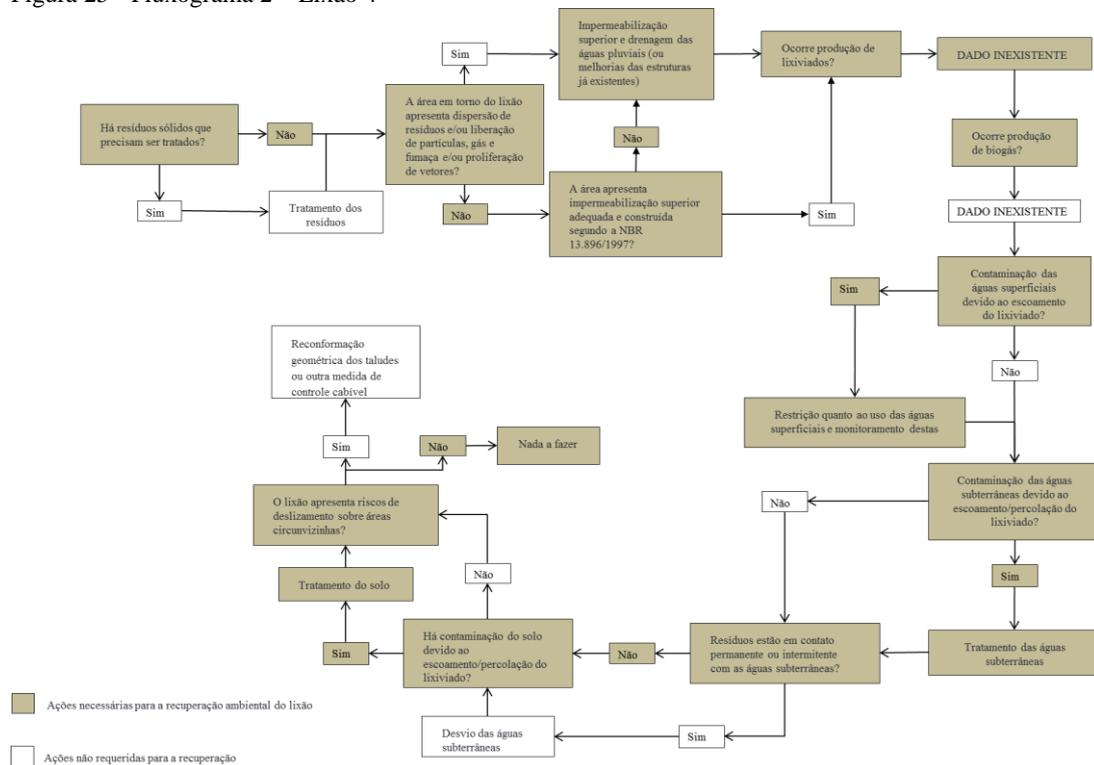


O fluxograma 2 (Figura 25) determinou a necessidade das seguintes ações de intervenção: melhoria da cobertura superior, uma vez que a mesma não foi construída de acordo com a NBR 13896/1997; restrição e monitoramento das águas superficiais; tratamento das águas subterrâneas e do solo.

Não foi recomendado pelo fluxograma 2: tratamento dos resíduos; desvio das águas subterrâneas e reconformação geométrica dos taludes. Não foi possível determinar a necessidade de melhoria dos sistemas de coleta de lixiviados e biogás em função da inexistência de dados que confirmem ou não a geração destes elementos.

Não foi possível executar a validação da etapa 3 devido a ausência de diversos dados que são necessários para o preenchimento das planilhas de avaliação técnica e econômicas das tecnologias.

Figura 25 - Fluxograma 2 – Lixão 4



#### 4.5.6 Lixão 5

Este lixão localiza-se no estado de Santa Catarina, em região distinta dos anteriores e encontra-se em terreno de propriedade da União, cedido à Prefeitura.

Atualmente, funciona no espaço uma central de gerenciamento dos resíduos da cidade, com prédios administrativos, uma área de transbordo de resíduos e um centro de triagem de materiais recicláveis, pátio de compostagem, área para beneficiamento de resíduos de podas, área de transbordo e triagem de resíduos da limpeza pública e ponto de entrega voluntária de resíduos volumosos. Após o encerramento da disposição de resíduos domiciliares, o local recebeu várias camadas de resíduos de construção civil, sendo posteriormente instalada estação de transbordo possibilitando a transferência dos resíduos da cidade até o aterro sanitário localizado em outro município.

Posteriormente, a partir de repasse de recursos do governo federal, em 2000, foi inaugurado o novo espaço, reurbanizado e realizado o plantio de espécies vegetais.

Análises realizadas há cerca de 13 anos indicaram que a geração de biogás na época já era muito fraca, sugerindo a finalização dos processos de degradação da matéria orgânica, o que é possível, visto que a disposição de resíduos domésticos (com matéria orgânica) encerrou-se há cerca de 30 anos.

A validação da metodologia foi realizada por funcionários da empresa de economia mista que atua na gestão de resíduos sólidos e limpeza urbana do município, obtendo-se 81,785 pontos como resultado da validação da etapa 1 (nível médio de intervenção), conforme é possível analisar no Apêndice H.

Na avaliação da etapa 1 (Quadro 12) é possível perceber a não compreensão da equipe que aplicou a metodologia no sentido de não saber se considera a situação antiga, da época de funcionamento do lixão, ou a atual.

Quadro 12 - Avaliação da etapa 1 – Lixão 5

Avaliação da etapa 1	Lixão 5
O manual do usuário é de fácil entendimento?	Sim
A interface da ferramenta é amigável e de fácil utilização?	Sim
O diagnóstico feito pela ferramenta é coerente com o seu diagnóstico?	Sim
Quantos lixões você diagnosticou com a ferramenta?	1
A ferramenta auxiliou na decisão das prioridades de recuperação e eliminação dos lixões?	
Você detectou alguma falha ou tem alguma sugestão para a melhoria da ferramenta?	Junto ao manual poderia conter um glossário simples que explicasse resumidamente o que se pede em cada campo, uma vez que alguns deles são ambíguos, por exemplo, campos que cabia resposta tanto da situação antiga (funcionamento do lixão) quanto da situação atual. Na aba “águas superficiais” as perguntas estão um pouco confusas também.

As demais etapas da pesquisa não foram validadas, pois os colaboradores alegaram falta de dados. Assim, a etapa 2 foi realizada pela pesquisadora. A etapa 3 não foi aplicada também por falta de dados.

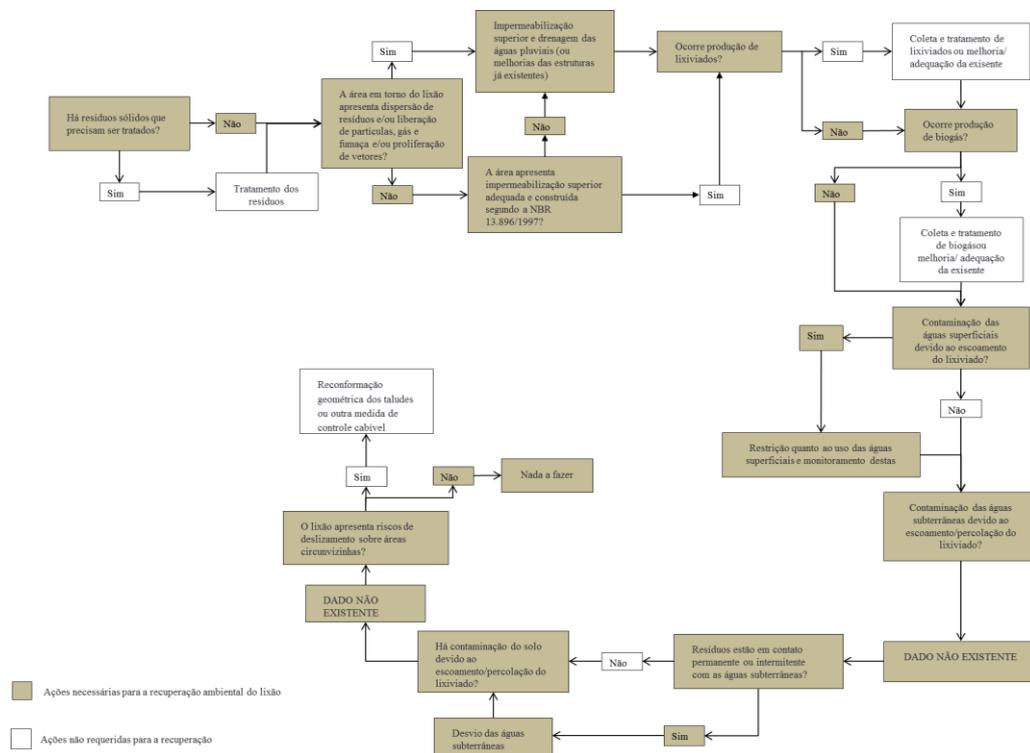
É possível perceber que o fluxograma 1 (Figura 26) indicou que o lixão encontra-se em área protegida pelo Código Florestal por parte dele estar em um manguezal, ao lado de um rio, determinando a necessidade de remoção dos resíduos. Todavia, o grande volume dos resíduos a ser retirado, possivelmente, inviabilizaria técnica e economicamente a remoção, apontando, então, para a necessidade de ações de intervenção especificadas no fluxograma 2 (Figura 27). Este lixão possui área entre 50.000 m<sup>2</sup> e 500.000 m<sup>2</sup> e sua camada de resíduos tem espessura de 2 a 10 m.



biogás, pois análises realizadas em 2003 sugeriam, já na época, a fraca atividade de degradação.

Devido à falta de informações, não foi possível determinar se há a necessidade de tratamento do solo e das águas subterrâneas.

Figura 27 - Fluxograma 2 – Lixão 5



### 4.5.7 Lixão 6

Este lixão está localizado no estado da Paraíba e não foi recuperado. A disposição de resíduos terminou em 2003 e na ocasião, se procedeu a instalação de uma camada de solo como cobertura dos resíduos.

A validação da metodologia foi realizada por uma professora da Universidade Federal da Paraíba e sua equipe que já desenvolveram pesquisas no local. Como resultado da validação, o lixão foi enquadrado no nível médio de intervenção em decorrência da pontuação de 80,687, conforme é possível ver no Apêndice I.

O resultado da avaliação da etapa 1 da metodologia pode ser visto no Quadro 13, onde também destaca-se a reposta imprecisa da especialista em relação ao auxílio da ferramenta nas decisões para a recuperação de lixões. A mesma expressou dúvida, por tratar-se de um lixão inativo, embora não recuperado.

Quadro 13 - Avaliação da etapa 1 – Lixão 6

Avaliação da etapa 1	Lixão 6
O manual do usuário é de fácil entendimento?	Sim
A interface da ferramenta é amigável e de fácil utilização?	Sim
O diagnóstico feito pela ferramenta é coerente com o seu diagnóstico?	Sim
Quantos lixões você diagnosticou com a ferramenta?	1
A ferramenta auxiliou na decisão das prioridades de recuperação e eliminação dos lixões?	Este já estava desativado há 13 anos, mas creio que seja uma boa ferramenta para tomada de decisões
Você detectou alguma falha ou tem alguma sugestão para a melhoria da ferramenta?	Não

As demais etapas da pesquisa não foram validadas pela especialista que alegou falta de dados para tal.

A aplicação da etapa 2 foi realizada pela doutoranda responsável por esta tese e o fluxograma 1 (Figura 28) teve como resultado a necessidade de ações de intervenção especificadas pelo fluxograma 2 (Figura 29).

Figura 28 - Fluxograma 1 – Lixão 6

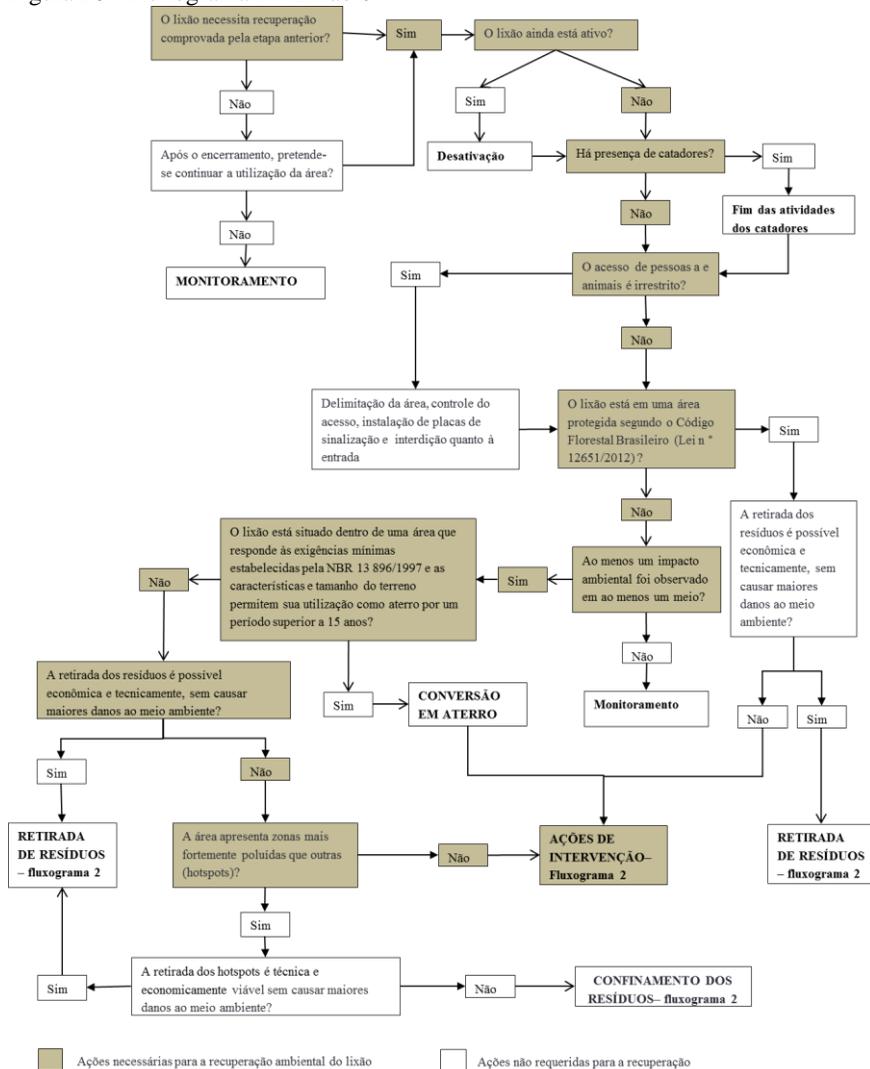
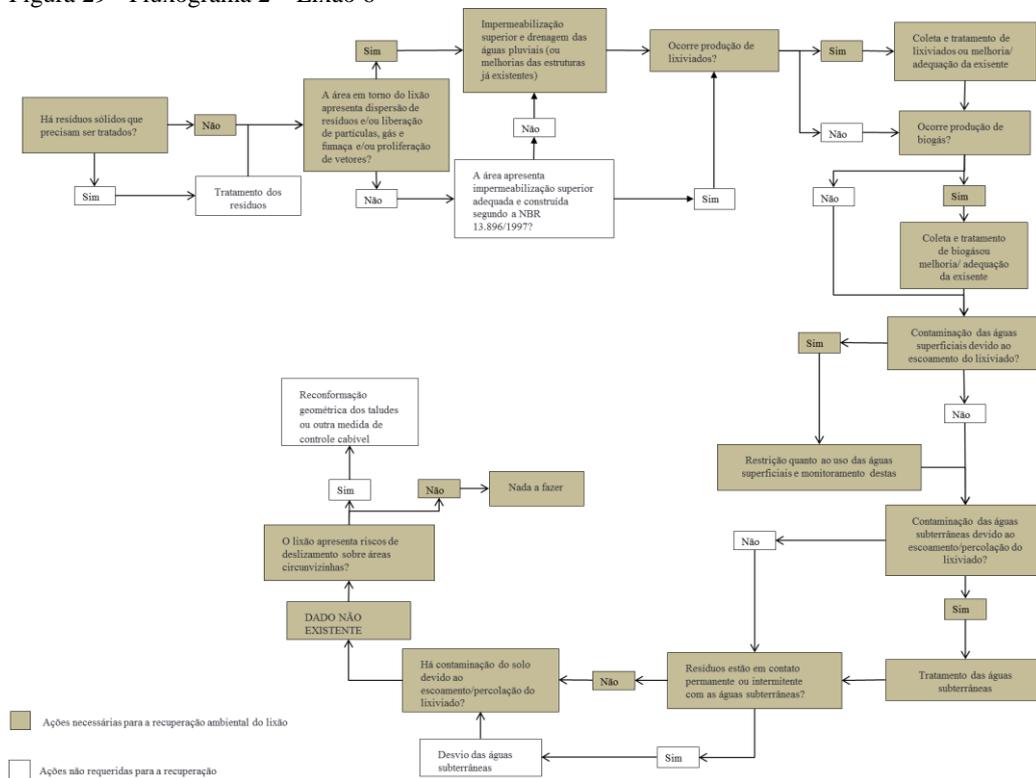


Figura 29 - Fluxograma 2 – Lixão 6



O fluxograma 2 não indicou: tratamento de resíduos, pois eles não serão retirados; desvio das águas subterrâneas, pois estas não estão em contato com os resíduos e reconformação geométrica de taludes.

Todavia, como indicação do fluxograma 2 faz-se necessário: a construção de impermeabilização superior executada de acordo com a NBR 13.896/1997 por não haver cobertura dos resíduos; construção de sistema de coleta e tratamento de lixiviados e de biogás; restrição e monitoramento das águas superficiais e tratamento de águas subterrâneas. Não foi possível determinar a necessidade ou não de tratamento de solos devido à inexistência de dados referentes à sua contaminação.

#### 4.5.8 Etapa 3 – Avaliação técnica e econômica das tecnologias

Para a validação desta etapa, houve a participação de 7 especialistas, cuja formação e atual ocupação de cada um podem ser analisadas no Quadro 14.

Quadro 14 - Especialistas que avaliaram a etapa de avaliação técnica e econômica das tecnologias

<b>Especialista</b>	<b>Formação</b>	<b>Atual ocupação</b>
1	Engenheiro Ambiental / Especialista em Gerenciamento e remediação de áreas contaminadas	Trabalha em uma empresa privada que presta serviços de solução ambiental
2	Engenheiro Ambiental Sanitarista e	Consultor na área de saneamento
3	Engenheiro Ambiental com mestrado na área de resíduos sólidos Sanitarista e	Trabalha na prefeitura de um município paranaense
4	Engenheiro Ambiental com mestrado na área de resíduos sólidos Sanitarista e	Trabalha em uma empresa privada que presta serviços de solução ambiental
5	Engenheiro Ambiental Sanitarista e	Trabalha no MPSC
6	Engenheiro Mecânico	Trabalha em uma empresa privada que presta serviços de solução ambiental
7	Engenheiro Ambiental com mestrado na área de resíduos sólidos Sanitarista e	Trabalha na empresa de saneamento do estado de SC

Como é possível perceber, a maioria dos especialistas é da área de Engenharia Sanitária e Ambiental por compreender-se que a formação deste curso permite a avaliação dos diferentes aspectos abordados na planilha para a avaliação técnica e econômica das tecnologias que podem ser aplicadas na recuperação ambiental de um lixão.

Buscou-se também privilegiar a participação de especialistas da área de resíduos sólidos e de recuperação de áreas degradadas, o que justifica a participação de um Engenheiro Mecânico e de um servidor do Ministério Público de Santa Catarina (MPSC). Este servidor atua na parte técnica do órgão, tendo bastante contato com o “Programa Lixo Nosso de Cada Dia”, responsável, dentre outras ações, pela erradicação de lixões neste estado.

As avaliações, observações e sugestões de cada profissional estão apresentadas por perguntas nos quadros que seguem e foram utilizadas para o aprimoramento da metodologia desenvolvida.

O Quadro 15 refere-se à questão 1 (A apresentação da ferramenta é de fácil entendimento, permitindo ao usuário aprender a utilizá-la sem necessidade de auxílio técnico?). A maioria acredita que a resposta a pergunta seja não.

O que se destaca do exposto pelos especialistas nas respostas desta pergunta é a necessidade de prévio conhecimento técnico por parte dos usuários e da necessidade de um manual que facilite a compreensão desta etapa. Estas mesmas sugestões já haviam sido feitas na avaliação da etapa 1 e, portanto, já acrescentadas na versão final do programa.

Espera-se que esta etapa da metodologia também seja informatizada de maneira sequencial àquela já desenvolvida, o que sanaria os problemas apontados pelos especialistas. Igualmente, espera-se que a metodologia, em todas as suas etapas, seja utilizada por usuários com conhecimentos relativos à problemática.

Quadro 15 - Respostas e comentários referentes à questão 1 da avaliação da etapa 3

<b>Especialista</b>	<b>Resposta</b>	<b>Observações</b>
1	Não	-
2	Não	<p>A ferramenta está bem completa, mas a sua aplicação deverá ser feita por profissional que tenha conhecimentos técnicos.</p> <p>Para a Fase 1 (etapa 1) requer um conhecimento local e as relações da área com o meio ambiente.</p> <p>Já na fase 2 (etapa 2 e 3), o profissional deve conhecer as alternativas técnicas.</p> <p>Em razão de uso de vários termos técnicos, sugiro a introdução de uma ficha de conceitos e descrições.</p> <p>Ex: Passo 2: “Fossa Drenante” O que é? Para pessoas sem conhecimento técnico será difícil o entendimento.</p> <p>Nossa experiência de aplicação na recuperação de um lixão, só foi possível em razão do conhecimento técnico dos profissionais envolvidos.</p> <p>Outro ponto importante, é que seria recomendável que as caixas de textos em amarelo do Fluxograma 2, tivessem a mesma nomenclatura das abas da Planilha da fase 2, o que facilitaria a correlação do item identificado com a solução de intervenção para o mesmo.</p>
3	Sim	Sim, porém uma apresentação ou tutorial para acompanhar a ferramenta sempre são muito úteis e bem vistos por quem vai utilizá-la.
4	Não	-
5	Sim	A resposta considera que as planilhas e o diagnóstico seriam preenchidos por profissional com conhecimento sobre manejo e disposição de RSU e recuperação de áreas degradadas.
6	Não	-
7	Sim	-

O Quadro 16 traz as discussões referentes à questão 2 (A interface da ferramenta é amigável e de fácil utilização?). Destacam-se as críticas acerca da formatação da planilha e as sugestões de incorporar informações mais precisas sobre as células a serem preenchidas. Espera-se que estas questões sejam resolvidas quando da informatização desta etapa.

Quadro 16 - Respostas e comentários referentes à questão 2 da avaliação da etapa 3

<b>Especialista</b>	<b>Resposta</b>	<b>Observações</b>
1	Sim	-
2	Sim	Por tratar-se de planilha Excel podemos classificar como amigável haja vista a facilidade de acesso a este programa. Entretanto, a sugestão é uma melhor formatação das planilhas de forma a torná-las mais facilmente compreensíveis. Um dos complicadores que identificamos compreende a alocação dos recursos de maquinário e mão de obra para as ações do Passo 2. A inexistência de dados de referências para estas atividades dificulta bastante o seu preenchimento. O uso de textos com fonte “9” poderia ser alterado para maior e a formatação das células poderia ser melhor configurada para dar espaço aos textos.
3	Sim	Sugestão: em algumas células você pode utilizar a ferramenta que, ao passar o cursor sobre a célula aparecem informações auxiliares.
4	Não	Coloquei não, mas não significa que não seja. Apenas acredito que possa ser melhor.
5	Sim	Algumas sugestões: pré-definição dos municípios com os códigos do IBGE, sem a necessidade de precisar incluir novo município ao inserir um novo diagnóstico. Outra sugestão para momento posterior seria avaliar a possibilidade de usar um servidor para compartilhamento dos dados, que facilitaria o uso em órgãos capilarizados, como a FATMA.
6	Não	-
7	Não	-

O Quadro 17 traz as discussões sobre a questão 3 (Com base em sua experiência, as proposições feitas pela ferramenta estariam coerentes com um diagnóstico da área realizado por você ou sua equipe de trabalho?). Como é possível perceber neste quadro, a maioria dos especialistas não justificou sua escolha, embora acreditem que as proposições feitas pela ferramenta estariam de acordo com o diagnóstico realizado por eles. Destaca-se a ênfase novamente dada pelo especialista 2 sobre a necessidade de dados de campo para a avaliação ambiental e proposição de ações adequadas.

Quadro 17 - Respostas e comentários referentes à questão 3 da avaliação da etapa 3

Especialista	Resposta	Observações
1	Não	-
2	Sim	Sim, porém com algumas restrições. Como já destacado, algumas informações são comumente indisponíveis, especialmente em se tratando de áreas públicas, fazendo-se necessária a obtenção de dados de campo e até mesmo a realização de investigações como sondagens, coleta de percolados, entre outros.
3	Sim	-
4	Sim	-
5	Sim	Nesse ponto, um modelo de diagnóstico como o apresentado consistiria um avanço pela padronização de avaliação proporcionada.
6	Sim	-
7	Sim	-

Em relação à questão 4 (Com base em sua experiência, você acredita que a ferramenta auxiliaria na decisão das ações de recuperação a implementar em um lixão?), todos os especialistas consultados afirmaram que sim, embora o especialista 2 tenha afirmado a necessidade de pautar decisões em dados de campo e o especialista 3, lembrou que em casos de recuperação ambiental de lixão, diferentes decisões podem ser tomadas, devido aos diferentes critérios que podem ser levados em consideração. Tal fato conduziu a construção desta metodologia como um instrumento para o *apoio* e não *tomada* de decisão, não tendo, portanto, a pretensão de apontar um único possível grupo de tecnologias para serem aplicadas em cada caso, deixando a decisão final por conta do decisor.

Quanto à questão 5 (Quais as alterações que você faria na ferramenta de forma a deixá-la mais adequada para atingir o objetivo proposto? - Quadro 20), alguns especialistas preferiram fazer as sugestões pertinentes junto à cada pergunta proposta. Todavia, a recomendação feita pelo especialista 4 de apresentar as informações necessárias sob a forma de questionamentos, dentro da ideia do “passo a passo”, parece ser muito interessante e resolveria os problemas de formatação e de compreensão sobre o que se fazer ao preencher as planilhas. Nesta questão, o especialista 4 expressou dúvidas referentes ao fluxo de trabalho, ou seja, se as diferentes etapas podem ser elaboradas por atores diferentes. Como a metodologia se propõe a

auxiliar empresas e prefeituras quanto ao processo de recuperação ambiental de lixões, tem-se a compreensão de que não necessariamente todas as etapas do processo serão realizadas pelos mesmos atores.

Quadro 18 - Respostas e comentários referentes à questão 4 da avaliação da etapa 3

<b>Especialista</b>	<b>Resposta</b>	<b>Por quê?</b>
1	Sim	Porque apresenta um roteiro para a tomada de decisão
2	Sim	A ferramenta contempla os elementos necessários para uma avaliação preliminar da área, porém, pela nossa experiência não é suficiente para definir e classificar as intervenções necessárias. Entendemos que a ferramenta deve estar apoiada por outras ferramentas, principalmente, os dados de campo.
3	Sim	A ferramenta contempla amplamente as tecnologias disponíveis, e auxilia a organização e observação das principais variáveis envolvidas em cada uma delas.
4	Sim	As alternativas condizem com as ações passíveis nestes casos. Afinal não há uma verdade absoluta, quanto qual a melhor alternativa nestes casos, pois depende de alguns critérios do próprio tomador de decisão. Portanto, esta ferramenta permite, de forma peremptória, moldar a escolha do método de recuperação com base nestes critérios, fomentando este tipo de ação de acordo com as peculiaridades financeiras e técnicas de cada tomador de decisão.
5	Sim	Sim, pois permite identificar qualitativa e quantitativamente as ações requeridas para a recuperação das áreas dos antigos lixões, fornecendo subsídio para a avaliação de propostas de recuperação.
6	Sim	Na área que trabalho (tratamento de efluentes), acredito que a metodologia auxiliaria porque mostra os passos a serem seguidos e os métodos de tratamento.
7	Sim	Acredito que sim, pois a quantidade de critérios para esta tomada de decisão é grande.

Quadro 19 - Respostas e comentários referentes à questão 5 da avaliação da etapa 3

Especialista	Resposta
1	Substituir as técnicas de intervenção pelas mais utilizadas no mercado, levando em consideração, principalmente, os custos de implantação
2	As alterações sugeridas foram descritas em cada item.
3	As alterações sugeridas foram descritas em cada item.
4	Melhoria da interface, apresentando as informações necessárias sob a forma de questionamentos, a fim de que o utilizador possa inserir as informações sob a ótica do “passo a passo”. Outra sugestão seria a inserção de caixas de “comentários” explicativas, para que em caso de dúvida o usuário possa saná-la apenas colocando o mouse sobre a célula.
5	O MP e os órgãos ambientais normalmente atuam no diagnóstico, enquanto os planos de recuperação das áreas degradadas, a exemplo dos lixões, são propostos pelos responsáveis pelas áreas, sejam municípios ou particulares. Já na terceira fase, compete ao órgão de controle a aprovação (TAC, licença ambiental, etc). Desse modo, não está claro se o fluxo de trabalho proposto prevê que as etapas possam ser elaboradas por atores distintos.
6	As planilhas deveriam estar mais visuais, melhor formatadas. Tem muitas informações que, às vezes se perdem. Ideal colocar alguns exemplos na metodologia, para facilitar o entendimento.
7	<p>Na tabela das condições operatórias:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipos de recursos: teria alguma planilha, para servir de exemplo, já preenchida? Foi aplicado em algum lugar?</li> <li>- Descrição detalhada dos recursos: O que precisaria para fazer isso?</li> <li>- Quantidades e unidades de medida: Seria quantidade de equipamento? Unidade de medida seriam horas, por exemplo? Sugiro separar em duas colunas e citar exemplos para facilitar</li> <li>- Horas de trabalho por unidade: seria algo como h/m<sup>2</sup> ou h/m<sup>3</sup>?</li> <li>- Consumo energético horário e tipo de energia: Seria o consumo de combustível?</li> <li>- Preço unitário e total: Pode considerar também o aluguel, o que seria mais comum em obras</li> </ul>

A maioria dos especialistas consultados não fez maiores observações. É interessante destacar a observação realizada pelo

especialista 1 de criar um critério de validação automática da tecnologia em avaliação. Tal sugestão pode ser facilmente inserida no momento da informatização desta etapa. O inconveniente disso seria apontar uma resposta final, não permitindo que a decisão final seja do decisor. O especialista 7 sugeriu a inserção desta etapa no mesmo programa para a avaliação ambiental dos lixões. Esta sugestão foi acatada.

Com base nas afirmações efetuadas pelos especialistas que avaliaram a etapa 3 da metodologia, representada pelas planilhas para a avaliação técnica e econômica das tecnologias, é possível perceber que esta etapa precisa de adequações, o que pode ser realizado facilmente quando ocorrer sua agregação ao programa para a avaliação ambiental de lixões. Todavia, para que de fato sua utilização seja possível, os dois programas devem estar inter-relacionados, ou então, deve-se continuar o aperfeiçoamento do programa já desenvolvido, de forma que esta etapa seja inserida.

#### 4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho resultante desta pesquisa careceu de elementos investigativos e sondagens de campo que proporcionassem uma avaliação mais aprofundada e precisa sobre cada um dos casos apresentados, seja em decorrência da falta de elementos norteadores de processos de recuperação, seja por falta de recursos financeiros para a obtenção dos dados requeridos na etapa 1. Tais fatos podem ter contribuído para a sub ou superestimação de níveis de intervenção nas áreas onde encontram-se os lixões avaliados.

Além disso, devido à complexidade do processo de recuperação de lixões para o qual é necessário o domínio de inúmeras áreas do conhecimento, sejam elas nas ciências exatas ou ambientais, torna-se evidente a formação de uma equipe multidisciplinar com a presença de engenheiros, geólogos, biólogos e outras formações para a condução das análises e investigações no terreno e a correta utilização das informações obtidas nas demais etapas propostas pela metodologia.

Diante dos fatos expostos, foram inúmeras as dificuldades tidas ao longo do desenvolvimento desta pesquisa em função dos escassos recursos financeiros que impediram sondagens mais aprofundadas e formação de uma equipe multidisciplinar que pudesse colaborar com o desenvolvimento da pesquisa.

Também como dificuldades encontradas teve a falta de colaboração de muitas pessoas que foram contatadas para a validação/avaliação da metodologia, o que fez com que a pesquisa tenha

sido feita em um tempo muito maior do que o estimado, uma vez que, em alguns casos, alguns contatados levaram muitos meses para retornar o material.

A questão dos catadores de materiais recicláveis não foi abordada de maneira mais profunda por se compreender que esta requer um projeto diferenciado que envolve, além dos profissionais já citados, também assistentes sociais. O fim das atividades dos catadores em lixão deve envolver não apenas o pagamento de uma indenização, mas, sobretudo, a reinserção destes em uma atividade econômica relacionada à coleta e triagem de materiais recicláveis. É muito importante uma discussão a fim de esclarecer a importância dos procedimentos a serem tomados com os catadores de forma a evitar situações de conflito e insatisfação como foi relatado por Silva e Luciano (s.d). Tais problemas foram motivados por sentimento de desamparo vivenciado por alguns catadores do lixão de Rio Pardo (RS) quando este foi encerrado e muitos não conseguiram encontrar outras formas de sobrevivência econômica.

Apesar de todos os problemas enfrentados que resultaram em limitações impostas ao processo de validação, a metodologia desenvolvida constitui um avanço no que se refere à sistematização do processo de recuperação de lixões no Brasil. Portanto, espera-se que desta tese surjam outros trabalhos complementares de forma a suprir as carências ainda existentes dentro desta temática. Espera-se, igualmente, que a metodologia aqui proposta alcance as prefeituras dos municípios brasileiros e seja amplamente utilizada.



## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou o desenvolvimento de uma metodologia para apoio à decisão para a escolha de ações para a recuperação ambiental de lixão. As principais conclusões da pesquisa estão relacionadas aos objetivos específicos apontados no início do trabalho:

- ✚ Desenvolver um questionário de campo para a etapa de diagnóstico de lixões

Devido à complexidade em trabalhar com as dimensões econômica e social, optou-se por elaborar um questionário de campo voltado à dimensão ambiental. A aplicação deste questionário, já na forma de programa, concluiu-se relevante e satisfatória de acordo com os envolvidos no processo de validação.

- ✚ Construir ferramenta para a determinação das ações de recuperação requeridas

Buscando a simplicidade e facilidade de aplicação, desenvolveu-se 2 fluxogramas que, utilizados juntos e baseados nas particularidades de cada lixão apontadas pela avaliação ambiental, permitem rapidamente e de forma bastante clara, apontar quais as ações de recuperação são requeridas em cada área especificamente.

- ✚ Propor método para a comparação técnica e econômica de tecnologias

Optou-se apenas pela comparação técnica e econômica por serem os dois critérios geralmente mais levados em consideração na escolha de tecnologias a serem utilizadas. Esta etapa mostrou ser trabalhosa para o usuário final por requer bastante dados, mas concluiu-se que ela cumpre sua função de estabelecer uma comparação se for utilizada por um usuário com conhecimentos específicos na área de remediação de lixões e que dispõe das informações necessárias. Como etapa complementar, a metodologia também propõe uma avaliação ambiental, baseada na ACV, capaz de verificar os impactos ambientais relacionados às tecnologias aplicados na recuperação ambiental de lixões. No exemplo utilizado, avaliou-se as tecnologias para o tratamento do biogás gerado e concluiu-se que o cenário de cogeração de energia térmica e elétrica é o menos impactante. Todavia, esta etapa complementar tem como inconveniência a necessidade de programa específico para realizar esta análise. Tal programa possui uma licença de alto custo e quer um conhecimento relativamente elevado para a sua utilização.



## 6. RECOMENDAÇÕES

É cada vez mais evidente a falta de informações gerais sobre a problemática de resíduos sólidos, não apenas no Estado de Santa Catarina, mas em todo o país. E esta carência de informações inviabiliza qualquer tentativa de esforço para solucionar tal problemática. Partindo disso, recomenda-se:

- Implantar um sistema de informações sobre resíduos sólidos de caráter nacional e que seja alimentado por inúmeras bases de dados, de forma a indicar de maneira clara e precisa a extensão do problema e as ações mais prioritárias a serem utilizadas.

- Formar equipes de trabalho nos estados brasileiros capazes de percorrê-los a fim de identificar áreas degradadas por disposição irregular de resíduos sólidos urbanos e diagnosticá-las para futuras ações de recuperação. Para enfatizar a importância deste trabalho e assegurar resultados satisfatórios, tais equipes devem estar acompanhadas por membros do Ministério Público Estadual e Polícia Ambiental.

- Desenvolver parcerias de trabalho entre as instituições de ensino e as prefeituras para o desenvolvimento de estudos visando a recuperação ambiental de lixões

- Elaborar um Termo de Referência ou Instrução Normativa pelos órgãos ambientais estaduais capaz de nortear especificamente os projetos propostos para a recuperação ambiental de lixões.

- Melhorar o programa para avaliação de lixões, a fim de evitar respostas inconsistentes.

- Informatizar toda a metodologia desenvolvida nesta tese e disponibilizar gratuitamente às prefeituras brasileiras incentivando-as a procederem adequadamente à recuperação ambiental dos lixões contidos em seu território.

- Ampliar os estudos, e conseqüentemente o uso, da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida como um dos instrumentos de avaliação das tecnologias aplicadas à recuperação ambiental de lixões.

- Desenvolver um estudo específico orientando às ações a serem executadas em relação ao fim das atividades dos catadores em um lixão a ser encerrado e recuperado, estimulando a reinserção social destes.

- Participar de algum edital de pesquisa para a implementação da metodologia desenvolvida por esta tese.



## 7. REFERÊNCIAS

AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA MAÎTRISE DE L'ENERGIE. **Remise em état des décharges : méthodes et techniques**. Angers, França: ADEME, 2005.

**AGÊNCIA SENADO**. Senadores aprovam prorrogação do prazo para fechamento dos lixões. 2015. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2015/07/01/senadores-aprovam-prorrogacao-do-prazo-para-fechamento-dos-lixoes>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

AINA, M. P. **Expertises de centres d'enfouissement techniques de déchets urbains dans les PED : contributions a l'elaboration d'un guide methodologique e sa validation experimentale sur sites**. 2006. 206 p. Tese (Doutorado) – Faculte des Sciences et Techniques, Laboratoire des Sciences de l'Eau et de l'Environnement, Discipline Chimie et Microbiologie de l'eau, Limoges, França, 2006.

AIR FORCE CENTER FOR ENVIRONMENTAL EXCELLENCE. **Decision Tool For Landfill Remediation**. 1999. Disponível em: <[http://synectics.net/public/library/StreamResource.axd?DSN=pub&Mod e=FileImage\\_Inline&ID=382](http://synectics.net/public/library/StreamResource.axd?DSN=pub&Mod e=FileImage_Inline&ID=382)>. Acesso em: 25 abr. 2014.

ALBERTE, E. P. V.; CARNEIRO, A. P.; KAN, L.. Recuperação de áreas degradadas por disposição de Resíduos Sólidos Urbanos. **Diálogos e Ciência**. Ano III, n. 5, jun. 2005.

ALCÂNTARA, P. B. *et al.* Disposição de resíduos sólidos e poluição ambiental: estudo de caso do município de Juazeiro do Norte – CE. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 26., 2011. Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ABES, 2011.

ANDRADE, J. de A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, Isabel C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclét. Quim**. vol.35 no.3 São Paulo Sept. 2010.

ARCADIS Tetraplan. 2010. **Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável**. Disponível em: <

[http://www.mma.gov.br/estruturas/164/\\_publicacao/164\\_publicacao10012011033201.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033201.pdf)>. Acesso em 11 dez. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA. **Estimativas dos custos para viabilizar a universalização da destinação adequada de resíduos sólidos no Brasil**. 2015. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/arquivos/pub\\_estudofinal\\_2015.pdf](http://www.abrelpe.org.br/arquivos/pub_estudofinal_2015.pdf)>. Acesso em: 23 maio 2016.

\_\_\_\_. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015**. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009

\_\_\_\_. **NBR 8419**: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_. **NBR 13896**: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BAHIA. Governo do Estado. Secretaria de Desenvolvimento Urbano. **Termos de referência para elaboração de projetos de engenharia e estudos ambientais de obras e serviços de infraestrutura de sistemas integrados de destinação final de resíduos sólidos urbanos**. Salvador, 2013.

BELI, E. *et al.* Recuperação da área degradada pelo lixão areia branca de Espírito Santo do Pinhal – SP. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, SP.v. 2, n. 1, p. 135-148, jan/dez 2005.

BERVIQUE, J. M. **Estudo dos impactos ambientais causados pelo antigo lixão, no Jardim Juliana A e Jardim das Palmeiras II**. 2008. 132 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) –Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2008.

BIDONE, R. F. **Tratamento de Aterro Sanitário por sistema composto por filtros anaeróbios seguidos de banhados construídos: Estudo de caso – central de resíduos do recreio, em Minas do Leão/RS.** 2007. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia – Hidráulica e Saneamento) – Programa de Pós Graduação e Área de concentração em Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2007.

BISORDI, M. S. *et al.* **O processo de transformação de lixo em aterro sanitário.** 2004. Disponível em: <<http://etg.ufmg.br/~gustavo/geotecniaaplicada/p8.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2013.

BOUYSSOU, D. *et al.* **Concepts et méthodes pour l'aide à la décision 1.** Lavoisier: Paris, 2006.

BRASIL. **Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.** Diário Oficial [da] União, Brasília, 12 fev. 1998. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm)>. Acesso em: 10 out. 2013.

\_\_\_\_. **Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010.** Diário Oficial [da] União, Brasília, 02 ago. 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 10 out. 2013.

\_\_\_\_. **Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Diário Oficial [da] União, Brasília, 25 mai. 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm)>. Acesso em: 10 out. 2013.

\_\_\_\_. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2014.** Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2014>>. Acesso em: 09 mar. 2016.

\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Saneamento Básico.** 2011. Disponível em: <[http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos\\_PDF/plansab\\_06-12-2013.pdf](http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/plansab_06-12-2013.pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2014.

BRITO FILHO, L. F. **Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos**. 218 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY. **Evaluating Environmental Decision Support Tools**. 2002. Disponível em: <<http://www.bnl.gov/isd/documents/30163.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2014.

CAETANO, M. O. **Equipamento compacto para tratamento de águas subterrâneas contaminadas por BTEX e TPH**. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

CARVALHO, E. H.; PFEIFFER, S. C. Plano de recuperação para a área degradada pelo lixão de Goianésia (GO). **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 23., 2005. Campo Grande. Anais... Campo Grande: ABES, 2005.

CASTILHOS JR., A. *et al.* Principais processos de Degradação de Resíduos Sólidos Urbanos. In: CASTILHOS JUNIOR, A. B. *et al.* (Org.). **Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades**. Rio de Janeiro: RiMa/ABES, 2002.

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

COMPANHIA TECNOLÓGICA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Aterro Sanitário**. São Paulo: CETESB/SMA, 1997.

\_\_\_\_. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos**. 2014. Disponível em: <<http://residuossolidos.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2013/11/residuosSolidos2014.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2015.

\_\_\_(b). **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. São Paulo, 2001.

\_\_\_ . **Relatório Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo**. Maio de 2002.

\_\_\_(a). **Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. Relatórios Ambientais. São Paulo, p. 244, 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução N° 001, de 23 de janeiro de 1986**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 13 ago. 2014.

\_\_\_ . **Resolução N° 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em 13 ago. 2014.

\_\_\_ . **Resolução N° 396, de 07 de abril de 2008**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em 13 ago. 2014.

\_\_\_ . **Resolução N° 420, de 28 de dezembro de 2009**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 17 jan. 2014.

COSSU, R. Groundwater contamination from landfill leachate: When appearances are deceiving! **Waste management**, vol. 33, issue 9, p. 1793–1794, sep. 2013.

DESUSDARÁ, M. C. *et al.* Diagnóstico ambiental na área de influência de um depósito de resíduos sólidos urbanos em Ponte Nova – MG. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 19., 2011. Maceió. **Anais...** Maceió: ABRH, 2011.

DIAS, N.; CARVALHO, M.T.; LIMONS, R. Challenges in the deactivation of more than 2000 open dumping sites in Brazil. In: International Waste Management and Landfill Symposium, 14., 2013. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. **Proceedings Sardinia, 2013**. Cagliari, Italy, 2013.

DONAIRE, P. P. R. **Tratamento de água subterrânea contaminada com BTEX utilizando fotocatalise heterogênea**. 101 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

ECYCLE. **Metano: o gás estufa pode ser um biogás para geração de energia**. Disponível em: <<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/63/2426-metano-composicao-o-que-e-pra-que-serve-hidrocarboneto-ch4-incolor-inodoro-fontes-digestao-lixo-organico-reservatorios-hidretricas-efeitos-aquecimento-global-gas-estufa-controlar-biogas-gas-natural-aterro-sanitario-lixao-compostagem-domestica.html>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S. M. **Apoio à decisão: metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. Florianópolis: Insular, 2001.

EXPORTPAGES. **Sistema de queima em flare para biogás**. Disponível em <<https://exportpages.pt/pt/produto/sistema-de-queima-em-flare-para-biogas/124079/>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Gerenciamento de áreas contaminadas: conceitos e informações gerais**. Belo Horizonte: FIEMG, s.d. Disponível em: <<http://www5.fiemg.com.br/admin/BibliotecaDeArquivos/Image.aspx?ImgId=30628&TabId=13628>>. Acesso em: 25 jul. 2014.

FERNANDES, J. G. **Estudo da Emissão de Biogás em um Aterro Sanitário Experimental**. 2009. 116 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

FERRER, J.T.V.; ALVES, J.W.S. **Biogás: projetos e pesquisas no Brasil**. São Paulo: CETESB/SMA. p.184, 2006.

FRANÇA, R. G.; RUARO, E. C. R. Diagnóstico da disposição final dos resíduos sólidos urbanos na região da Associação dos municípios do Alto Irani (AMAI), Santa Catarina. In: **Ciência & Saúde Coletiva**, 14(6):2191-2197, 2009.

FUKUROZAKI, S. H. **Avaliação do ciclo de vida de potenciais rotas de produção de hidrogênio: estudos dos sistemas de gaseificação da biomassa e de energia solar fotovoltaica.** 2011. 180 f. Tese (Doutorado em Ciências na área de tecnologia nuclear -Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos.** Belo Horizonte: FEAM, 2010.

GOEDKOOP, M. *et al.* **ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level.** Report I: Characterisation. Bilthoven: RIVM, 2009. Disponível em: <<http://www.lcia-recipe.net/file-cabinet>>. Acesso em: 18 set. 2014.

GOMES, L.P. (coord.). in: **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras.** GOMES L. P.; CANTANHEDE, A. L. G.; AMORIM, A. K. B.; CASTILHOS JR., A. B.; FERNANDES, F.; FERREIRA, J. A.; JUCÁ, J. F. T.; LANGE, L. C.; LEITE, V. D., eds. Rio de Janeiro: ABES, v. 1, p. 97-139. 2009

HAMELIN, L. *et al.* **Life cycle assessment of biogas from separated slurry.** Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University, 2010. Disponível em: <<http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2010/978-87-92668-03-5/pdf/978-87-92668-04-2.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2013.

HECK, T. Wärme-Kraft-Kopplung. In: DONES, R. *et al.* (Ed.). **Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz.** Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, 2007. Disponível em: <<http://www.ecoinvent.org/>>. Acesso em: 08 jun. 2016.

ICLEI. **Manual para aproveitamento do biogás: aterros sanitários.** Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009.

ISO. **14040**: Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. Geneva (Switzerland): ISO copyright office, 2006a.

ISO. **14044**: Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and guidelines. Geneva (Switzerland): ISO copyright office, 2006b.

IPCC. Fugitive emissions. v. 2, p. 4.1–4.78. In: EGGLESTON, S. H. *et al.* (Eds.). **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Japan: IGES, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Manual de Recuperação de Áreas Degradadas Pela Mineração: Técnicas de Revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990.

JOSEPH, K. *et al.* **Dumpsite Rehabilitation and Landfill Mining**, CES, Anna University, Chennai-600 025, India, 2004.

\_\_\_\_. **Dumpsite Rehabilitation Manual**, CES, Anna University, Chennai-600 025, India, s.d.

LANGE, L. *et al.* Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de Fenton. **Eng. Sanit.Ambient.** Vol.11 - Nº 2 - abr/jun 2006, 175-183.

LEMOS, J. L. S. *et al.* Técnicas de biorremediação de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo. **Diálogos e Ciência**. Ano III, n.11. Dez, 2009.

LOPES, W. S.; LEITE, V. D.; PRASAD, S. Avaliação dos impactos ambientais causados por lixões: um estudo de caso. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 27., 2013. Goiânia. Anais... Goiânia: ABES, 2013.

LUNENBURG, F. C. The decision making process. **National forum of education administration and supervision journal**. Vol. 27. Nº 4. 2010.

LUPATINI, G. **Desenvolvimento de um Sistema de apoio à decisão em escolha de áreas para aterros sanitários**. 2005. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

MACIEL, F.J.; JUCÁ, J.F.T. **Biogas recovery in an experimental MSW cell in Brazil**: lessons learned and recommendations for CDM projects, *Greenhouse Gas Measurement and Management*, v. 2, pp 186-197, 2013. DOI:10.1080/20430779.2013.764482

MANSOR, M. T. C. *et al.* **Cadernos de Educação Ambiental – Resíduos Sólidos**. São Paulo: 2010.

MATHEYS, J., *et al.* (2007). Influence of Functional Unit on the Life Cycle Assessment of Traction Batteries. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 12 (3), 191-196.

MAYSTRE, L. Y.; PICTET, J.; SIMOS, J. **Méthodes multicritères ELECTRE**. 1. ed. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 1994.

MEDEIROS, G. A. *et al.* Diagnóstico da qualidade da água e do solo no lixão de Engenheiro Coelho, no estado de São Paulo. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal. v.5, n.2, p.169-186, mai-ago 2008.

MONTEIRO *et al.* **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, IBAM, 2001.

NAFI, A.; WEREY, C.. **Aide à la décision multicritère : introduction aux méthodes d'analyse multicritère de type ELECTRE**. S.d. Disponível em: <[http://engees.unistra.fr/fileadmin/user\\_upload/pdf/gsp/Cours\\_MCDA\\_A\\_N.pdf](http://engees.unistra.fr/fileadmin/user_upload/pdf/gsp/Cours_MCDA_A_N.pdf)>. Acesso em: 26 fev. 2015.

OLIVEIRA, M. D.; AZEVEDO, M. de A. **Indicadores ambientais no monitoramento de processos de recuperação de áreas degradadas pela disposição de resíduos sólidos**. 2010. Disponível em:<<http://www.cbcn.org.br/simposio/2010/palestras/indicadores.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2013.

OLIVEIRA, S.; PASQUAL, A. **Avaliação de parâmetros indicadores de poluição por efluente líquido de um aterro sanitário.** 2004. Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522004000300010](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522004000300010)>. Acesso em: 29 de jan. 2014.

PE International. **GaBi Paper tutorial. Part 1.** Introduction to LCA and modelling using GaBi. Disponível em: <[http://www.gabi-software.com/fileadmin/GaBi\\_Manual/GaBi\\_Paperclip\\_tutorial\\_Part1.pdf](http://www.gabi-software.com/fileadmin/GaBi_Manual/GaBi_Paperclip_tutorial_Part1.pdf)>. Acesso em: 26 jun.2015.

PEREIRA, A. V. R. P. **Desenvolvimento de um indicador para avaliação de desempenho de aterro de resíduos sólidos urbanos.** 2005. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

PESSIN, N.; SILVA, A. R.; PANAROTTO, C. T. Monitoramento de Aterros Sustentáveis para Municípios de Pequeno Porte. In: CASTILHOS JUNIOR, A. B. *et al.* (Org.). **Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades.** Rio de Janeiro: RiMa/ABES, 2002.

PETRI, S. M. **Modelo para Apoiar a Avaliação das Abordagens de gestão de Desempenho e Sugerir Aperfeiçoamentos: Sob a Ótica Construtivista.** 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PÖSCHL, M., WARD, S., OWENDE, P. **Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways.** Applied Energy, v. 87, pp 3305-3321, 2010. DOI 10.1016/j.apenergy.2010.05.011

POSSAMAI, F. P.; COSTA, M. M.; VIANA, E. **Lixões inativos na região sul de Santa Catarina.** (s.d.). Disponível em: <[http://www.fmd.pucminas.br/Virtuajus/2\\_2006/Docentes/pdf/Fernando.pdf](http://www.fmd.pucminas.br/Virtuajus/2_2006/Docentes/pdf/Fernando.pdf)>. Acesso em: 16 mai. 2013.

POSSAMAI, F. P. *et al.* Lixões inativos na região carbonífera de Santa Catarina: análise dos riscos à saúde pública e ao meio ambiente. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, p. 171-179, 2007.

PREMIER ENGENHARIA E CONSULTORIA SS LTDA. **Relatório Final – Relatório contendo os resultados do plano de pesquisa**. 2012. Disponível em: <[http://www.mp.sc.gov.br/portal/conteudo/cao/cme/relat%C3%B3rio%20abes-mp\\_vers%C3%A3o%20final.pdf](http://www.mp.sc.gov.br/portal/conteudo/cao/cme/relat%C3%B3rio%20abes-mp_vers%C3%A3o%20final.pdf)>. Acesso em: 07 out. 2013.

QUERINI, F. **Analyse de cycle de vie des énergies alternatives pour l'automobile et propositions méthodologiques pour une meilleure évaluation des impacts locaux**. 2012. 402 f. Thèse (Doctorat en Sciences en ingénierie des matériaux, mécanique, énergétique et aéronautique, secteur de recherche : énergétique, thermique, combustion). *École supérieur de mécanique et aéronautique*. Poitiers, 2012.

REICHERT, G. A. **Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários**. Apostila da disciplina de Gerenciamento de Resíduos de Sólidos II, Universidade de Caxias do Sul, 2007.

\_\_\_\_. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário realizado em filtro anaeróbico em leito de brita construído sob o aterro: concepção de projeto. **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 27., 2013. Goiânia. Anais... Goiânia: ABES, 2013.

ROUSSEAU, P. **Aide à la décision : une approche par la concertation, la négociation et l'analyse multicritère**. Niort, 2015. (Apostila do Curso sobre Méthodes et analyse multicritères pour l'aide à la décision – Institut des Risques Industriels, Assurantiels et Financiers, Pôle Universitaire de Niort).

ROY, B. **Méthodologie multicritère d'aide à la décision**. Paris: Economica, 1985.

SANTA CATARINA. **Lei Nº 13.557, de 17 de novembro de 2005**. Diário Oficial, Florianópolis, 17 nov. 2005. Disponível em: <[http://www.carvaomineral.com.br/abcm/meioambiente/legislacoes/bd\\_carboniferas/residuo/lei\\_estadual\\_13557-2005.pdf](http://www.carvaomineral.com.br/abcm/meioambiente/legislacoes/bd_carboniferas/residuo/lei_estadual_13557-2005.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2013.

\_\_\_\_. Ministério Público. **Lixo nosso de cada dia**. 2013. Disponível em: < <http://www.mpsc.mp.br/portal/servicos/programas.aspx>>. Acesso em: 01 jul 2014.

SANTOS, A. P. G. **Poluição de solos: contaminação, remediação e prevenção**. 2004. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil com ênfase Ambiental) Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2004.

SCHMID, A. **Valorisation des véhicules hors d'usage (VHU): Comparaison multicritère des scénarios de démantèlement par une étude expérimentale menée sur un site industriel de déconstruction-broyage**. 2012. Tese. (Doctorat en Sciences de l'Environnement Industriel et Urbain). Institut National des Sciences Appliquées. Lyon, France, 2012.

SCHMIDT, C. A. B. **Remediação *in situ* de solos e águas subterrâneas contaminadas por líquidos orgânicos não miscíveis em água (NAPLs)**. Série Temática: Resíduos Sólidos e Geotecnia Ambiental – Vol. 1. Rio de Janeiro: COAMB / FEN / UERJ / 2010.

SERRA, A. L. R. C.; RODRIGUES, M. A. Vulnerabilidade em Área de Risco Ambiental: o caso da ocupação do “lixão da Pirelli” em Campinas. In: **Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 13**; Ouro Preto, MG, 2002.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Seleção de municípios críticos a deslizamentos**. 2011. Disponível em: < [http://www.cprm.gov.br/publique/media/apresentacao\\_susc.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/apresentacao_susc.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2015.

SILVA, A. R.; LUCIANO, C. P. **Sociedade do descarte: estudo de caso do “lixão” do município de Rio Pardo/RS**. Disponível em: <[https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.capitalsocialsul.com.br%2Fcapital-socialsul%2Fdesenvolvimentoregional%2FGrupo%25202%2F14.pdf&ei=rVVxUpv-BYazsASR\\_IHQDA&usq=AFQjCNEAoYv6Uw5IW9wCs8MO0r0s0bUA9pQ&sig2=yHzoOfbFT-goikKfArdc2A&bvm=bv.55617003,d.eW0](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.capitalsocialsul.com.br%2Fcapital-socialsul%2Fdesenvolvimentoregional%2FGrupo%25202%2F14.pdf&ei=rVVxUpv-BYazsASR_IHQDA&usq=AFQjCNEAoYv6Uw5IW9wCs8MO0r0s0bUA9pQ&sig2=yHzoOfbFT-goikKfArdc2A&bvm=bv.55617003,d.eW0)>. Acesso em: 29 out. 2013.

TAVARES, S. R. L. Áreas degradadas: conceito e caracterização do problema. In: TAVARES, S. R. L *et al.* **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008.

TCHOBANOGLIOUS, G; T., H; ELIASSEN, R. **Desechos solidos. Principios de Ingeniería y Administración.** Traduzido por: Armando Cubillos. Mérida, Venezuela, 1982.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidance for Conducting Remedial Investigations and Feasibility Studies Under CERCLA.** 1988. Disponível em: <<http://rais.ornl.gov/documents/GUIDANCE.PDF>>. Acesso em: 18 abr. 2014.

VILHENA, A. (coord.). **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** 3. Ed. São Paulo: CEMPRE, 2010.

ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. F. A. Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos. In: CASTILHOS JUNIOR, A. B. *et al.* (Org.). **Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades.** Rio de Janeiro: RiMa/ABES, 2002.



## APÊNDICES

### Apêndice A – Carta-convite e de apresentação à banca de especialistas



Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - PPGA  
Laboratório de Resíduos Sólidos - LARESO



Institut National des Sciences Appliquées – INSA Lyon  
Laboratoire de génie civil et ingénierie environnementale – LGCIE –  
Déchets, eau, environnement et pollution - DEEP



A cada dia que se passa os problemas relativos aos resíduos sólidos crescem no mundo todo, em particular, os relativos à disposição irregular de resíduos sólidos. Desde 2010 o Brasil conta com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12305) que determina, dentre várias ações, o encerramento dos lixões e a recuperação ambiental dos mesmos. Todavia, para se efetivar estas ações, o primeiro passo a ser executado em cada área a ser recuperada é a realização de uma avaliação ambiental que possibilita conhecer a situação encontrada, para então, determinar-se as ações de reabilitação.

Desta forma, o presente trabalho, desenvolvido em parceria com o “Laboratoire de génie civil et ingénierie environnementale” (LGCIE), setor “Déchets, eau, environnement et pollution” (DEEP) do Institut National des Sciences Appliquées (INSA Lyon), propõe o desenvolvimento de duas ferramentas a serem aplicados nos lixões brasileiros afim de facilitar as ações de reabilitação.

O primeiro é um questionário de campo que permite a realização de uma avaliação ambiental do lixão, neste trabalho, representado pelo documento em PDF.

O segundo, representado por uma planilha Excel que utiliza as informações coletadas pelo questionário para propor, de forma simples e direta, uma classificação dos lixões dentro de uma situação onde há mais do que 1 lixão a ser reabilitado e não se conhece a ordem de urgência. Tal classificação apresenta 3 níveis de impacto, sendo que o primeiro, o nível verde, indica a não necessidade de ações de reabilitação, mas propõe a realização de um monitoramento local. O segundo e o terceiro níveis (amarelo e vermelho) indicam necessidade de maiores investigações e a realização de ações de reabilitação local. Nesta planilha ainda é possível verificar a pontuação obtida pelo lixão, servindo para critério de “desempate” dentro de uma situação onde 2 ou mais lixões estão classificados dentro de um mesmo nível. É importante destacar que conhecendo a falta de informações consistentes da maioria dos lixões brasileiros, a tabela Excel prevê a possibilidade de assinalar o desconhecimento da informação solicitada. No entanto, sabe-se também a falta de uma informação pode esconder um grave dano ambiental, desta forma, o desconhecimento da informação é tratado de forma penalizante na pontuação final.

Todavia, para alcançar os objetivos propostos por estas ferramentas, as mesmas devem ser avaliadas previamente por um grupo de especialistas brasileiros da área de resíduos utilizando a tabela abaixo. Conhecendo vossa capacidade de avaliação e experiência na área, contamos com a vossa participação na avaliação dos instrumentos propostos.

Avaliador: \_\_\_\_\_  
Instituição: \_\_\_\_\_

Tabela 1 - Avaliação dos instrumentos

Questionário de campo	
1. Consegue atingir o objetivo proposto?	( ) Sim ( ) Não Por quê?
2. Algum questionamento da categoria “identificação” não é pertinente em relação ao objetivo proposto?	( ) Sim ( ) Não Qual?
3. Na categoria “identificação” verifica-se a ausência de algum questionamento que permitiria um melhor alcance do objetivo proposto?	( ) Sim ( ) Não Qual?
4. Algum questionamento da categoria “caracterização do lixão” não é pertinente em relação ao objetivo proposto?	( ) Sim ( ) Não Qual?
5. Na categoria “caracterização do lixão” verifica-se a ausência de algum questionamento que permitiria um melhor alcance do objetivo proposto?	( ) Sim ( ) Não Qual?

6.	Algum questionamento da categoria “ <b>solo e águas subterrâneas</b> ” não é pertinente em relação ao objetivo proposto?
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não Qual?
7.	Na categoria “ <b>solo e águas subterrâneas</b> ” verifica-se a ausência de algum questionamento que permitiria um melhor alcance do objetivo proposto?
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não Qual?
8.	Algum questionamento da categoria “ <b>águas superficiais</b> ” não é pertinente em relação ao objetivo proposto?
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não Qual?
9.	Na categoria “ <b>águas superficiais</b> ” verifica-se a ausência de algum questionamento que permitiria um melhor alcance do objetivo proposto?
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não Qual?
10.	Algum questionamento da categoria “ <b>humano</b> ” não é pertinente em relação ao objetivo proposto?
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não Qual?
11.	Na categoria “ <b>humano</b> ” verifica-se a ausência de algum questionamento que permitiria um melhor alcance do objetivo proposto?
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não Qual?
12.	Algum questionamento da categoria “ <b>meio natural e paisagens</b> ” não é pertinente em relação ao objetivo proposto?
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não Qual?
13.	Na categoria “ <b>meio natural e paisagens</b> ” verifica-se a ausência de algum questionamento que permitiria um melhor alcance do objetivo proposto?
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não Qual?
14.	Algum questionamento da categoria “ <b>ar</b> ” não é pertinente em relação ao objetivo proposto?
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não Qual?
15.	Na categoria “ <b>ar</b> ” verifica-se a ausência de algum questionamento que permitiria um melhor alcance do objetivo proposto?
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não Qual?

## **Apêndice B – Instrução para a ponderação**

### **PONDERAÇÃO DAS CATEGORIAS DO QUESTIONÁRIO**

O presente questionário foi elaborado com uma dupla finalidade. A primeira é servir de instrumento para avaliação de lixões que estejam em vias de serem reabilitados. A segunda é determinar o nível de impacto de cada lixão, informação esta que pode servir a um lixão individualmente, ou para hierarquizar um grupo de lixões, determinando a ordem de urgência para a recuperação. Para tanto, este questionário será transformado em um programa.

Todavia, sabe-se que a representação de um determinado impacto pode ser maior ou menor de acordo com as condições particulares encontradas em cada lugar. Ou seja, para um lixão que encontra-se em meio a uma comunidade, o impacto social terá maior significância neste contexto, do que na situação em que um lixão localiza-se em meio rural. Da mesma forma, o impacto sobre as águas será maior quando observado que o lixão está em uma área de recarga de manancial do que na situação em que ele está em uma área com menor quantidade de recursos hídricos e solo menos permeável.

Desta forma, a fim de reduzir estas disparidades, propõem-se neste momento, um sistema de ponderação das categorias que compõem o questionário (caracterização do lixão, solo e águas subterrâneas, águas superficiais, social, meio natural e paisagens e ar) considerando 6 situações genéricas:

1. Áreas de interesse ambiental ou espaço territorial especialmente protegido, como APP, RL ou uma UC, conforme especificado na Lei 9985/2000 (“Lei do SNUC”)
2. Área urbana
3. Área rural
4. Área em talvegue que pode abrigar curso d’água intermitente e/ou região de várzea e/ou área de recarga de manancial?
5. Área industrial

O procedimento de ponderação será efetuado com base na metodologia para ponderação usada por Schmid (2012 - *Valorisation des véhicules hors d’usage (VHU): Comparaison multicritère des scénarios de démantèlement par une étude expérimentale menée sur un site industriel de déconstruction-broyage*) na qual cada especialista consultado, de acordo com seu

conhecimento, irá atribuir um percentual relativo à importância da categoria (caracterização do lixo, solo e águas subterrâneas, águas superficiais, social, meio natural e paisagens e ar) em relação à cada situação específica. A média do grau de importância atribuído pelos especialistas será utilizada para a ponderação das categorias no programa derivado desta pesquisa.

### TABELA PARA A PONDERAÇÃO

Para a realização da ponderação, deve-se dividir a pontuação em percentual entre as categorias (caracterização do lixo, solo e água subterrânea, água superficial, social, meio natural e paisagens e ar) de acordo com o grau de importância que este apresenta dentro de uma determinada situação. O somatório dos percentuais atribuídos dentro de cada categoria deve resultar no fechamento de 100%.

	Situação 1	Situação 2	Situação 3	Situação 4	Situação 5
Caracterização do lixo					
Solo e água subterrânea					
Água superficial					
Social					
Meio natural e paisagens					
Ar					
Porcentagem total	100	100	100	100	100

Em sua opinião estas situações conseguem representar de maneira satisfatória e ampla as situações que podem ocorrer em relação a um lixo?

( ) Sim      ( ) Não

Por quê?

---

**Apêndice C** - Questionário de campo**QUESTIONÁRIO DE CAMPO PARA DIAGNÓSTICO DE LIXÕES****Listagem de leis e normas necessárias para o preenchimento do questionário:**

- Plano Nacional de Resíduos Sólidos;
  - Plano estadual de resíduos sólidos (se houver);
  - Plano municipal ou intermunicipal de resíduos sólidos (se houver);
  - Lei 12.305/2010;
  - Lei 9985/2000;
  - Plano Diretor Municipal (se houver);
  - NBR 13896/1997;
  - NBR 10004/2004;
  - CONAMA 420/2009;
  - CONAMA 396/2008;
  - CONAMA 357/2005.
- 

**Informações e análises físico-químicas requeridas previamente à visita**

- Acumulado de chuva nas últimas 24h anteriores à visita
  - Nível piezométrico abaixo dos resíduos
  - Tipo de solo e permeabilidade
  - Análise de solo segundo CONAMA 420/2009
  - Análise de água subterrânea segundo CONAMA 396/2008
  - Análise de águas superficiais segundo CONAMA 357/2005
  - Mapa de solos da região
  - Mapa dos recursos hídricos da região
  - Levantamento geotécnico
-



**Situações**

1. Ocorre em áreas de interesse ambiental ou ( ) Sim ( ) Não espaço protegido, como APP, RL ou uma UC (Lei 9985/2000)?
2. Área urbana ou rural? ( ) Urbana ( ) Rural
3. Ocorre em talvegue, que poderia abrigar curso ( ) Sim ( ) Não d'água intermitente?
4. Ocorre em região de várzea? ( ) Sim ( ) Não
5. Quantidade de corpos hídricos na área do lixo e/ou até num raio de 200 m? (Ex.: 2) ( )
6. Área industrial? ( ) Sim ( ) Não

## 1. CARACTERIZAÇÃO DO LIXÃO

### 1.1 Área do lixão

- a)  <5.000 m<sup>2</sup>
- b)  de 5.000 m<sup>2</sup> a 50.000m<sup>2</sup>
- c)  de 50.000 m<sup>2</sup> a 500.00m<sup>2</sup>
- d)  > 500.000 m<sup>2</sup>

### 1.2 Atividade do lixão

- a)  Lixão fechado há mais de 20 anos
- b)  Lixão fechado num tempo entre 10 e 20 anos
- c)  Lixão fechado há menos de 10 anos
- d)  Ainda em atividade

### 1.3 Acidentes e eventos importantes no lixão

- a) Adensamento dos resíduos (recalque)  Não  Sim
- b) Deslizamento  Não  Sim
- c) Erosão  Não  Sim
- d) Outros  Não  Sim

Quais? \_\_\_\_\_

### 1.4 Espessura da camada de resíduos

- a)  menos de 2 m
- b)  de 2 a 10 m
- c)  mais de 10 m
- d)  dado não existente

### 1.5 Natureza dos resíduos segundo a NBR 10004/2004 (múltipla escolha)

- a)  Resíduos inertes - classe II B
- b)  Resíduos domésticos - classe II A
- c)  Resíduos perigosos - classe I

Quais? \_\_\_\_\_

### 1.6 Impermeabilização superior

- d)  Existente e construída de acordo com a NBR 13896/1997, sendo capaz de impedir a infiltração das águas pluviais e emissão de gases
- e)  Existente, mas não construída de acordo com a NBR 13896/1997, portanto, não sendo capaz de impedir a infiltração das águas pluviais dentro do solo ou apenas parcial
- f)  Inexistente.

**1.7 Pluviometria**

- a)  0 – 400 mm/ano
- b)  400 – 800 mm/ano
- c)  800 – 1600 mm/ano
- d)  mais que 1600 mm/ano

**1.8 Declividade do terreno natural**

- a)  0 – 3% (plano)
- b)  3 – 8% (ligeiramente ondulado)
- c)  8 – 20% (ondulado)
- d)  20 – 45% (fortemente ondulado)
- e)  45 – 75% (montanhoso)
- f)  75 – 100% (escarpado)

**2. SOLO E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS****2.1 Impermeabilização inferior**

- a)  Existente e construída de acordo com a NBR 13896/1997, sendo, portanto, apropriada para impedir a infiltração de lixiviados
- b)  Existente, mas não construída de acordo com a NBR 13896/1997
- c)  Inexistente
- d)  Dado não existente

**2.2 Presença de lixiviados nos taludes, aterros e entornos**

- a)  Não se constata visualmente a presença de lixiviados
- b)  Presença de fluxo de lixiviados após forte chuva
- c)  Presença visível e constante de lixiviados

**2.3 Existência de coleta de lixiviados**

- a)  Sim
- b)  Parcial
- c)  Não

**2.4 Existência de tratamento de lixiviados**

- a)  Sim
- b)  Sim, mas não adequado para evitar contaminação ambiental
- c)  Não

**2.5 Natureza do solo sob o lixão**

- a)  Solo predominantemente argiloso
- b)  Solo predominantemente siltoso
- c)  Solo predominantemente arenoso

**2.6 Permeabilidade do solo onde está localizado o lixão**

- a)  Inferior a  $5 \times 10^{-5}$  cm/s
- b)   $5 \times 10^{-4}$  cm/s
- c)  Maior que  $5 \times 10^{-4}$  cm/s

**2.7 Nível piezométrico abaixo dos resíduos**

- a)   $> 3$  m
- b)  1,5 – 3 m
- c)   $< 1,5$  m

**2.8 Se a distância entre os resíduos e a água subterrânea é inferior a 1,5m**

- a)  Resíduos fora do contato com a água subterrânea
- b)  Resíduos parcialmente banhados
- c)  Resíduos banhados

**2.9 Descontinuidades do terreno sobre o qual está o lixão**

- a)  Ausência reconhecida de falhas, fraturas ou de carstificações no terreno onde está o lixão ou em sua proximidade
- b)  Ausência de falhas, fraturas ou de carstificações no terreno onde o lixão está, mas presente nas proximidades
- c)  Presença de falhas, fraturas ou carstificação intensa no terreno onde está o lixão

**2.10 Contaminação do solo comprovada devido à presença de uma ou mais substâncias cujos valores ultrapassam os limites recomendados pela resolução CONAMA N° 420/2009**

- a)  Não
- b)  Sim
- c)  dado não existente

**2.11 Contaminação das águas subterrâneas comprovada devido à presença de uma ou mais substâncias cujos valores ultrapassam os limites recomendados pela resolução CONAMA n ° 396/2008 conforme uso preponderante das águas subterrâneas?**

- a)  Não
- b)  Sim
- c)  dado não existente

**2.12 Distância de um ponto de alimentação de água potável de uso doméstico**

- a)   $> 200$  m
- b)  100-200 m
- c)   $< 100$  m
- d)  Desconhecida

**2.13 Distância de um ponto de alimentação de água para o abastecimento público**

- a)  > 200 m
- b)  100-200 m
- c)  <100 m

**2.14 Uso preponderante da água subterrânea da área ou entorno diretamente afetado pela presença do lixão**

- a)  Não utilizada
- b)  Uso animal, na agricultura, piscicultura, lazer ou industrial;
- c)  Abastecimento humano

**3. ÁGUAS SUPERFICIAIS****3.1 Distância de um ponto de alimentação em água potável para o uso doméstico**

- a)  > 200 m
- b)  100-200 m
- c)  <100 m
- d)  Desconhecida

**3.2 Utilização das águas (classificação das águas segundo CONAMA 357/2005)**

- a)  Classe IV
- b)  Classe III
- c)  Classe II
- d)  Classe I
- e)  Classe especial

**3.3 Distância entre o lixão e a borda do corpo hídrico mais próximo**

- a)  > 200 m
- b)  100-200 m
- c)  <100 m

**3.4 Distância de um ponto de alimentação de água para abastecimento público**

- a)  > 200 m
- b)  100-200 m
- c)  <100 m

**3.5 Distância da zona balneável mais próxima**

- a)  > 200 m
- b)  100-200 m
- c)  <100 m

**3.6 Distância de nascente d'água mais próxima**

- a)  > 500 m
- b)  200 - 500 m
- c)  < 200 m

**3.7 Uso preponderante da água de superfície**

- a)  Não é utilizada
- b)  Uso animal, na agricultura, piscicultura, lazer ou industrial
- c)  Abastecimento humano

**3.8 Poluição das águas constatada por análises – valores máximos permitidos de turbidez, DQO, DBO, pH, OD, E. coli, cloreto e nitrogênio amoniacal estabelecidos pela Resolução CONAMA N° 357/2005?**

- a)  Não
- b)  Sim

**4. MEIO SOCIAL****4.1 Densidade populacional dentro de um raio de 500 m**

- a)  <10 residências
- b)  100 - 10 residências
- c)  >100 residências

**4.2 Há presença de hospital, creche, escola ou asilo na área do lixão ou num raio de 500 m?**

- a)  Não
- b)  Sim

**4.3 Distância do núcleo populacional mais próximo**

- a)  > 500 m
- b)  < 500 m
- c)  Há aglomeração humana sobre o terreno do lixão ou imediatamente ao lado

**4.4 Existência de atividades agropecuárias na área ou no entorno**

- a)  Nunca
- b)  Às vezes
- c)  Frequentemente

**4.5 Utilização da área ou no entorno para atividades de lazer**

- a)  Nunca
- b)  Às vezes
- c)  Frequentemente

**4.6 Zona de isolamento físico do lixão**

- a)  Zona isolada com barreira de proteção e vigiada  
 b)  Zona isolada com barreira de proteção mas não vigiada  
 c)  Zona não isolada e não vigiada

**4.7 Presença de animais no lixão**

- a)  Insetos  
 b)  Roedores  
 c)  Escorpiões  
 d)  Urubus  
 e)  Outras aves – Quais? \_\_\_\_\_  
 f)  Outros animais - Quais? \_\_\_\_\_

**4.8 Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno**

- a)  Nunca  
 b)  Às vezes  
 c)  Frequentemente  
 d)  Dado não disponível

**4.9 Danos materiais à população residente no lixão e/ou entorno**

- a)  Nunca  
 b)  Às vezes  
 c)  Frequentemente  
 d)  Dado não disponível

**4.10 Existência de catadores**

- a)  Não  
 b)  Sim

**5. MEIO NATURAL E PAISAGENS****5.1 Largura da barreira vegetal (cerca viva) do lixão**

- a)  > 10 m  
 b)  < 10 m  
 c)  Não há barreira vegetal

**5.2 Distância de um elemento cultural, turístico, arqueológico ou ambiental importante**

- a)  > 500 m  
 b)  251 - 500 m  
 c)  < 250 m  
 d)  Desconhecida Qual? \_\_\_\_\_

**5.3 Existência de desmatamento e/ou de redução de biodiversidade em razão da presença do lixão**

- a)  Não
- b)  Sim
- c)  Dado não existente

**5.4 Dispersão de resíduos no entorno**

- a)  Não
- b)  Sim

**5.5 Há possibilidade das águas subterrâneas ou superficiais contaminadas se dirigirem a um mangue ou pântano?**

- a)  Não
- b)  Sim
- c)  Dado não existente
- d)  Não se aplica

**5.6 Danos aos animais domésticos e/ou selvagens**

- a)  Não
- b)  Sim
- c)  Dado não existente

**6. MEIO ATMOSFÉRICO****6.1 Presença de odores no lixão e/ou entorno**

- a)  Nunca
- b)  Às vezes
- c)  Frequentemente

**6.2 Ocorrência de explosões recentes**

- a)  Nunca
- b)  Às vezes
- c)  Frequentemente
- d)  Dado não disponível

**6.3 Queima de resíduos**

- a)  Nunca
- b)  Às vezes
- c)  Frequentemente

**6.4 Possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás**

- a)  Não
- b)  Sim
- c)  Não sei

**6.5 Existência coleta de gás**

- a)  Sim, em toda área
- b)  Sim, parcialmente
- c)  Não
- d)  Dado não existente

**6.6 Existência de tratamento de gás**

- a)  Sim, em toda área
  - b)  Sim, parcialmente
  - c)  Não
-



## Apêndice D – Aplicação do questionário e programa no Lixão 1

<b>Lixão1</b>	
Duração das atividades	De 01/01/1983 a 31/12/1999
Situação	Área com características urbana, industrial, em região de várzea, com presença de recursos hídricos num raio menor de 200 m
Área	>500.000 m <sup>2</sup>
Acidentes e eventos importantes	Adensamento dos resíduos Erosão Vazamento de lixiviados
Espessura da camada de resíduos	Mais de 10 m
Tipos de resíduos	Com predominância de resíduos classe II
Impermeabilização superior	Existente e construída de acordo com a NBR 13896/1997
Pluviometria	800-1600 mm/ano
Declividade do terreno natural	0-3% (plano)
Impermeabilização inferior	Inexistente
Presença de lixiviados nos taludes, aterros e entornos	Presença de fluxo de lixiviados após forte chuva
Existência de coleta de lixiviados	Parcial
Existência de tratamento de lixiviados	Sim, mas não adequado
Natureza do solo sob o lixão	Predominantemente argiloso
Permeabilidade do solo	Inferior a 5x10 <sup>-5</sup> cm/s
Nível piezométrico abaixo dos resíduos	1,5-3 m
Se a distância entre os resíduos e a água subterrânea é inferior a 1,5 m	

Descontinuidades do terreno sobre o qual está o lixão	Ausência reconhecida de falhas, fraturas ou de carstificações
Contaminação do solo	Sim
Contaminação das águas subterrâneas	Sim
Distância de um ponto de alimentação de água subterrânea para uso doméstico	>200 m
Distância de um ponto de alimentação de água subterrânea para abastecimento público	>200 m
Uso preponderante da água subterrânea	Uso animal, na agricultura, piscicultura, lazer ou industrial
Distância de um ponto de alimentação de água superficial para uso doméstico	>200 m
Classe das águas superficiais	Desconhecida
Distância entre o lixão e a borda do corpo hídrico mais próximo	<100 m
Distância da zona balneável mais próxima	>200 m
Distância da nascente mais próxima	>500 m
Uso preponderante da água de superfície	Uso animal, na agricultura, piscicultura, lazer ou industrial
Poluição das águas superficiais	Sim
Densidade populacional dentro de um raio de 500 m	>100 residências
Presença de populações sensíveis num raio de 500 m?	Não
Distância do núcleo populacional mais próximo	<500 m
Existência de atividades agropecuárias na área ou entorno	Frequentemente
Utilização da área do entorno para atividades	Nunca

de lazer	
Zona de isolamento físico do lixão	Zona isolada com barreira de proteção e vigiada
Presença de animais no lixão	Outras aves (quero-quero)
Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno	Dado não disponível
Danos materiais à população residente no lixão e/ou entorno	Dado não disponível
Existência de catadores	Não
Largura da barreira vegetal do lixão	Não há barreira vegetal
Distância de um elemento cultural, turístico, arqueológico ou ambiental importante	251-500 m
Existência de desmatamento e/ou de redução de biodiversidade em razão da presença do lixão	Não
Dispersão de resíduos no entorno	Não
Há possibilidade das águas subterrâneas ou superficiais contaminadas se dirigirem a um manguezal ou pântano?	Não
Danos aos animais domésticos e/ou selvagens	Não
Presença de odores no lixão	Nunca
Ocorrências de explosões recentes	Nunca
Queima de resíduos	Nunca
Possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás	Sim
Existência de coleta de biogás	Sim, parcialmente
Existência de tratamento de biogás	Não
<b>Pontuação final do lixão (PL)</b>	<b>104,865</b>

<b>Nível de intervenção do lixo</b>	<b>Médio</b>
-------------------------------------	--------------

**Apêndice E – Aplicação do questionário e programa no Lixão 2**

<b>Lixão 2</b>	
Duração das atividades	De 01/01/1980 a 01/01/1996
Situação	Área rural, com recursos hídricos num raio menor que 200 m
Área	De 50.000 a 500.000 m <sup>2</sup>
Acidentes e eventos importantes	Adensamento dos resíduos Erosão
Espessura da camada de resíduos	Mais de 10 m
Tipos de resíduos	Presença de todos os tipos de resíduos
Impermeabilização superior	Inexistente
Pluviometria	800-1600 mm/ano
Declividade do terreno natural	8-20% (ondulado)
Impermeabilização inferior	Inexistente
Presença de lixiviados nos taludes, aterros e entornos	Presença de fluxo de lixiviados após forte chuva
Existência de coleta de lixiviados	Não
Existência de tratamento de lixiviados	Não
Natureza do solo sob o lixão	Predominantemente arenoso
Permeabilidade do solo	5x10 <sup>-4</sup> cm/s
Nível piezométrico abaixo dos resíduos	>3 m
Se a distância entre os resíduos e a água subterrânea é inferior a 1,5 m	
Descontinuidades do terreno sobre o qual está o lixão	Ausência reconhecida de falhas, fraturas ou de carstificações
Contaminação do solo	Dado não existente

Contaminação das águas subterrâneas	Sim
Distância de um ponto de alimentação de água subterrânea para uso doméstico	Desconhecida
Distância de um ponto de alimentação de água subterrânea para abastecimento público	>200 m
Uso preponderante da água subterrânea	Uso animal, na agricultura, piscicultura, lazer ou industrial
Distância de um ponto de alimentação de água superficial para uso doméstico	>200 m
Classe das águas superficiais	Desconhecida
Distância entre o lixão e a borda do corpo hídrico mais próximo	<100 m
Distância da zona balneável mais próxima	>200 m
Distância da nascente mais próxima	<200 m
Uso preponderante da água de superfície	Uso animal, na agricultura, piscicultura, lazer ou industrial
Poluição das águas superficiais	Sim
Densidade populacional dentro de um raio de 500 m	<10 residências
Presença de populações sensíveis num raio de 500 m?	Não
Distância do núcleo populacional mais próximo	<500 m
Existência de atividades agropecuárias na área ou entorno	Frequentemente
Utilização da área do entorno para atividades de lazer	Nunca
Zona de isolamento físico do lixão	Zona isolada com barreira de proteção e vigiada

Presença de animais no lixão	Roedores, insetos, urubus, outros animais (cobras)
Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno	Dado não disponível
Danos materiais à população residente no lixão e/ou entorno	Dado não disponível
Existência de catadores	Não
Largura da barreira vegetal do lixão	Não há barreira vegetal
Distância de um elemento cultural, turístico, arqueológico ou ambiental importante	Desconhecida
Existência de desmatamento e/ou de redução de biodiversidade em razão da presença do lixão	Dado não existente
Dispersão de resíduos no entorno	Não
Há possibilidade das águas subterrâneas ou superficiais contaminadas se dirigirem a um manguezal ou pântano?	Sim
Danos aos animais domésticos e/ou selvagens	Dado não existente
Presença de odores no lixão	Frequentemente
Ocorrências de explosões recentes	Dado não disponível
Queima de resíduos	Às vezes
Possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás	Não sei
Existência de coleta de biogás	Não
Existência de tratamento de biogás	Não
<b>Pontuação final do lixão (PL)</b>	<b>92,625</b>
<b>Nível de intervenção do lixão</b>	<b>Médio</b>



**Apêndice F – Aplicação do questionário e programa no Lixão 3**

<b>Lixão 3</b>	
Duração das atividades	De 1974 a 01/09/2005
Situação	Área urbana
Área	De 50.000 a 500.000 m <sup>2</sup>
Acidentes e eventos importantes	
Espessura da camada de resíduos	Dado não existente
Tipos de resíduos	Presença de todos os tipos de resíduos, incluindo os perigosos (Classe I)
Impermeabilização superior	Inexistente
Pluviometria	0-400 mm/ano
Declividade do terreno natural	0-3% (plano)
Impermeabilização inferior	Dado não existente
Presença de lixiviados nos taludes, aterros e entornos	Não se constata visualmente a presença de lixiviados
Existência de coleta de lixiviados	Não
Existência de tratamento de lixiviados	Não
Natureza do solo sob o lixão	Predominantemente siltoso
Permeabilidade do solo	5x10 <sup>-4</sup> cm/s
Nível piezométrico abaixo dos resíduos	<1,5 m
Se a distância entre os resíduos e a água subterrânea é inferior a 1,5 m	Resíduos parcialmente banhados
Descontinuidades do terreno sobre o qual está o lixão	Ausência reconhecida de falhas, fraturas ou de carstificações
Contaminação do solo	Dado não existente

Contaminação das águas subterrâneas	Dado não existente
Distância de um ponto de alimentação de água subterrânea para uso doméstico	>200 m
Distância de um ponto de alimentação de água subterrânea para abastecimento público	>200 m
Uso preponderante da água subterrânea	Uso animal, na agricultura, piscicultura, lazer ou industrial
Distância de um ponto de alimentação de água superficial para uso doméstico	>200 m
Classe das águas superficiais	Desconhecida
Distância entre o lixão e a borda do corpo hídrico mais próximo	>200 m
Distância da zona balneável mais próxima	>200 m
Distância da nascente mais próxima	200 m-500 m
Uso preponderante da água de superfície	Uso animal, na agricultura, piscicultura, lazer ou industrial
Poluição das águas superficiais	Sim
Densidade populacional dentro de um raio de 500 m	<10 residências
Presença de populações sensíveis num raio de 500 m?	Não
Distância do núcleo populacional mais próximo	>500 m
Existência de atividades agropecuárias na área ou entorno	Às vezes
Utilização da área do entorno para atividades de lazer	Nunca
Zona de isolamento físico do lixão	Zona não isolada e não vigiada

Presença de animais no lixão	Insetos
Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno	Dado não disponível
Danos materiais à população residente no lixão e/ou entorno	Dado não disponível
Existência de catadores	Não
Largura da barreira vegetal do lixão	Não há barreira vegetal
Distância de um elemento cultural, turístico, arqueológico ou ambiental importante	Desconhecida
Existência de desmatamento e/ou de redução de biodiversidade em razão da presença do lixão	Dado não existente
Dispersão de resíduos no entorno	Sim
Há possibilidade das águas subterrâneas ou superficiais contaminadas se dirigirem a um manguezal ou pântano?	Não se aplica
Danos aos animais domésticos e/ou selvagens	Dado não existente
Presença de odores no lixão	Nunca
Ocorrências de explosões recentes	Dado não disponível
Queima de resíduos	Nunca
Possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás	Não sei
Existência de coleta de biogás	Não
Existência de tratamento de biogás	Não
<b>Pontuação final do lixão (PL)</b>	<b>83,18</b>
<b>Nível de intervenção do lixão</b>	<b>Médio</b>



**Apêndice G - Aplicação do questionário e programa no Lixão 4**

Lixão 4	
Situação	Área rural, com recursos hídricos num raio menor que 200 m
Área	De 5.000 a 50.000 m <sup>2</sup>
Atividade do lixão	Fechado há mais de 10 anos
Acidentes e eventos importantes	
Espessura da camada de resíduos	Mais de 10 m
Tipos de resíduos	Presença de todos os tipos de resíduos, incluindo os perigosos (Classe I)
Impermeabilização superior	Existente, mas não construída de acordo com a NBR 13896/1997
Pluviometria	800-1600 mm/ano
Declividade do terreno natural	20-45% (fortemente ondulado)
Impermeabilização inferior	Inexistente
Presença de lixiviados nos taludes, aterros e entornos	Não se constata visualmente a presença de lixiviados
Existência de coleta de lixiviados	Parcial
Existência de tratamento de lixiviados	Sim
Natureza do solo sob o lixão	Predominantemente argiloso
Permeabilidade do solo	Inferior a 5x10 <sup>-6</sup> cm/s
Nível piezométrico abaixo dos resíduos	>3 m
Se a distância entre os resíduos e a água subterrânea é inferior a 1,5 m	
Descontinuidades do terreno sobre o qual está o lixão	Presença de falhas, fraturas ou de carstificações intensas no terreno onde está o lixão

Contaminação do solo	Sim
Contaminação das águas subterrâneas	Sim
Distância de um ponto de alimentação de água subterrânea para uso doméstico	>200 m
Distância de um ponto de alimentação de água subterrânea para abastecimento público	>200 m
Uso preponderante da água subterrânea	Uso animal, na agricultura, piscicultura, lazer ou industrial
Distância de um ponto de alimentação de água superficial para uso doméstico	>200 m
Classe das águas superficiais	Classe II
Distância entre o lixão e a borda do corpo hídrico mais próximo	<100 m
Distância de um ponto de alimentação de água superficial para uso público	> 200m
Distância da zona balneável mais próxima	>200 m
Distância da nascente mais próxima	200 m-500 m
Uso preponderante da água de superfície	Uso animal, na agricultura, piscicultura, lazer ou industrial
Poluição das águas superficiais	Sim
Densidade populacional dentro de um raio de 500 m	<10 residências
Presença de populações sensíveis num raio de 500 m?	Não
Distância do núcleo populacional mais próximo	>500 m
Existência de atividades agropecuárias na área ou entorno	Frequentemente

Utilização da área do entorno para atividades de lazer	Às vezes
Zona de isolamento físico do lixão	Zona isolada com barreira de proteção e vigiada
Presença de animais no lixão	Outras aves (quero-quero)
Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno	Nunca
Danos materiais à população residente no lixão e/ou entorno	Nunca
Existência de catadores	Não
Largura da barreira vegetal do lixão	< 10 m
Distância de um elemento cultural, turístico, arqueológico ou ambiental importante	> 500 m
Existência de desmatamento e/ou de redução de biodiversidade em razão da presença do lixão	Sim
Dispersão de resíduos no entorno	Não
Há possibilidade das águas subterrâneas ou superficiais contaminadas se dirigirem a um manguezal ou pântano?	Não
Danos aos animais domésticos e/ou selvagens	Não
Presença de odores no lixão	Nunca
Ocorrências de explosões recentes	Nunca
Queima de resíduos	Nunca
Possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás	Sim
Existência de coleta de biogás	Sim, parcialmente
Existência de tratamento de biogás	Não

<b>Pontuação final do lixão (PL)</b>	<b>68.723</b>
<b>Nível de intervenção do lixão</b>	<b>Baixo</b>

**Apêndice H - Aplicação do questionário e programa no Lixão 5**

<b>Lixão 5</b>	
Situação	Área urbana, com recursos hídricos num raio menor que 200 m
Área	De 50.000 a 500.000 m <sup>2</sup>
Atividade do lixão	Fechado há mais de 20 anos
Acidentes e eventos importantes	Adensamento dos resíduos
Espessura da camada de resíduos	De 2 - 10 m
Tipos de resíduos	Predominância de resíduos inertes (Classe II B)
Impermeabilização superior	Inexistente
Pluviometria	Mais de 1600 mm/ano
Declividade do terreno natural	0-3% (plano)
Impermeabilização inferior	Inexistente
Presença de lixiviados nos taludes, aterros e entornos	Não se constata visualmente a presença de lixiviados
Existência de coleta de lixiviados	Não
Existência de tratamento de lixiviados	Não
Natureza do solo sob o lixão	Predominantemente argiloso
Permeabilidade do solo	Inferior a 5x10 <sup>-6</sup> cm/s
Nível piezométrico abaixo dos resíduos	< 1,5 m
Se a distância entre os resíduos e a água subterrânea é inferior a 1,5 m	Resíduos parcialmente banhados
Descontinuidades do terreno sobre o qual está o lixão	Presença de falhas, fraturas ou de carstificações intensas no terreno onde está o lixão
Contaminação do solo	Dado não existente

Contaminação das águas subterrâneas	Dado não existente
Distância de um ponto de alimentação de água subterrânea para uso doméstico	Desconhecido
Distância de um ponto de alimentação de água subterrânea para abastecimento público	>200 m
Uso preponderante da água subterrânea	Não utilizada
Distância de um ponto de alimentação de água superficial para uso doméstico	Desconhecida
Classe das águas superficiais	Desconhecida
Distância entre o lixão e a borda do corpo hídrico mais próximo	<100 m
Distância de um ponto de alimentação de água superficial para uso público	> 200m
Distância da zona balneável mais próxima	>200 m
Distância da nascente mais próxima	>500 m
Uso preponderante da água de superfície	Não é utilizada
Poluição das águas superficiais	Sim
Densidade populacional dentro de um raio de 500 m	>100 residências
Presença de populações sensíveis num raio de 500 m?	Sim
Distância do núcleo populacional mais próximo	Há aglomerações humanas sobre o terreno do lixão ou imediatamente ao lado
Existência de atividades agropecuárias na área ou entorno	Nunca
Utilização da área do entorno para atividades de lazer	Nunca
Zona de isolamento físico do lixão	Zona isolada com barreira de

	proteção e vigiada
Presença de animais no lixão	Insetos e roedores
Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno	Nunca
Danos materiais à população residente no lixão e/ou entorno	Nunca
Existência de catadores	Não
Largura da barreira vegetal do lixão	< 10 m
Distância de um elemento cultural, turístico, arqueológico ou ambiental importante	< 250 m
Existência de desmatamento e/ou de redução de biodiversidade em razão da presença do lixão	Sim
Dispersão de resíduos no entorno	Não
Há possibilidade das águas subterrâneas ou superficiais contaminadas se dirigirem a um manguezal ou pântano?	Sim
Danos aos animais domésticos e/ou selvagens	Sim
Presença de odores no lixão	Nunca
Ocorrências de explosões recentes	Dado não disponível
Queima de resíduos	Nunca
Possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás	Sim
Existência de coleta de biogás	Não
Existência de tratamento de biogás	Não
<b>Pontuação final do lixão (PL)</b>	<b>81,785</b>
<b>Nível de intervenção do lixão</b>	<b>Médio</b>



**Apêndice I - Aplicação do questionário e programa no Lixão 6**

<b>Lixão 6</b>	
Situação	Área urbana, com recursos hídricos num raio menor que 200 m
Área	De 5.000 a 50.000 m <sup>2</sup>
Atividade do lixão	Fechado há mais de 20 anos
Acidentes e eventos importantes	Não há acidentes ou eventos marcantes
Espessura da camada de resíduos	Mais de 10 m
Tipos de resíduos	Predominância de resíduos domésticos (Classe II A)
Impermeabilização superior	Existente, mas não construída de acordo com a NBR 13896/1997
Pluviometria	Mais de 1600 mm/ano
Declividade do terreno natural	3-8% (ligeiramente acentuado)
Impermeabilização inferior	Inexistente
Presença de lixiviados nos taludes, aterros e entornos	Presença de fluxo de lixiviado após forte chuva
Existência de coleta de lixiviados	Parcial
Existência de tratamento de lixiviados	Sim
Natureza do solo sob o lixão	Predominantemente siltoso
Permeabilidade do solo	Inferior a $5 \times 10^{-6}$ cm/s
Nível piezométrico abaixo dos resíduos	1,5 -3 m
Descontinuidades do terreno sobre o qual está o lixão	Ausência reconhecida de falhas, fraturas ou de carstificações intensas no terreno onde está o lixão
Contaminação do solo	Dado não existente

Contaminação das águas subterrâneas	Sim
Distância de um ponto de alimentação de água subterrânea para uso doméstico	>200 m
Distância de um ponto de alimentação de água subterrânea para abastecimento público	>200 m
Uso preponderante da água subterrânea	Não utilizada
Distância de um ponto de alimentação de água superficial para uso doméstico	<100 m
Classe das águas superficiais	Classe II
Distância entre o lixão e a borda do corpo hídrico mais próximo	<100 m
Distância de um ponto de alimentação de água superficial para uso público	> 200m
Distância da zona balneável mais próxima	>200 m
Distância da nascente mais próxima	>500 m
Uso preponderante da água de superfície	Não é utilizada
Poluição das águas superficiais	Sim
Densidade populacional dentro de um raio de 500 m	>100 residências
Presença de populações sensíveis num raio de 500 m?	Sim
Distância do núcleo populacional mais próximo	Há aglomerações humanas sobre o terreno do lixão ou imediatamente ao lado
Existência de atividades agropecuárias na área ou entorno	Frequentemente
Utilização da área do entorno para atividades de lazer	Frequentemente
Zona de isolamento físico do lixão	Zona isolada com barreira de

	proteção mas não vigiada
Presença de animais no lixão	Insetos, roedores e urubus
Danos à saúde da população residente no lixão e/ou entorno	Não disponível
Danos materiais à população residente no lixão e/ou entorno	Não disponível
Existência de catadores	Não
Largura da barreira vegetal do lixão	Não há barreira vegetal
Distância de um elemento cultural, turístico, arqueológico ou ambiental importante	< 250 m
Existência de desmatamento e/ou de redução de biodiversidade em razão da presença do lixão	Dado não existentes
Dispersão de resíduos no entorno	Não
Há possibilidade das águas subterrâneas ou superficiais contaminadas se dirigirem a um manguezal ou pântano?	Sim
Danos aos animais domésticos e/ou selvagens	Dado não existente
Presença de odores no lixão	Às vezes
Ocorrências de explosões recentes	Dado não disponível
Queima de resíduos	Nunca
Possibilidade de bolsões de gás e/ou de migração de biogás	Não sei
Existência de coleta de biogás	Não
Existência de tratamento de biogás	Não
<b>Pontuação final do lixão (PL)</b>	<b>80,687</b>
<b>Nível de intervenção do lixão</b>	<b>Médio</b>