

ADRIANO VITOR RODRIGUES PINA PEREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM INDICADOR PARA AVALIAÇÃO DE
DESEMPENHO DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

**Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Ambiental, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Ambiental,
Centro Tecnológico, Universidade Federal
de Santa Catarina**

**Orientador: Prof. Dr. Sebastião Roberto
Soares**

FLORIANÓPOLIS

2005

**DESENVOLVIMENTO DE UM INDICADOR PARA AVALIAÇÃO DE
DESEMPENHO DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

ADRIANO VITOR RODRIGUES PINA PEREIRA

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de **MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL** na Área de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

Aprovada por:

Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares (Orientador)

Prof. Dr. Alexandre de Ávila Lerípio

Prof. Dr. Armando Borges de Castilhos Jr.

Prof. Dr. Davide Franco

FLORIANÓPOLIS, SC - BRASIL
JULHO DE 2005

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha Vó Djalмира (*In memoriam*), pela sabedoria, amor, exemplo de vida e incansável incentivo.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Sebastião Roberto Soares pela orientação deste trabalho.

À minha Esposa Sibeli, pelo carinho, dedicação e apoio.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

À Empresa PROSUL e todos os colegas do departamento de Meio Ambiente.

À Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina, em especial ao Diretor de Controle da Poluição Luiz Antonio Garcia Correa.

Ao Ministério Público de Estado de Santa Catarina, em especial ao Promotor Alexandre Herculano de Abreu.

Aos engenheiros Galdino Savi e Fabio João da Silva e o Professor Armando Borges de Castilhos Jr. pela participação no processo de ponderação.

Aos engenheiros Cláudio Santos das Silva e David César pela aplicação do indicador nos aterros de Timbó e de Itajaí.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
SUMÁRIO.....	v
RELAÇÃO DE FIGURAS.....	viii
RELAÇÃO DE QUADROS.....	ix
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivos.....	16
1.1.1 Objetivo Geral.....	16
1.1.2 Objetivos Específicos	16
1.2 Estrutura do trabalho	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONTEXTO DO ESTUDO.....	19
2.1 Aspectos gerais dos aterros sanitários	19
2.1.1 Ciclo de vida dos aterros sanitários.....	21
2.1.2 Porte dos aterros sanitários	22
2.1.3 Métodos de concepção dos aterros sanitários.....	23
2.1.4 Sistemas de controle ambiental.....	25
2.1.4.1 Sistema de impermeabilização de base	26
2.1.4.2 Sistema de cobertura dos resíduos.....	28
2.1.4.3 Drenagem pluvial.....	30
2.1.4.4 Drenagem de biogás.....	30
2.1.4.5 Drenagem de chorume.....	32
2.1.4.6 Tratamento de chorume.....	34
2.1.4.7 Monitoramento ambiental.....	37
2.2 A situação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil	39
2.3 Legislação ambiental e normas técnicas	41
2.3.1 Legislação Ambiental.....	42
2.3.1.1 Esfera Federal.....	42

2.3.1.2	Esfera Estadual.....	46
2.3.2	Normas técnicas.....	48
2.4	Indicadores e índices	49
2.4.1	Índice da Qualidade Ambiental - QA.....	52
2.4.2	Índice de Desenvolvimento Humano - IDH.....	54
2.4.3	Índice de Sustentabilidade Ambiental (ESI).....	57
2.4.4	Pesquisa de Balneabilidade.....	58
2.4.5	Índice de qualidade de aterros de resíduos - IQR.....	59
3.	SITUAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM SANTA CATARINA	67
3.1	Estimativa das quantidades de resíduos gerados.....	68
3.2	Resultados do “Programa Lixo Nosso de Cada Dia”	69
3.2.1	Consórcios intermunicipais	71
3.2.2	Empresas privadas	74
4.	DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ATERROS DE RESÍDUOS	78
4.1	Definição dos critérios para avaliação.....	82
4.1.1	Critérios de avaliação segundo as características da área.....	83
4.1.2	Critérios de avaliação segundo a infra-estrutura existente	91
4.1.3	Critérios de avaliação segundo as condições de operação.....	101
5.	DESENVOLVIMENTO DO INDICADOR DE DESEMPENHO.....	110
5.1	Estabelecimento da importância relativa dos critério.....	110
5.2	Agregação dos critérios de avaliação	114
5.2.1	Soma ponderada.....	114
5.2.2	Produto ponderado.....	115
5.3	Indicador de desempenho	116
6.	APLICAÇÃO DO INDICADOR DE DESEMPENHO	122
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	132

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
9. APÊNDICE A – PLANILHA DE RESPOSTAS DOS PARTICIPANTES DO PROCESSO DE DEFINIÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS.....	141
10. APÊNDICE B – APLICAÇÃO DA MATRIZ DE DESEMPENHOS NOS ATERROS DE RESÍDUOS DE TIMBÓ E DE ITAJAÍ.....	142
11. APÊNDICE C – APLICAÇÃO DO IQR NOS ATERROS DE RESÍDUOS DE TIMBÓ E DE ITAJAÍ	143

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1.1 - Estrutura do trabalho.....	18
Figura 2.1 – Esquema de um sistema de impermeabilização de base.....	28
Figura 2.2 – Sistema de impermeabilização de base sendo construído em um aterro sanitários	28
Figura 2.3 - Componentes de uma camada de cobertura final em aterro sanitário.....	29
Figura 2.4 – Sistema de drenagem de águas pluviais de um aterro sanitário	30
Figura 2.5 – Drenos de biogás na base do aterro sanitário e dreno no aterro em operação	32
Figura 2.6 – Exemplos de sistemas de drenagem de chorume	33
Figura 2.7 – Drenagem de percolados em um aterro sanitário.....	34
Figura 2.8 – Destinação dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil.....	40
Figura 3.1 – Situação dos municípios quanto a destinação dos resíduos sólidos.....	68
Figura 3.2 – Destinação dos resíduos sólidos urbanos coletados em Santa Catarina.....	70
Figura 3.3 – Destinação dos resíduos sólidos urbanos nos municípios consorciados.....	74
Figura 4.1 – Grupos de critérios de avaliação	82
Figura 6.1 – Tratamento de percolados e compactaçã de resíduos no aterro do Município de Timbó.....	122
Figura 6.2 – Aterro de resíduos de Itajaí.....	123

RELAÇÃO DE QUADROS

Quadro 2.1 – Classificação dos aterros por porte.....	23
Quadro 2.2 – Desenvolvimento de um Índice QA Nacional.....	53
Quadro 2.3 – Índice de desenvolvimento humano - 2002.....	57
Quadro 2.4 – Enquadramento das instalações de destinação final em função dos valores de IQR	59
Quadro 3.1 – Índice de produção de resíduos domiciliares por habitante.....	69
Quadro 3.2 – Consórcios municipais e população atendida.....	72
Quadro 3.3 – Empresas privadas, municípios e população atendida	75
Quadro 3.4 – Os 10 maiores aterros de resíduos em operação.....	76
Quadro 4.1 – Exemplo da estrutura de avaliação	80
Quadro 4.2 – Grupos prioritários com os principais impactos correspondentes	81
Quadro 4.3 – Avaliação do parâmetros de resistência em função do SPT	84
Quadro 4.4 – Características de permeabilidade e drenagem dos solos	88
Quadro 5.1 – Resumo do cálculo dos pesos dos critérios de avaliação.....	112
Quadro 5.2 – Identificação dos critérios de avaliação e ponderação	113
Quadro 5.3 – Enquadramento dos aterros em função das notas recebidas	116
Quadro 5.4 - Matriz de Avaliação de desempenho de aterros de resíduos sólidos	119
Quadro 6.1 – Resultados da aplicação do indicador de avaliação.....	125

*“Nada lhe posso dar que já não existam em você mesmo.
Não posso abrir-lhe outro mundo de imagens, além
daquele que há em sua própria alma. Nada lhe posso dar a
não ser a oportunidade, o impulso, a chave. Eu o ajudarei
a tornar visível o seu próprio mundo, e isso é tudo.”*

Hermann Hesse

RESUMO

Este trabalho propõe e desenvolve um indicador para avaliação do desempenho de aterros de resíduos sólidos. Para tal, foram considerados três grupos de critérios, associados às características de área, à infra estrutura existente e às condições de operação. Para cada critério foram apresentadas três opções de avaliação, sendo todas mensuráveis. A pesquisa abordou os diversos aspectos dos aterros sanitários, como as diferentes medidas de controle ambiental, assim como um panorama da situação dos resíduos sólidos em Santa Catarina e o conjunto de leis e normas técnicas pertinentes. Para todos os critérios definidos foram atribuídos pesos, de acordo com a avaliação de profissionais que atuam na área de resíduos. A partir da ponderação, foi utilizado um método de agregação e, posteriormente, foi proposto um enquadramento para os aterros avaliados, resultando em uma nota, que corresponde ao indicador de desempenho. Após definido o indicador, a título de validação, foram avaliados dois aterros de resíduos em operação em Santa Catarina e paralelamente foi realizada uma avaliação comparativa entre os aterros. Este indicador pode ser utilizado na avaliação de qualquer sistema de aterramento de resíduos, servindo ao propósito do Ministério Público Estadual, que na continuidade do Programa “Lixo Nosso de Cada Dia”, pretende avaliar qualitativamente todos os aterros de resíduos de Santa Catarina, em parceria com a Fundação Estadual de Meio Ambiente.

Palavras-Chave: Resíduos Sólidos, Aterro de resíduos, Avaliação de desempenho, Indicador.

ABSTRACT

This work is a development of an indicator to evaluate the performance of the waste landfills. Three standard groups were considered, namely: area characteristics, substructure plant and operation conditions. Three evaluation options were presented for each standard group, all measurable. The research involved many aspects of the sanitary landfills, such as the different environment regulation ways, but also the waste's situation panorama at Santa Catarina, and the laws and technical rules related to the subject. Different weights were ascribed to each standard group, according to sanitary waste landfills professionals' evaluation. After this consideration, an aggregation method was used, then, a suggestion of fitting the landfills into categories was made, which resulted into a grade, that is the indicator to value the performance of the waste landfills. Once defined this indicator, two sanitary waste landfills in operation in Santa Catarina – Brazil and a comparative evaluation between them were evaluated as a validation criterion. This indicator may be used at any waste landfills system, following the Ministério Público Estadual's (STATE PUBLIC MINISTRY) purpose, that, at the continuation of the Lixo Nosso de Cada Dia (OUR DAILY WASTE) program, intends to set a qualitative value of all waste landfills of Santa Catarina, in partnership with the Fundação Estadual do Meio Ambiente (ENVIRONMENT STATE FOUNDATION).

Keywords: Solid Waste, Waste Landfill, Performance Evaluation, Indicator.

1. INTRODUÇÃO

Resíduos sólidos são considerados como todo e qualquer material sólido ou semi-sólido gerado pelas atividades humanas, industrial ou de consumo, cujo proprietário ou detentor do resíduo, não o considera mais com valor econômico positivo para conservá-lo (KROETZ, 2003, citando CASTILHOS JUNIOR, 2001).

Portanto resíduo é considerado todo material cujo valor para o detentor é nulo, ou sobretudo, negativo.

A disposição dos resíduos sólidos urbanos em lixões (prática ainda em uso de deposição de resíduos sem controle a céu aberto), em aterros “controlados” ou em aterros sanitários, não evita a formação de subprodutos como gases (CO_2 , H_2S , e CH_4), de lixiviados/percolados (mistura do chorume gerado pela degradação do material orgânico com água de chuva), que exigem um tratamento adequado, sob pena de gerarem impactos ambientais e efeitos estéticos indesejados. O próprio tratamento de resíduos em usinas de triagem, reciclagem, compostagem e de incineração, por não dispensar o aterro sanitário para disposição de “inertes” e material orgânico em condições de sobrecarga, exige providências de tratamento (para lixiviados, gases, etc.) (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Segundo os mesmos autores, inadvertidamente, poderão estar sendo codispostos com os resíduos sólidos urbanos, resíduos de origem industrial, potencialmente tóxicos. É o caso de lodos de estações de tratamento de esgotos industriais, por exemplo, com grandes concentrações de metais pesados, de efeito cumulativo e irreversível na biota de fundos de rios e lagos.

De acordo com CASARINI (1998), historicamente, o solo tem sido utilizado por gerações como receptor de substâncias resultantes da atividade humana. Com o aparecimento dos processos de transformação em grande escala, a partir da Revolução Industrial, a liberação descontrolada de poluentes para o meio ambiente e sua conseqüente acumulação no solo sofreu uma mudança drástica de intensidade e forma. Essa utilização do solo como receptor de poluentes ou contaminantes, principalmente por meio do depósito de resíduos, faz

com que ocorra a migração descendente e lateral de poluentes do solo para as águas subterrâneas e superficiais, o que pode se tornar um grande problema para as populações que fazem uso destes recursos hídricos.

Para contornar tais problemas, diversas medidas de controle ambiental são recomendadas para os aterros sanitários, podendo ser separadas em medidas por unidades operacionais e de apoio, como sugere o IBAM (2001): Unidades operacionais – células de resíduos domiciliares separadas de resíduos hospitalares; impermeabilização de fundo e superior; sistema de coleta e tratamento de líquidos percolados (chorume); sistema de coleta e queima (ou beneficiamento) do biogás; sistema de drenagem e afastamento das águas pluviais; sistema de monitoramento ambiental, topográfico e geotécnico e outros. Unidades de apoio – cercas; estradas de acesso; balança rodoviária, sistema de controle de resíduos e outros.

No entanto, muitas vezes a existência de tais unidades não é garantia da qualidade ambiental que o aterro sanitário deve manter. Para tanto, há necessidade de avaliação destas medidas de controle, desde a sua construção até a forma como é operada e mantida.

Em 2001 o Ministério Público Estadual de Santa Catarina instituiu o Programa denominado “Lixo Nosso de Cada Dia”, pelo qual a maioria das prefeituras do Estado que mantinham disposição de lixo a céu aberto, assinaram termo de ajustamento de conduta para regularizar sua situação junto à Fundação de Meio Ambiente (FATMA), até março de 2003. De lá para cá foram construídos e ampliados inúmeros aterros sanitários no Estado, sob supervisão desta Fundação.

Dessa forma, a situação atual da disposição final de resíduos sólidos no Estado é bastante privilegiada com relação ao restante do país, uma vez que, além de possuir estatisticamente uma grande vantagem, com 95% dos municípios depositando seus resíduos em aterros licenciados, as condições tecnológicas destes sistemas também merecem destaque, pela utilização de materiais de qualidade para impermeabilização de base, avançados sistemas de tratamento de percolados, dentre outros.

Apesar destes aterros sanitários estarem licenciados pelo órgão ambiental, o

Ministério Público anunciou em agosto de 2004 a segunda etapa do Programa Lixo Nosso de Cada Dia, onde está prevista a avaliação constante dos aterros sanitários implantados no Estado. Esta avaliação será executada também pela FATMA.

Estudos sobre qualidade ambiental e desenvolvimento encontram o desafio freqüente de lidar com a incerteza e a carência de informações sistematizadas. Grande parte das decisões tomada por órgãos reguladores na área ambiental ocorre a partir de informações imprecisas e certezas fragilmente construídas. A natureza da relação entre meio ambiente e desenvolvimento é objeto de controvérsias e campo de incertezas. Neste contexto, trabalhos capazes de criar indicadores confiáveis que possam embasar estudos e tomadas de decisão política são cruciais e urgentes (BRAGA et al., 2003).

Dessa forma, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um procedimento para avaliação de aterros de resíduos sólidos, resultando num indicador da qualidade do aterro, considerando os diversos critérios relacionados com as características da área do aterro, a infra-estrutura existente e condições de operação, bem como o panorama da situação dos resíduos sólidos em Santa Catarina, com a colaboração do Ministério Público Estadual e da FATMA, tendo integrado as atividades do Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental - UFSC do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um indicador para a avaliação de desempenho de aterros de resíduos sólidos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Definir os elementos de caracterização da qualidade de um aterro de resíduos sólidos urbanos;

- Apresentar a situação dos resíduos sólidos em Santa Catarina;
- Definir os critérios de avaliação de desempenho de aterros de resíduos;
- Definir e desenvolver um modelo de indicador de desempenho para aterros de resíduos;

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

De acordo com os objetivos estabelecidos foi adotada uma estruturação de capítulos, conforme apresentada na figura 1.1.

O capítulo 1 apresenta a introdução geral do trabalho, com definições clássicas de resíduos sólidos, além da contextualização da situação dos aterros de resíduos em Santa Catarina e da necessidade de avaliação da qualidade dos mesmos, justificando o desenvolvimento de indicadores, conforme a proposta deste trabalho.

No capítulo 2 são descritos os aspectos gerais dos resíduos sólidos urbanos, com ênfase nas principais formas de disposição final. Abordagem especial é feita aos aterros sanitários, com seus sistemas de controle ambiental. Também é apresentado o panorama dos resíduos sólidos no Brasil, legislação pertinente e a importância da avaliação permanente dos sistemas de disposição final utilizados. Finalmente, este capítulo aborda os indicadores e índices que podem ser utilizados para avaliação do desempenho destes sistemas, bem como, exemplos de indicadores ambientais para qualidade de água, ar, solo, dentre outros.

O capítulo 3 apresenta o diagnóstico dos resíduos sólidos em Santa Catarina, com a implantação do Programa “Lixo Nosso de Cada Dia” do Ministério Público Estadual, a partir da estimativa das quantidades de resíduos geradas e dados quantitativos de consórcios municipais e empresas privadas que passaram a operar aterros sanitários.

No capítulo 4 são apresentados os critérios definidos como essenciais para avaliação do desempenho dos aterros de resíduos, estando agrupados em três categorias, quais sejam, critérios de avaliação de aterros segundo as características da área, segundo a infraestrutura existente e segundo as condições de operação. Para estas três categorias são definidos os critérios, justificada sua importância e sugeridos três níveis de avaliação.

No capítulo 5 é apresentado o desenvolvimento do indicador de desempenho, por meio da determinação de pesos para os critérios, sugestão de uma estrutura de agregação dos mesmos, seguida pelo enquadramento dos aterros de resíduos e definição de indicadores para avaliação de seus desempenhos.

O capítulo 6 mostra os resultados da aplicação do indicador de desempenho em dois aterros catarinenses. No capítulo 7 são apresentadas as conclusões gerais do trabalho, bem como algumas recomendações.

No capítulo 8 são listadas as referências bibliográficas citadas ao longo do trabalho.

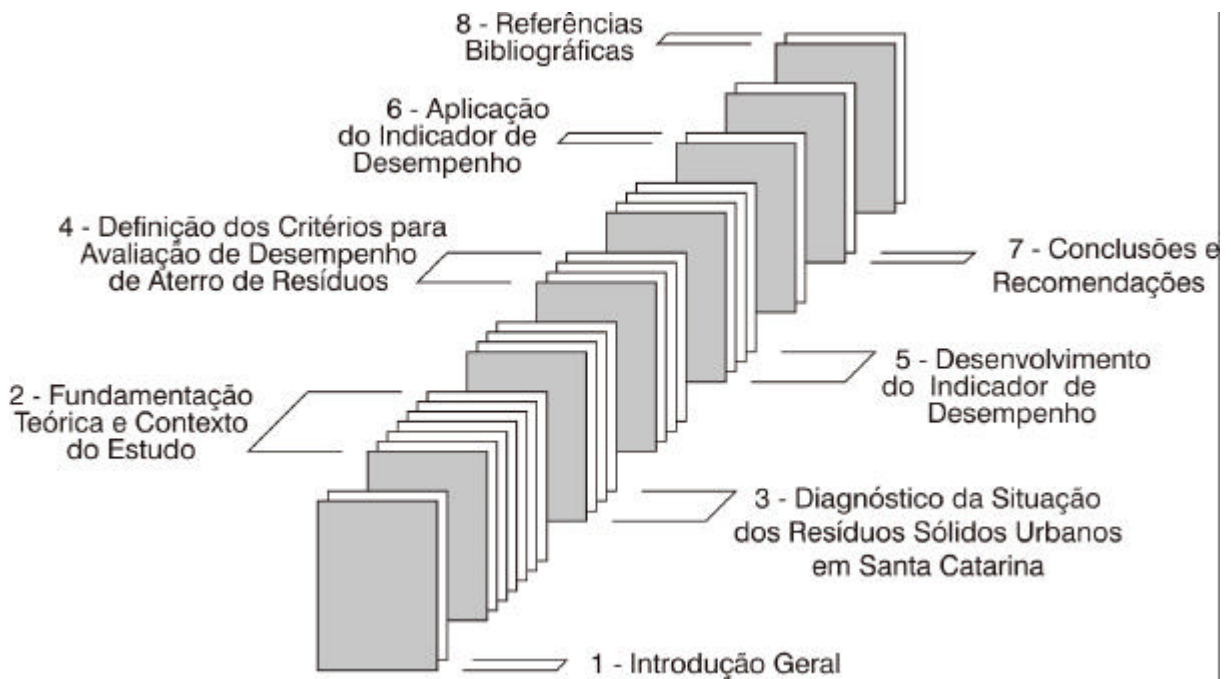


Figura 1.1 - Estrutura do trabalho

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONTEXTO DO ESTUDO

Este capítulo apresenta, em sua primeira parte, uma abordagem geral dos aterros sanitários, tratando de seus portes, ciclo de vida e métodos de concepção, além dos principais sistemas de controle ambiental e da infra-estrutura básica.

É apresentado, na seqüência, um panorama da situação dos resíduos sólidos no Brasil, assim como da legislação ambiental e normas técnicas aplicáveis.

Finalmente, a última parte do capítulo aborda os indicadores ou índices, como forma de mensurar o desempenho de sistemas diversos, com algumas categorias sugeridas por diferentes autores, assim como exemplos de indicadores ambientais utilizados para medir a qualidade da água, ar, solo, de situações sociais e econômicas.

2.1 ASPECTOS GERAIS DOS ATERROS SANITÁRIOS

No mundo inteiro, com algumas poucas exceções, os aterros sanitários representam a principal destinação final dos resíduos sólidos, apesar do imenso esforço em se reduzir, reutilizar e reciclar. Apesar da contradição, em vários países, o aterro sanitário tem sido a mais importante meta a alcançar, com vistas a um tratamento adequado dos resíduos. No Brasil, já existe um número significativo de aterros sanitários, principalmente nas Regiões Sudeste e Sul. A grande dificuldade reside nos custos de operação de um aterro sanitário, que pressupõe tratamento adequado de líquidos e gases efluentes, além de todos demais cuidados previstos nas normas técnicas. Vale ressaltar que os textos normativos sobre resíduos sólidos foram elaboradas, em sua maioria, há duas décadas e praticamente não incorporaram os conceitos recentes de geotecnia ambiental ou mesmo de biotecnologia, (JUCÁ, 2003).

Além dos aterros sanitários, são consideradas formas de disposição final os aterros controlados e os lixões, sendo estes últimos uma forma inadequada.

Lixão

O IPT/CEMPRE (2000) define o lixão como sendo uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos municipais, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. O mesmo que descarga de resíduos a céu aberto ou vazadouro.

Os resíduos sólidos assim lançados acarretam problemas à saúde pública, como proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos, etc.), geração de maus odores e, principalmente, poluição do solo e das águas subterrâneas e superficiais, pela infiltração do chorume (líquido de cor preta, mau cheiroso e de elevado potencial poluidor, produzido pela decomposição da matéria orgânica contida no lixo (ABNT, 1984).

Aterro controlado

O aterro controlado é uma forma de disposição final de resíduos sólidos no solo, na qual precauções tecnológicas executivas adotadas durante o desenvolvimento do aterro, como o recobrimento dos resíduos com argila (na maioria das vezes sem compactação), aumenta a segurança do local, minimizando os riscos de impactos ao meio ambiente e à saúde pública. Embora seja uma técnica preferível ao lançamento a céu aberto, não substitui o aterro sanitário (BIDONE e POVINELLI, 1999).

O IPT/CEMPRE (2000) define o aterro controlado como sendo uma forma de disposição final que produz poluição, porém localizada, pois, similarmente ao aterro sanitário, a área de disposição é minimizada. Geralmente, não dispõe de impermeabilização de base, nem de sistemas de tratamento do percolado ou do biogás gerado.

Aterro sanitário

Segundo a ABNT (1992) aterro sanitário é uma técnica de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos na menor área possível e reduzi-los ao menor volume

permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores se for necessário.

Os critérios de engenharia mencionados materializam-se no projeto do sistema de drenagem periférica e superficial para afastamento da água da chuva, de drenagem de fundo para coleta do percolado, de sistema de tratamento para o percolado drenado, de drenagem e queima dos gases gerados durante o processo de bioestabilização da matéria orgânica (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Para a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (1997), o aterro sanitário é uma obra de engenharia que tem como objetivo acomodar o resíduo no solo no menor espaço prático possível, sem causar danos ao meio ambiente ou à saúde pública. Esta técnica consiste basicamente na compactação dos resíduos no solo, na forma de camadas que são periodicamente cobertas com terra ou outro material inerte.

ROCCA et al.(1999), considera o aterro sanitário uma forma de disposição no solo que, fundamentada em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, garante um acondicionamento seguro em termos de poluição ambiental e proteção à saúde pública.

A caracterização da disposição final de resíduos em aterros sanitários pode ser abordada por meio dos principais tópicos relacionados a estas instalações, ciclo de vida, porte dos aterros, métodos de concepção e sistemas de controle ambiental, conforme descrito a seguir.

2.1.1 Ciclo de vida dos aterros sanitários

Com relação aos aspectos ambientais dos aterros sanitários, é importante avaliar as diferentes fases do seu ciclo de vida, que segundo CHRISTENSEN, COSSU e STEGMANN (1989) são as seguintes:

1. *Fase de planejamento*, tipicamente envolvendo os estudos e investigações preliminares necessárias para o desenvolvimento do projeto.
2. *Fase de construção*, envolvendo os trabalhos relacionados à movimentação de solo,

construção de acessos e instalações e a preparação de drenos e impermeabilizações da área a ser preenchida com resíduos.

3. *Fase de operação*, que corresponde ao período de tempo compreendido entre o aterramento da primeira carga de resíduos e o aterramento da última carga anos mais tarde. Esta fase é caracterizada pela maior intensidade de tráfego, pelos trabalhos nas frentes de aterramento e operação das instalações de controle ambiental.
4. *Fase de conclusão*, que corresponde ao período de tempo entre o esgotamento da capacidade volumétrica do local até o dia em que as instalações de controle ambiental não forem mais necessárias em virtude do decaimento do nível das emissões do aterro.
5. *Fase de armazenamento final*, que corresponde ao estágio em que as emissões decaíram a níveis aceitáveis (na mesma ordem de magnitude dos fluxos encontrados no entorno do aterro). A composição da área aterrada pode ainda diferenciar da composição do ambiente vizinho, entretanto a área não causa impactos sobre o mesmo. Neste estágio, a exemplo de outros locais, a área pode não ser adequada a todos os tipos de uso, entretanto já pode ser utilizada para diversos fins.

2.1.2 Porte dos aterros sanitários

Em um aterro sanitário, as características técnicas envolvidas variam de acordo com o seu porte. Quanto maior o aterro sanitário, maiores devem ser os cuidados envolvidos com a obra. O porte de um aterro sanitário tem relação direta com os materiais empregados e principalmente com o método de concepção adotado.

GARIGLIO (2003), citando BLIGHT (1994), apresenta uma classificação baseada na Taxa de Deposição Máxima (TDM) mensurada em toneladas de resíduos dispostos por ano. Esta subdivisão considerou as faixas populacionais e de produção de resíduos descritas no quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Classificação dos aterros por porte

<i>Porte do aterro</i>	<i>TDM (ton./ano)</i>		<i>Produção diária (toneladas)</i>		<i>Faixa Populacional (habitantes)</i>	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo		
Distrital	346	1.318	0,9	3,6	1.500	5.000
Pequeno	1.318	8.900	3,6	24,4	5.001	30.000
Médio	8.900	72.515	24,4	198,7	30.001	200.000
Grande	72.515	487.831	198,7	1.336,5	200.001	1.000.000
Metropolitano	487.831	639.454	1.336,5	Acima	1.000.001	Acima

FONTE: Gariglio (2003)

TDM – Taxa máxima de deposição (projetada para 20 anos de vida útil).

NOTA: foi considerado um crescimento populacional de 3% ao ano.

2.1.3 Métodos de concepção dos aterros sanitários

Ao longo da história e como consequência das variadas condições de trabalho, desenvolveram-se diferentes tipos de aterros, diferenciados, basicamente, pelas formas construtivas e operacionais adotadas (CETESB 1997).

O método de operação de um aterro sanitário está diretamente relacionado com o seu porte e às características topográficas e geotécnicas do terreno. Sua definição influencia diretamente os custos de implantação e operação dos empreendimentos.

Segundo PINEDA (1998), inicialmente os aterros sanitários eram classificados em método superficial e método de trincheira, mas ao combinar as técnicas com o passar dos anos, foi necessário definir uma nova classificação. Assim segundo a forma de colocação dos resíduos, os aterros sanitários são classificados atualmente em três tipos: método de trincheira, método de meia encostas e método de área.

São apresentados, a seguir, os métodos de operação de aterros sanitários descritos por BIDONE e POVINELI (1999).

a) Método de trincheira

É aplicado quando o local do aterro for plano ou levemente inclinado, e quando a produção diária de resíduos não ultrapassar 10 ton., assim, é um método próprio para pequenas comunidades, normalmente de escassos recursos financeiros e sem equipamentos adequados à operação de um aterro convencional; no entanto, em função da morfologia do local do aterro e da forma de operação que se deseja dispersar ao mesmo, é uma solução que também pode ser adotada para grandes comunidades geradoras de resíduos.

As trincheiras de pequeno porte são, normalmente, abertas com os equipamentos de uso corrente em escavação. Os resíduos são descarregados no lado livre das trincheiras, sem o ingresso do caminhão coletor em seu interior. O material proveniente da escavação é utilizado no recobrimento dos resíduos.

Em trincheiras de grande porte, os resíduos são descarregados no interior da mesma e um trato de esteira empurra o lixo de baixo para cima, passando de três a cinco vezes sobre o mesmo para a compactação em uma rampa de aproximadamente 1:3. Ao fim do trabalho de um dia, o lixo compactado recebe uma cobertura.

Este método exige uma atenção redobrada relativa à coleta e afastamento de lixiviado que, em função do próprio método de operação, é na maioria das vezes realizada em condições desfavoráveis.

b) Método de meia encosta

É utilizado em áreas secas e de encostas, normalmente aproveitando-se do material escavado do próprio local na cobertura do resíduos. Esse aspecto torna-o muito vantajoso do ponto de vista operacional, pois as distâncias de transporte do material de cobertura são normalmente pequenas.

O aterro é executado depositando-se um certo volume de lixo no solo, o qual é compactado por um trator de esteira em várias camadas, de até 3 ou 4 metros de altura. Em seguida, o trator escora, na parte oposta da operação, o material para a cobertura do lixo compactado, formando as células sanitárias.

c) Método de área

A técnica de execução de aterros em área é utilizada quando a topografia local permite o recebimento/confinamento dos resíduos sólidos, sem a alteração de sua configuração natural.

Nessas áreas, os resíduos são descarregados e compactados, formando uma elevação tronco-piramidal, que recebe o recobrimento com solo ao final da operação de um dia. A primeira elevação constitui o paramento necessário para o prosseguimento da célula, em qualquer sentido.

2.1.4 Sistemas de controle ambiental

Segundo BIDONE e POVINELLI (1999), quando se executa um aterro sanitário, dispendo-se os resíduos sólidos de forma adequada, evita-se os seguintes problemas: a proliferação de vetores; o espalhamento de papéis, plásticos e outros materiais leves nas cercanias do local de disposição; a possibilidade de engorda de animais da área, a fixação de famílias de catadores e a poluição das águas, sejam de superfície ou subsuperficiais, pelo lixiviado.

A fim de evitar os problemas arrolados anteriormente, alguns cuidados especiais devem ser tomados durante a execução dos aterros sanitários. Entre eles destaca-se a previsão de dispositivos de drenagem e tratamento de gases, de drenagem e tratamento de lixiviado e de afastamento ao máximo possível de águas pluviais; a canalização de córregos e nascentes existentes no local, o recobrimento diário e sistemático com argila dos resíduos após sua compactação e o selamento e impermeabilização mínima das células de aterro após o alcance de sua altura útil.

Estes cuidados constituem os sistemas de controle ambiental existentes nos aterros sanitários, que de uma forma geral são abordados, a seguir.

2.1.4.1 Sistema de impermeabilização de base

O sistema de impermeabilização de base tem a função de proteger a fundação do aterro, evitando a contaminação do subsolo e aquíferos subjacentes, pela migração de percolato e/ou biogás (IPT/CEMPRE, 2000).

Segundo ROCCA (1993), um sistema de impermeabilização deve apresentar as seguintes características:

- estanqueidade;
- durabilidade;
- resistência mecânica;
- resistência a intempéries;
- compatibilidade com os resíduos a ser aterrado.

Dentre os materiais comumente empregados em impermeabilização destacam-se as argilas compactadas e as geomembranas sintéticas.

Atualmente tem sido corrente o uso de sistemas compostos de impermeabilização, com a aplicação combinada de argilas compactadas ou material sintético com mesma função e geomembranas sintéticas.

VILAR (2003), destaca que as primeiras aplicações de barreiras empregavam apenas solos de baixa permeabilidade, em geral compactados. O advento das geomembranas e, mais recentemente, dos geocompostos bentoníticos, modificaram as configurações das barreiras, graças a uma série de vantagens, entre as quais se incluem o controle de qualidade de um produto manufaturado, a facilidade de instalação, a flexibilidade, a sua reduzida permeabilidade e o ganho de espaço no aterro. Existem especificações formuladas por órgãos de controle ambiental de diferentes países em que os geossintéticos são conjugados de diferentes formas e, comumente associados a solos compactados de baixa permeabilidade. Por exemplo, camadas impermeabilizantes duplas são atualmente obrigatórias nos Estados Unidos para resíduos perigosos, enquanto na Europa são comuns recomendações que conjugam uma

membrana e espessa camada de solo compactado.

Em Santa Catarina, a FATMA tem adotado como padrão para o licenciamento de aterros sanitários o uso conjugado de argilas compactadas e geomembranas sintéticas.

As camadas impermeabilizantes de argila devem ser executadas com controle tecnológico de compactação, com as seguintes características:

- camadas compactadas de no máximo 20 cm de espessura e espessura final de no mínimo 60 cm;
- umidade em torno da umidade ótima obtida no ensaio de compactação com Proctor normal;
- densidade de no mínimo 95% da densidade máxima obtida no ensaio de compactação com Proctor normal;
- coeficiente de permeabilidade de, no máximo, 10^{-5} cm/s, conforme NBR 13896.

Como alternativa ao uso das argilas compactadas, destaca-se o uso dos geocompostos bentoníticos, *geosynthetic clay liners* (GCL), que são materiais compostos em que uma camada de argila em pó, usualmente bentonítica sódica, é ligada por meios mecânicos ou químicos a geotêxteis ou a uma geomembra (VILAR, 2003).

De acordo com o mesmo autor, as geomembranas são mantas poliméricas flexíveis que apresentam permeabilidade extremamente baixa (da ordem de 10^{-12} cm/s) e que são utilizadas como barreiras para líquidos e vapores. As mais empregadas são as geomembranas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) com espessura mínima de 1,5 mm.

Sobre a impermeabilização com geomembranas, é colocada uma camada de proteção mecânica, que pode ser feita com o uso de geotêxteis ou solo, que tem o objetivo de protegê-las contra danos mecânicos e de exposição às intempéries.

De forma esquemática, a figura 2.1, apresenta uma sistema composto de impermeabilização de base. Destaca-se que é omitida a camada drenante usualmente executada sobre a geomembrana. Já a figura 2.2 apresenta o sistema de impermeabilização de base sendo executado em um aterro sanitário.

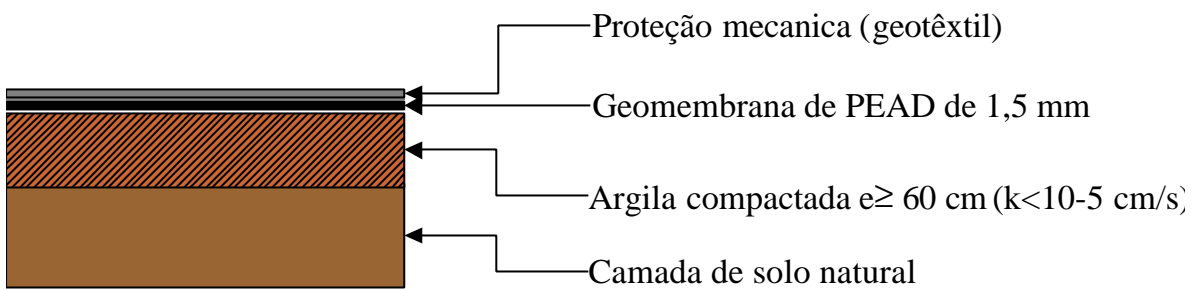


Figura 2.1 – Esquema de um sistema de impermeabilização de base



Figura 2.2 – Sistema de impermeabilização de base sendo construído em um aterro sanitários

2.1.4.2 Sistema de cobertura dos resíduos

O sistema de cobertura (diária, intermediária e final) tem a função de proteger a superfície das células de lixo (minimizando impactos ao meio ambiente), evitar a proliferação de vetores, diminuir a taxa de formação de percolados, reduzir a exalação de odores, impedir a catação, permitir o tráfego de veículos coletores sobre o aterro, eliminar a queima de resíduos e a saída descontrolada do biogás (IPT/CEMPRE, 2000).

Entre outras características, o sistema de cobertura deverá ser resistente a processos erosivos e adequados à futura utilização de área.

A cobertura diária ou intermitente deve ser realizada após o término de cada jornada de trabalho, com uma camada de cerca de 20 cm de solo. Já a camada intermediária é necessária naqueles locais em que a superfície de disposição ficará inativa por períodos mais prolongados (± 1 mês), aguardando por exemplo, a conclusão de um patamar para o início do outro.

De acordo com MACIEL (2003), a camada final de cobertura é de grande importância não apenas para minimizar as emissões de gases nos aterros sanitários, mas também para prever o comportamento geotécnico e biológico da massa de lixo e determinar parâmetros de projeto e operação do aterro.

Segundo o mesmo autor, os sistemas de cobertura utilizados nos aterros podem ser de diferentes tipos: camada homogênea de argila, de vários tipos/graduação de solo, argilosa com diferentes geossintéticos e mais recentemente aquelas formadas com materiais alternativos, solos orgânicos, lodos, etc. No Brasil, a grande maioria dos aterros possui cobertura com camada homogênea de argila compactada. A vegetação é um elemento que deve sempre estar associado à superfície das camadas, independente do sistema adotado, para evitar problemas de erosão e contração do solo.

A figura 2.3, apresenta os componentes de uma camada de cobertura final em aterro sanitário.

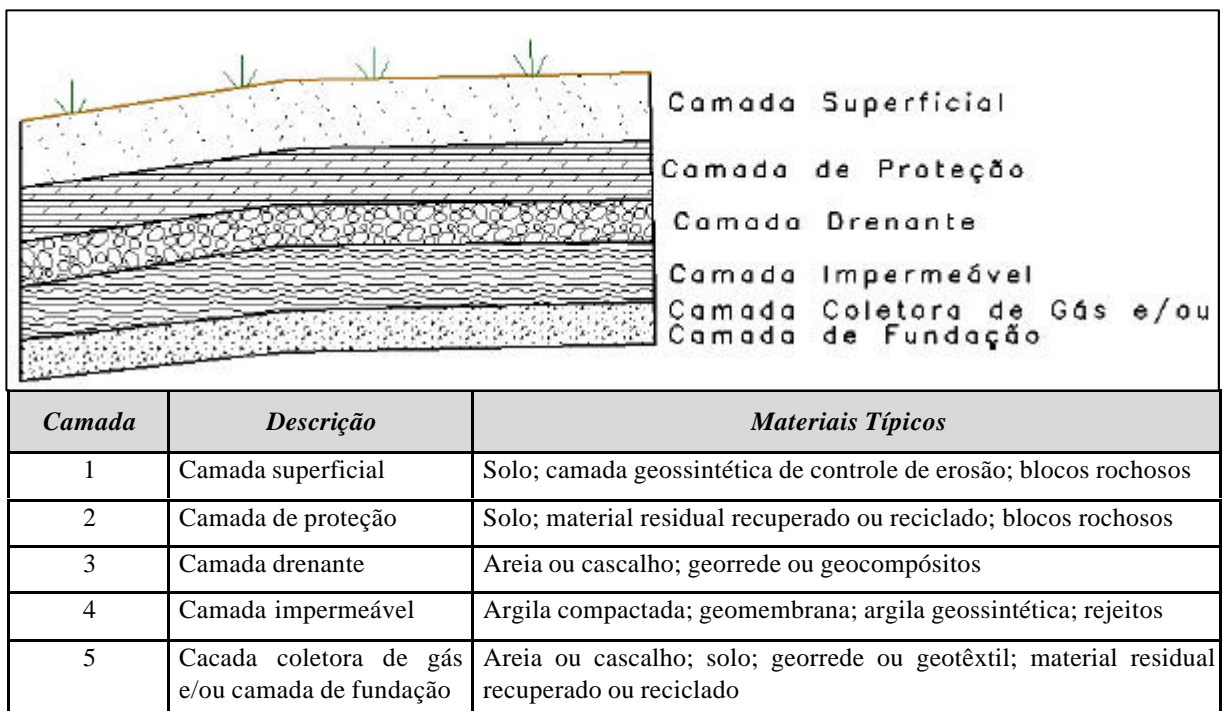


Figura 2.3 - Componentes de uma camada de cobertura final em aterro sanitário

FONTE: IPT/CEMPRE 2000

2.1.4.3 Drenagem pluvial

O sistema de drenagem de águas pluviais tem a finalidade de interceptar e desviar o escoamento superficial das águas pluviais, durante e após a vida útil do aterro, evitando assim sua infiltração na massa de resíduos (IPT/CEMPRE, 2000).

Nos aterros, em geral, o sistema de drenagem de águas pluviais é constituído por estruturas drenantes de meias canas de concreto (canaletas) associadas a escadas d'água e tubos de concreto (figura 2.4).

Segundo o IBAM (2001), sempre que possível, a drenagem das águas pluviais deve ser feita através de valas escavadas no terreno, evitando o usos de tubulações enterradas.

A NBR 13896/1997 especifica que no aterro deve ser projetado, construído e operado um sistema de desvio de águas superficiais capaz de suportar uma chuva de pico de cinco anos. Além disso o sistema deve ser permanentemente vistoriado, com a finalidade de manter, repor, desassorear e esgotar as bacias de contenção e de dissipação de energia, a fim e manter o sistema em operação.

Figura 2.4 – Sistema de drenagem de águas pluviais de um aterro sanitário



2.1.4.4 Drenagem de biogás

O lixo confinado em aterros sanitários sofre processo de decomposição predominantemente anaeróbio, gerando, dessa forma, gases como metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2).

Segundo GANDOLLA (2000), os gases provenientes de aterros podem ser explosivos (CH_4) ou asfixiantes (CO_2). Se não for extraído e tratado de maneira controlada, constituirá um sério perigo à população e propriedades. A migração de biogás e sua progressiva diluição com ar não diminui seu perigo potencial: o gás metano é de fato inflamável quando misturado com ar em proporções entre 15 e 5%, enquanto é produzido nos aterros sanitários nas concentrações entre 55 e 60% em volume. Da mesma forma que o metano, o dióxido de Carbono também é perigoso, pois o limite de segurança adotado pelas normas internacionais para trabalhadores é inferior a 0,5% em volume, enquanto nos aterros sanitários, as taxas de concentração são de 40-45%.

Para minimizar os impactos e riscos associados à geração de biogás, devem ser implementadas medidas para prevenir a sua migração e acumulação, tais medidas são sugeridas por BIDONE e POVINELLI (1999) e apresentadas a seguir.

O controle da geração e migração de gases deve ser feito por meio de um sistema de drenos verticais. Esses drenos são construídos com a superposição de tubos de concreto, revestidos de brita n.º 4, perfazendo ao todo um diâmetro de 1,0 m. O diâmetro desses drenos depende da vazão de gás a ser drenada; porém, na prática, o diâmetro dos tubos varia de 0,20 m a 1,00 m, em função da altura do aterro. Assim, nos aterros de pequena altura (até 15 m) e grandes áreas superficiais, são utilizados tubos de até 0,40 m; nos aterros de alturas maiores são utilizados tubos armados de até 1,0 m de diâmetro, visando dar vazão aos gases gerados e suportar os recalques diferenciais e a movimentação sofrida pelos resíduos aterrados.

Quando são utilizados tubos de até 0,40 m de diâmetro, costuma-se também preenchê-los com pedras britadas, de forma a conferir maior resistência à estrutura.

Outra forma de drenagem do biogás é a utilização de tela metálica de formato cilíndrico, preenchidos com pedra, sem tubo condutor. Nesses caso, mesmo que ocorra a oxidação e conseqüente rompimento da tela, devido à ação corrosiva dos líquidos percolados, as pedras continuarão formando um canal drenante eficiente. Pode-se também utilizar uma camisa metálica, constituída por um segmento de tubo metálico com alças em uma das extremidades. Essa camisa é preenchida com pedras e, à medida que as camadas de resíduos

se sobrepõem, é puxada pelas alças e novamente preenchida com pedras, repetindo-se a operação até a superfície final do aterro, formando um cilindro de pedras com função idêntica aos drenos convencionais.

Para que a dispersão do gás seja feita de forma controlada, é comum a utilização de queimadores especiais na terminação dos drenos. Esses queimadores possibilitam a queima dos gases a uma altura segura.

A figura 2.5 apresenta os drenos de gás na base do aterro sanitário e um dreno de gás durante a operação do aterro, observa-se ao centro o tubo de concreto envolto pela tela de arame preenchida com brita n.º 4.



Figura 2.5 – Drenos de biogás na base do aterro sanitário e dreno no aterro em operação

2.1.4.5 Drenagem de chorume

Segundo a NBR 13896/97, o sistema de drenagem para coleta e remoção de chorume do aterro sanitários deve ser:

- a) instalado imediatamente acima da impermeabilização;
- b) dimensionado de forma a evitar a formação de uma lâmina de líquidos percolados superior a 30 cm sobre a impermeabilização;
- c) construído de material quimicamente resistente ao resíduo e ao líquido percolado, e suficientemente resistente a pressões originárias da estrutura total do aterro e dos equipamentos utilizados em sua operação;

- d) projetado e operado de forma a não sofrer obstruções durante o período de vida útil e pós-fechamento.

O sistema é constituído de drenos de material filtrante com tubo perfurado, normalmente de concreto ou de PEAD, que direcionam os percolados para o sistema de tratamento.

O IPT/CEMPRE (2000) indica que o sistema de drenagem de líquidos percolados deverá ser construído em todos os patamares de lixo.

CHRISTENSEN, COSSU e STEGMANN (1989), sugerem as configurações do sistema de drenagem de chorume conforme a figura 2.6. Observa-se que no primeiro tipo, o sistema de drenagem é constituído por uma camada filtrante implantada sobre toda a área impermeabilizada. Já na segunda configuração, o meio filtrante é implantado somente no entorno do tubo de drenagem.

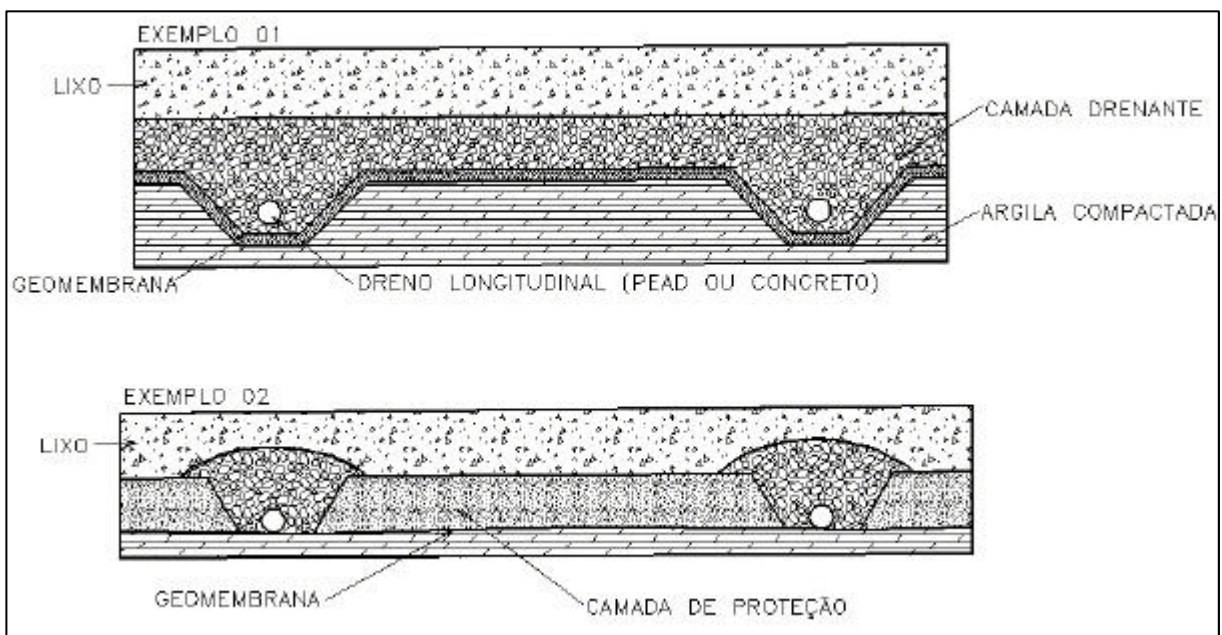


Figura 2.6 – Exemplos de sistemas de drenagem de chorume
 FONTE: Christensen, Cossu e Stegmann (1989)

A primeira configuração mostra-se mais eficiente, pois neste caso há uma garantia maior de drenagem de base do aterro sanitário. Este tipo de configuração é usada nos aterros sanitários implantados em Santa Catarina, a exemplo do aterro sanitário do município de Timbó e do aterro sanitário da empresa Recycle (figura 2.7), instalado na Cidade de Brusque.



Figura 2.7 – Drenagem de percolados em um aterro sanitário.
FONTE: RECICLE/2004.

2.1.4.6 Tratamento de chorume

A disposição do lixo em aterros sanitários ocasiona a produção de um líquido conhecido por chorume. Este líquido de composição bastante variável adquire características poluentes devido ao seu contato com uma massa de resíduos sólidos em decomposição.

O chorume é fonte de grande desconforto por causa de seu odor e aparência, e sua disposição diretamente no meio ambiente acarretará em sérios problemas ambientais e de saúde pública.

A quantidade de chorume gerado em aterros sanitários é decorrente da percolação de líquidos de origem externa: água de chuva, escoamento superficial, águas subterrâneas, fontes e da decomposição dos resíduos orgânicos, através das camadas do aterro. A forma mais adequada de estimar a produção de chorume em um aterro sanitário e que deve ser obrigatoriamente utilizada quando o projeto for de maior porte é aquela que se baseia no balanço hídrico. No entanto é tem sido comum a utilização do método racional, que embora freqüentemente criticado, apresenta resultados bastante favoráveis.

Devido à cadeia de constituintes existentes no chorume e às variações quantitativas sazonais e cronológicas, não se deve considerar uma solução única de processo para o seu tratamento (HAMADA & MATSUNAGA, 2000). Por não existir um único método de tratamento de chorume, será apresentada a seguir uma descrição dos principais métodos, sugeridos por FERREIRA (2001).

a) Recirculação de chorume no aterro

A recirculação do chorume na área já aterrada é considerada um método de tratamento, uma vez que, propicia a atenuação de constituintes pela atividade biológica e por reações físico-químicas que ocorrem no interior do aterro. Por exemplo, os ácidos orgânicos presentes no chorume irão ser convertidos em CH₄ e CO₂. É importante ressaltar que um aterro sanitário é um grande reator (não controlado) anaeróbico e a recirculação do chorume aumenta o seu tempo dentro do reator (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993; McBEAN et al., 1995).

Em países localizados em regiões tropicais, como é o caso brasileiro, a recirculação diminui significativamente o volume do chorume em função da evaporação, que é favorecida pelas condições ambientais (temperatura ambiente, ventos, radiação solar, etc.). Além disso, a recirculação permite uma maior flexibilidade no gerenciamento das variações da quantidade de chorume.

b) Processos biológicos aeróbios

O processo de lodos ativados pode ser definido como um processo no qual uma cultura heterogênea de microrganismos, em contato com o efluente e na presença de oxigênio, tem a capacidade de estabilizar e remover a matéria orgânica biodegradável. O processo pode ser inibido (principalmente a nitrificação) pela presença de substâncias tóxicas e variação de temperatura e pH do chorume. É utilizado como pré-tratamento de processos de osmose inversa ou na seqüência de outros tratamentos. No caso de chorume velho (pobre em orgânicos biodegradáveis) a relação C/N pode ser muita baixa para o processo biológico.

O processo de lagoas aeradas é recomendável quando existem grandes áreas de terra disponíveis, é de elevada eficiência, baixo custo de instalação e manutenção e de operação fácil e econômica. Apresenta, ainda, a vantagem de ser pouco sensível a oscilações de sobrecarga orgânica. Atinge alta eficiência de remoção da DBO, podendo chegar a mais de 90%. No entanto, dependendo da potência de aeração instalada haverá, com o tempo, uma

deposição de sólidos no fundo da lagoa, reduzindo a eficiência e necessitando de drenagem ou instalação de um decantador secundário para evitar o alto teor de sólidos no efluente final.

c) Processos biológicos anaeróbios

Nas lagoas anaeróbias, a degradação da matéria orgânica ocorre na ausência de oxigênio. A profundidade destas lagoas está na faixa de 2,0 a 4,0 m, e podem ocupar áreas menores do que as lagoas aeróbias ou facultativas. Operam sem muitos cuidados operacionais e, em geral, a remoção de DBO na lagoa anaeróbia fica em torno de 50%. As lagoas anaeróbias podem ser eficientes sistemas para reduzir a carga orgânica de etapas subsequentes de tratamento de chorume (de lagoas aeradas por exemplo).

Os processos anaeróbios têm se mostrado eficientes na remoção de metais pesados na forma de sulfetos, além de reduções significativas de DQO. Os processos anaeróbios são mais eficientes no tratamento de chorume novo. Apesar disso, podem ser obtidos resultados que sejam suficientes para assegurar um tratamento adequado ao chorume em aterros sanitários.

d) Processos de separação com membranas

Em função da natureza e do tipo de solutos e da presença ou não de partículas em suspensão, membranas com diferentes tamanhos e distribuição de poros são empregadas, caracterizando os processos conhecidos como microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa. Esses processos podem ser entendidos como uma extensão dos processos de filtração clássica que utilizam, nesta seqüência, meios filtrantes (membranas) cada vez mais fechados, ou seja, com poros cada vez menores.

e) Processo eletroquímico: Eletrocoagulação

Para tratar chorumes oriundos de aterros mais antigos, uma vez que neste caso o tratamento biológico torna-se mais ineficiente, um processo promissor é o eletroquímico. Segundo Ferreira (2001), citando TSAI et al. (1997), a eletrocoagulação é eficiente para

remover matéria orgânica de chorume, que consegue remover moléculas pequenas e grandes. Este estudo utilizou dois pares de eletrodos, Fe-Cu e Al-Cu, alcançando para ambos casos remoções de 30-50% de DQO.

2.1.4.7 Monitoramento ambiental

O principal sistema de monitoramento ambiental refere-se ao acompanhamento dos líquidos percolados, sendo monitorados os mananciais de águas superficiais e subterrâneas e o próprio sistema de tratamento de percolados. Além disso, é necessário o monitoramento geotécnico do maciço de resíduos, que tem por objetivo identificar possíveis deslocamentos verticais e horizontais.

O monitoramento das águas subterrâneas é feita por meio da instalação de poços de monitoramento, sendo que a localização destes deve levar em consideração as características hidrogeológicas da região. Segundo a NBR 13896 (ABNT, 1997), o sistema de poços de monitoramento deve ser constituído de, no mínimo, quatro poços, sendo um a montante e três a jusante no sentido do fluxo de escoamento preferencial do lençol freático. Além disso, os poços devem obrigatoriamente interceptar o lençol freático.

O monitoramento das águas superficiais deve ser feito mediante tomada de amostras a montante e a jusante da obra e estabelecendo-se comparações entre as características destas, (IPT/CEMPRE, 2000).

Os sistemas de tratamento de percolados exigem um acompanhamento adequado, visando a obtenção de subsídios para a avaliação de sua eficiência. Este monitoramento é feito por meio da coleta de amostras em pontos específicos do processo de tratamento, sendo necessário, no mínimo, a tomada de amostras no início e no final do processo, buscando-se assim, avaliar a eficiência do mesmo.

O monitoramento geotécnico do maciço de resíduos é feito, normalmente, por meio da instalação de marcos referenciais, que são instrumentos incorporados superficialmente ao aterro, com a função de servir como orientadores dos deslocamentos aos quais o aterro está sujeito. São distribuídos de forma a caracterizar linhas de estudo, com direções de

deslocamento esperadas, para possibilitar um monitoramento da evolução do aterro, e portanto, nortear as ações preventivas que se façam necessárias para se manter o controle do maciço. Para efetuar este monitoramento são implantados, fora da área do aterro, marcos fixos, irremovíveis, de referência de nível e de posição relativa. Baseado nestes, são observados por levantamentos topográficos, os deslocamentos verticais e horizontais de marcos superficiais instalados no aterro, (KAIMOTO, et. al., 2004). No entanto, o monitoramento geotécnico pode ser dispensado para aterros em valas ou de pequeno porte.

Além das estruturas já citadas, um aterro sanitário conta ainda com uma infraestrutura básica composta pelos seguintes elementos:

- Cerca de isolamento

O cercamento da área do aterro sanitário tem o objetivo de dificultar o acesso de pessoas não autorizadas na área do aterro sanitário. Devendo ser construída com aproximadamente dois metros de altura, com moirões de concreto nos quais são passados cinco fios de arame galvanizado, igualmente espaçados.

- Guarita e balança

A guarita e a balança tem o objetivo de controlar a entrada de veículos e a quantidade de resíduos a serem dispostos nos aterros sanitário. A capacidade da balança utilizada depende do porte do aterro sanitário, sendo comum a utilização de balanças de 30 à 60 toneladas de capacidade. A guarita deve dar abrigo ao funcionário responsável pela fiscalização, construída em alvenaria, deve dispor de banheiro e ter comunicação direta com a administração do aterro.

- Faixa de proteção sanitária

Deve ser construída em toda a volta do aterro, destinada ao plantio de arbustos e árvores, formando uma cerca viva para melhorar a estética do local e dificultar a visão do interior da área.

- Acessos internos e externos

Os acessos internos e externos, devem permitir o trânsito de veículos sob quaisquer condições climáticas. Os acessos externos devem ser pavimentados, podendo ser asfalto ou paralelepípedo, dispendo de sistema de eficiente sistema de drenagem. Já os acessos internos, podem ser feitos pavimento primário, podendo ser utilizado saibro ou rachão, devendo garantir o acesso dos caminhões de coleta e transporte de resíduos a frete de operação.

2.2 A SITUAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE realizou no ano de 2000 a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB 2000). Esta pesquisa forneceu dados que permitem identificar a situação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, principalmente no que diz respeito à destinação final.

Os resultados demonstraram uma evolução com relação aos resultados obtidos na última pesquisa de 1989. A destinação do lixo no País, em termos de peso, é favorável, pois atualmente 47,10% do total é disposto em aterros sanitários, 22,3% em aterros controlados e somente 30,5% em lixões, ou seja, mais de 69% dos resíduos coletados no Brasil tem destino final adequado, como pode ser observado na figura 2.8.

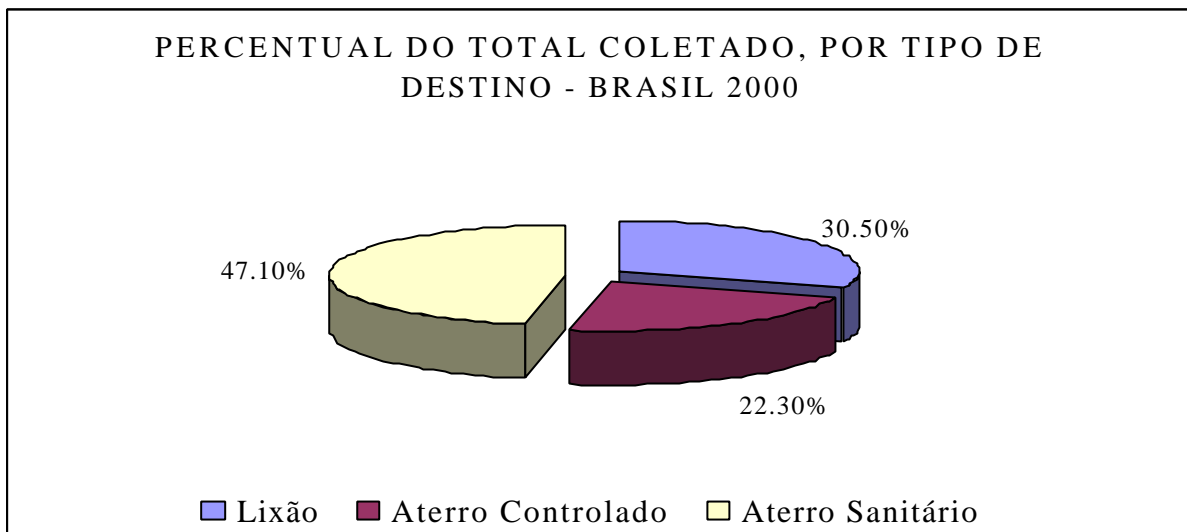


Figura 2.8 – Destinação dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisa, Departamento de População e indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000.

No entanto, se considerarmos, em números de municípios, estes resultados não são tão favoráveis, uma vez que 63,6% dos municípios brasileiros utilizam lixões e somente 32,2% estão em situação adequada, sendo que 5% não informaram a destinação que é dada aos resíduos no município. Além disso, observa-se que estes resultados podem ser demasiadamente otimistas, uma vez que, a fonte das informações coletadas é em muitos casos a própria prefeitura da cidade pesquisada, que para evitar a exposição de deficiência do sistema, repassa informações incorretas.

Da mesma forma, JUCÁ (2003) afirma que o PNSB (2000) indicou um situação exageradamente favorável no que se refere à quantidade de resíduos dispostos nas unidades de destinação final, pois aproximadamente 73,2% de todo o resíduo coletado no Brasil estaria tendo um destino final adequado, em aterros sanitários ou controlados.

Estes resultados demonstram a dispersão geográfica dos focos de poluição relativa à produção de resíduos sólidos nos municípios brasileiros (LUPATINI, 2002).

Tal constatação pode ser evidenciada pelo fato que dos 5.507 municípios brasileiros, 4.026, ou seja, 73,1% têm população de até 20.000 habitantes. Nestes municípios, 68,5% dos resíduos gerados são vazados em lixões e em alagados

Entretanto, se tomarmos como referência a quantidade de lixo gerada pelos

municípios, em relação ao total da produção brasileira, a situação é menos grave, pois em conjunto coletam somente 12,8% do total brasileiro (20.658 t/dia). Isto é menos do que o gerado pelas 13 maiores cidades brasileiras, com população acima de 1 milhão de habitantes. Só estas coletam 31,9% (51.635 t/dia) de todo o resíduo urbano brasileiro, e têm seus locais de disposição final em melhor situação: apenas 1,8% (832 t/dia) é destinado em lixões, o restante é depositado em aterros controlados ou sanitários (IBGE, 2002).

De acordo com o IBGE (2002), a tendência de melhoria na destinação final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil nos últimos anos, pode ser creditada a diversos fatores, tais como:

- maior consciência da população sobre a questão da limpeza urbana;
- atuação do Ministério Público Estadual e Federal;
- força e apelo popular do programa da UNICEF, Lixo e Cidadania (Criança no Lixo, Nunca Mais) em todo o Brasil;
- recursos do governo federal, através do ministério do meio ambiente;
- apoio de governos estaduais.

Os resultados obtidos com a pesquisa demonstram que investimentos em consórcios intermunicipais e em ações integradas são as melhores alternativas para a solução definitiva dos problemas de destinação final de resíduos sólidos urbanos no Brasil.

2.3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E NORMAS TÉCNICAS

A descrição da legislação ambiental, a nível federal e estadual e das normas técnicas, visa apresentar os critérios legais e técnicos a serem atendidos nas etapas de projeto, construção e operação de aterros sanitários. Afinal, um bom aterro sanitário é aquele que, em primeiro lugar, atende à legislação ambiental e às normas técnicas pertinentes.

2.3.1 Legislação Ambiental

A seguir é apresentado um resumo da legislação relacionada à gestão de resíduos sólidos urbanos.

2.3.1.1 Esfera Federal

No Brasil, o projeto da Política Nacional de Resíduos Sólidos, que define e reúne normas relativas à prevenção de geração, minimização, reutilização, manejo, acondicionamento, coleta, reciclagem, transporte, tratamento, reaproveitamento e disposição final dos resíduos sólidos, está tramitando no Congresso Nacional há algum tempo, sem ter sido aprovado até o momento. Entretanto, alguns textos regulamentares estabelecem diretrizes isoladas para procedimentos associados aos resíduos sólidos urbanos.

- Legislação Constitucional

A Constituição Federal de 1988, Título VIII, Capítulo VI – Do meio Ambiente, o Artigo 225 diz em seu enunciado: “Todos tem direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

A constituição Federal no seu Artigo 30, define que é de responsabilidade do poder público municipal a coleta, transporte e destinação final dos resíduos sólidos urbanos.

Em seu Parágrafo 1º, para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao poder público nos incisos IV, V e VII, respectivamente: “exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade”; “controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente”; e “proteger a fauna e a flora, vedadas, na forma

da lei, as práticas que coloquem em risco sua função ecológica, provoquem a extinção de espécies ou submetam os animais a crueldade”.

No parágrafo 3º “As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados.”

- Legislação Extraconstitucional

- Lei N.º 6.938/81 - estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente, que tem por objetivo “a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia a vida, visando assegurar, no país, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança e a proteção da dignidade da vida humana...”; constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA; e institui o Cadastro de Defesa Ambiental. A Lei estabelece, ainda, entre outros instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente, o licenciamento pelo órgão ambiental competente, a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, o Cadastro Técnico Federal de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras dos recursos ambientais (atualizado pela Lei N.º 7.804/89) e a avaliação de impactos ambientais.
- Lei N.º 7.347, de 24 de julho de 1985 – Disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, histórico, turístico e paisagístico, e dá outras providências.

- Leis e Decretos Federais

- Decreto N.º 24.643, de 10 de julho de 1934 – Decreta o Código de Águas. No Título I, capítulo I – Águas Públicas, artigo 3º “A perenidade das águas é condição essencial para que elas se possam considerar públicas...”. No Título VI, capítulo único, artigo 109 – “A ninguém é lícito conspurcar ou contaminar as águas que não consome, com prejuízo de

terceiros”.

- Lei n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965 – Institui o novo Código Florestal. Em sua alteração através da Lei 7.803 de julho de 1989, define no Art. 2º que consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

- a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será:

- 1 - de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

- 2 - de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;

- 3 - de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;

- 4 - de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;

- 5 - de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

- b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;

- c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura;

Ao definir as áreas de proteção ambiental o Código Florestal serve de base para localização de qualquer tipo de empreendimento, incluído-se os aterros sanitários.

- Decreto N.º 99.274/90 - regulamenta a Política Nacional do Meio Ambiente e estabelece que dependerão de licenciamento do órgão ambiental competente as atividades que utilizam recursos ambientais, consideradas efetivas ou potencialmente poluidoras ou capazes de causar degradação ambiental e que será exigido EIA e respectivo RIMA para fins do licenciamento.

- Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA
 - Resolução CONAMA N.º 002/85 – dispõe sobre o licenciamento de atividades potencialmente poluidoras, pelos órgãos estaduais competentes;
 - Resolução CONAMA N.º 001/86 - estabelece que o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente dependerá da elaboração de EIA e de respectivo RIMA a serem submetidos a aprovação dos órgãos ambientais competentes. E define a estrutura mínima de um EIA/RIMA. Dentre as atividades exemplificadas, constam os aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos;
 - Resolução CONAMA N.º 006/86 - estabelece os modelos de publicação de pedidos de licenciamento, em qualquer de suas modalidades, sua renovação e a respectiva concessão da licença;
 - Resolução CONAMA N.º 020/86 – dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas no Território Nacional. Esta Resolução defini os parâmetros de qualidade dos recursos hídricos, sendo referencia para os programas de monitoramento ambiental e o lançamento de efluentes líquidos pós tratados nos corpos receptores;
 - Resolução CONAMA N.º 009/87 - dispõe sobre a realização de audiência pública para expor o empreendimento e seu respectivo RIMA aos interessados, dirimindo dúvidas e recolhendo dos presentes as críticas e sugestões a respeito.
 - Resolução CONAMA N.º 004/1995, estabelece “áreas de segurança aeroportuárias (ASA)” delimitadas por um determinado raio a partir do “centro geométrico do aeródromo”, de acordo com seu tipo de operação; e não permite a implantação de atividades de natureza perigosa, entendidas como “foco de atração de pássaros” dentro da ASA.
 - Resolução CONAMA N.º 237/97 – revê os procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental, de forma a efetivar a utilização do sistema de licenciamento

como instrumento de gestão ambiental, instituído pela Política Nacional do Meio Ambiente;

- Resolução CONAMA N° 258/99 – Determina que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequadas aos pneus inservíveis.
- Resolução CONAMA N.º 283/01 – dispõe sobre o tratamento e destinação final dos resíduos dos serviços de saúde. Esta resolução entre outros, define a obrigatoriedade do pré-tratamento dos resíduos dos serviços de saúde antes da disposição final no solo.
- Resolução CONAMA N.º 303/02 - Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente - APP. Esta resolução defini as restrições legais de APP's, estando relacionada a localização dos aterros sanitários;
- Resolução CONAMA N° 307/02 – Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.
- Resolução CONAMA N° 308/02 - Dispõe sobre o licenciamento ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte, até 30 mil habitantes ou com geração diária de até 30 toneladas;
- Resolução CONAMA N° 313/02 – Dispõe sobre o inventário nacional de resíduos sólidos industriais;
- Resolução CONAMA N° 316/02 – Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos;
- Resolução CONAMA N° 334/03 - Dispõe sobre os procedimentos de licenciamento ambiental de estabelecimentos destinados ao recebimento de embalagens vazias de agrotóxicos.

2.3.1.2 Esfera Estadual

Em Santa Catarina, o Projeto de Lei N.º PL/0257.2/2004 que dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e adota outras providências define e reúne normas

relativas à prevenção de geração, minimização, reutilização, manejo, acondicionamento, coleta, reciclagem, transporte, tratamento, reaproveitamento e disposição final dos resíduos sólidos, encontra-se em tramitação na Assembléia Legislativa do Estado de Santa Catarina. Entretanto, alguns textos regulamentares estabelecem diretrizes isoladas para procedimentos associados aos resíduos sólidos urbanos.

- **Legislação Constitucional**

Constituição Estadual de 1989 dedica um capítulo específico ao trato da questão ambiental. Com efeito, o capítulo VI – Meio Ambiente, estabelece no artigo 181, em conformidade com a legislação federal, que “todos têm o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo para as presentes e futuras gerações”. Em seu artigo 182 item V, fica estabelecido que o Estado deve exigir, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudos prévios de impacto ambiental, a que se dará publicidade.

- **Legislação Extraconstitucional**

- Portaria n.º 024/79 de 19 de setembro de 1979, dispõe sobre o enquadramento dos cursos d'água no Estado de Santa Catarina.
- Lei N.º 5.793 de 15 de outubro de 1980, que dispõe sobre a proteção e melhoria da qualidade ambiental e das outras providências. Essa lei, ressalva a competência da União, estabelece normas gerais visando à proteção e melhoria da qualidade ambiental.
- Lei N.º 11.347, de 17 de janeiro de 2000 – Dispõe sobre a coleta, recolhimento e destino final de resíduos sólidos potencialmente perigosos que menciona e das outras providências.
- Portaria Intersetorial n.º 01/92 – Aprova a listagem das atividades consideradas potencialmente causadoras de degradação ambiental;

- Portaria N.º 017/02 – Estabelece os limites máximos de toxicidade aguda para efluentes de diferentes origens e dá outras providências.
- Decretos Estaduais
 - Decreto N.º 14.250 de 05 de junho de 1981, que regulamenta os dispositivos da Lei N.º 5.793/80, referentes à proteção e a melhoria da qualidade ambiental. Como ponto de destaque, o decreto estabelece que a instalação de atividades consideradas potencialmente causadoras de degradação ambiental dependerá da apreciação e aprovação dos projetos, acompanhado dos relatórios de impacto ambiental, e de licença ambiental prévia, de instalação e de operação. Destacando-se ainda o Capítulo II, Da proteção das águas, do solo, da atmosfera e do controle sonoro, incluído padrões de lançamento de efluentes e o Capítulo III, Das áreas de proteção especial e das zonas de reserva ambiental.
- Instruções Normativas da FATMA
 - IN 02 - Disposição final de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários.

2.3.2 Normas técnicas

Dentre as normas técnicas sobre resíduos sólidos editadas pela ABNT destacam-se as seguintes:

- NBR 8419 de Abril de 1992 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

Esta norma técnica descreve as definições técnicas sobre o tema e apresenta os itens que devem constar no projeto de engenharia de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

- NBR 13896 de Junho de 1997 – Aterros de resíduos não perigosos critérios para projeto, implantação operação.

Esta norma técnica além de apresentar definições sobre o tema, em seu item 4.1 define os critérios para localização de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Nas condições específicas item 5 define entre outros: proteção das águas subterrâneas e superficiais, impermeabilização do aterro, drenagem e tratamento de líquidos percolados, emissões gasosas, plano de inspeção e manutenção, controle da operação e plano de encerramento e cuidados para fechamento do aterro.

- NBR 10004 de Maio de 2004 – Resíduos Sólidos - Classificação

Esta norma técnica classifica resíduos sólidos quanto ao seu risco potencial ao meio ambiente e à saúde pública.

2.4 INDICADORES E ÍNDICES

O termo indicador origina-se do latim “indicare”, verbo que significa apontar. Em português, indicador significa que indica, torna patente, revela, propõe, sugere, expõe, menciona, aconselha, lembra. (DEPONTI, CÓRDULA e AZAMBUJA, 2002).

Segundo GROVE (2001), um indicador pode ser definido como uma das maneiras de se medir o progresso, alguns tipos de mudanças ou avanços, ou mensurar variações na medição de uma meta. Indicadores compõem uma das formas de se medir. Por exemplo, se for fixada uma meta de extinguir os lixões existentes em um Estado, o número de aterros licenciados é um indicador de quão próximos estamos de alcançar este objetivo.

Índices são os resultados da agregação de vários indicadores segundo procedimentos metodológicos específicos (SILVA, 2003).

Numa visão holística do assunto, que integra todos esses fatores, as decisões têm que ser tomadas sempre baseadas em informações, que são trazidas pelos indicadores. Para um melhora planejamento e direcionamento para que a informação seja utilizada na tomada de decisão política, os indicadores têm que ser bem definidos; do contrário, o volume de dados coletados não será passível de utilização, porque o tomador de decisão não será capaz de utilizar a informação corretamente.

Para FERNANDES (2004), a tarefa básica de um indicador é expressar, da forma mais simples possível, uma determinada situação que se deseja avaliar. O resultado de um indicador é uma fotografia de dado momento, e demonstra, sob uma base de medida, aquilo que está sendo feito, ou o que se projeta para ser feito.

Em uma situação muito complexa o uso de indicadores auxilia no estabelecimento da quantificação de um processos e estabelece padrões para analisar o desempenho. Os indicadores que representam determinado processo sinalizam como ele se encontra e mostram para a gerência como as tarefas estão sendo desenvolvidas. Fundamentalmente, os indicadores oferecem à gerência números que indicam o estado ou o estágio das várias etapas de um dado processo.

Para GROVE (2001), existem diversas classificações em que os indicadores poderiam ser categorizados, uma sugestão é descrita a seguir:

- Nível de aplicação: os indicadores podem tomar âmbito de projeto, âmbito estadual, âmbito nacional ou âmbito global;
- Área de aplicação: podem ser aplicados nas áreas econômica, ambiental, etc. Na área ambiental, podem ser tão somente para registrar a qualidade do ar, água, ocorrência de desastres ambientais, depredação de recursos naturais, impactos sobre a saúde, biosfera ou negócios relacionados. Também podem ser divididos em quatro categorias de acordo com a atividade do indicador – economia, eficiência, recursos humanos e impacto sobre o meio ambiente.
- Representação Qualitativa ou Quantitativa: podem ser representados em forma de dados,

gráficos, mapas, figuras ou diagramas.

Data do final da década de 80 o surgimento de propostas de construção de indicadores ambientais. Tais propostas possuem em comum o objetivo de fornecer subsídios à formulação de políticas nacionais e acordos internacionais, bem como à toma de decisão por atores públicos e privados. Também buscam descrever a interação entre a atividade antrópica e o meio ambiente e conferir ao conceito de sustentabilidade maior concretude e funcionalidade (BRAGA, et. al., 2003).

De acordo com o mesmo autor, as tentativas de construção de indicadores ambientais e de sustentabilidade seguem três vertentes principais. A primeira delas, de vertente biocêntrica, consiste principalmente na busca por indicadores biológicos, físico-químicos ou energéticos de equilíbrio ecológico de ecossistemas. A Segunda, de vertente econômica, consiste em avaliações monetárias do capital natural e qualidade ambiental que combinem aspectos do ecossistema natural a aspectos do sistema econômico e da qualidade de vida humana, sendo que em alguns casos, também são levados em consideração aspectos dos sistemas políticos, cultural e institucional. Os indicadores ambientais da terceira vertente são, via de regra, modelos de interação atividade antrópica/meio ambiente que podem ser classificados em três tipos diferentes: estado; pressão; resposta. Enquanto os indicadores de estado buscam descrever a situação presente, física ou biológica, dos sistemas naturais, os indicadores de pressão tentam medir/avaliar as pressões exercidas pelas atividades antrópicas sobre os sistemas naturais e os chamados indicadores de resposta buscam avaliar a qualidade das políticas e acordos formulados para responder/minimizar os impactos antrópicos.

Segundo BORRA e MORAES (2001), o processo de construção de um sistema de indicadores ambientais envolve uma série de decisões e exige uma concepção integrada do meio ambiente e, conseqüentemente, uma abordagem interdisciplinar. Entre outras exigências, devem ser definidos:

- Os objetivos do sistema indicador;

- O marco teórico conceitual;
- Os campos disciplinares que participarão da avaliação;
- As técnicas e instrumentos de coleta de dados;
- Os métodos de ponderação e agregação dos indicadores.

Segundo FORGE (1994), para se propor um sistema de indicadores ambientais urbanos deve-se, de início, buscar responder às seguintes questões:

- Quais os objetivos do indicador? Alertar, definir tendências ou avaliar impactos?
- Qual o tipo? Avaliação do estado do ambiente, verificar pressões que sobre ele incidem ou avaliação das respostas dadas pelo Poder Público e pela sociedade, quanto à melhoria do meio ambiente urbano?
- Qual a escala de avaliação? Global, regional, nacional ou local?
- Quais os usuários da informação? Tomadores de opinião, políticos, economistas, público em geral ou técnicos.

Atualmente a sociedade utiliza diversos indicadores e índices, para avaliar o desempenho em diversas áreas. Dentro os quais pode-se citar.

2.4.1 Índice da Qualidade Ambiental - QA

Apesar de existirem registros sobre a qualidade do ar e temperatura desde meados de 1800, não havia esforços reais para identificar os indicadores ambientais ou um índice de qualidade ambiental. Após a Segunda Guerra Mundial, houve um crescimento sem precedentes da população e também da poluição. O aumento na poluição pôde ser atribuído às chaminés das indústrias, que começaram a emitir mais fumaça na atmosfera, liberar águas residuais não tratadas, bem como o lodo das indústrias que começaram a ser lançados nos corpos d'água. Diante dessa situação o Congresso dos Estados Unidos da América aprovou uma lei em 1968 tornando obrigatória a publicação de estatísticas sobre a qualidade ambiental

(GROVER, 2001).

De acordo com o mesmo autor, a Federação Nacional da vida Selvagem (NWF) dos Estados Unidos desenvolveu o índice de Qualidade Ambiental (QA) em um esforço para prover os cidadãos e os políticos de um revisão geral de toda informação já publicada sobre fatores influenciáveis na qualidade do meio ambiente. Quando publicado pela primeira vez no outono de 1969, o Índice EQ avaliava seis recursos naturais: ar, água, solo, flora, fauna silvestre e minerais. Um sétimo item, habitat, foi adicionado à lista em meados de 1970.

Estruturação do QA

Para entender como o QA era calculado é interessante a análise de um exemplo fático, como o Índice QA era calculado no final da década de sessenta e início dos anos setenta. Sete diferentes recursos eram levados em conta para o cálculo do índice.

A pontuação é multiplicada pela importância relativa e o total é dividido por cem, para se obter a pontuação do índice EQ (quadro 2.2). Um índice QA nacional de 55 pontos mostra que as coisas não estão tão boas como poderiam estar – quanto maior a pontuação do índice QA nacional, melhor é o estado do meio ambiente.

Quadro 2.2 – Desenvolvimento de um índice QA Nacional.

<i>Categoria</i>	<i>Pontuação 1970</i>	<i>Importância Relativa</i>	<i>Pontuação EQ</i>
Solo	77	31	23,87
Ar	32	20	6,4
Água	42	20	8,4
Habitat	58	12	6,96
Minerais	48	7	3,36
Fauna Silvestre	51	5	2,55
Flora	76	5	3,8
Índice QA			55,34

FONTE: GROVE, 2001.

Neste quadro pode ser visualizado que o Índice QA é um número simples cujo movimento indica em qual extensão a qualidade ambiental geral está melhorando ou

deteriorando. A importância relativa, também conhecida como peso, é cuidadosamente selecionada por um grupo de cientistas e estatísticos ambientais.

2.4.2 Índice de Desenvolvimento Humano - IDH

De acordo com o PNUD (2005), o objetivo da elaboração do Índice de Desenvolvimento Humano é oferecer um contraponto a outro indicador muito utilizado, o Produto Interno Bruto (PIB) per capita, que considera apenas a dimensão econômica do desenvolvimento. Criado por Mahbud ul Haq com a colaboração do economista indiano Amartya Sen, o IDH pretende ser uma medida geral, sintética, do desenvolvimento humano. Não abrange todos os aspectos de desenvolvimento e não é uma representação da “felicidade” das pessoas, nem indica “o melhor lugar do mundo para se viver”.

Além de computar o PIB per capita, depois de corrigi-lo pelo poder de compra da moeda de cada país, o IDH também leva em conta dois outros componentes: a longevidade e a educação. Para aferir a longevidade, o indicador utiliza números de expectativa de vida ao nascer. O item educação é avaliado pelo índice de analfabetismo e pela taxa de matrícula em todos os níveis de ensino. A renda é mensurada pelo PIB per capita, em dólar PPC (paridade do poder de compra, que elimina as diferenças de custo de vida entre os países). Essas três dimensões têm a mesma importância no índice, que varia de zero a um.

Apesar de ter sido publicado pela primeira vez em 1990, o índice foi recalculado para os anos anteriores, a partir de 1975. Aos poucos, o IDH tornou-se referência mundial. É um índice chave dos objetivos do desenvolvimento do milênio das Nações Unidas e, no Brasil, tem sido utilizado pelo governo federal e por administrações municipais.

a) Estimativa do IDH – Metodologia

Componentes do IDH

O IDH leva em conta três dimensões básicas da existência humana: uma vida longa

e saudável, acesso ao conhecimento e um padrão de vida digno.

Estas três dimensões são mensuradas no IDH pelos seguintes indicadores: esperança de vida ao nascer, taxas de alfabetização e de matrícula e PIB per capita.

Normalização

Para cada indicador, valores mínimos e máximos são selecionados. Os valores mínimos e máximos não correspondem a valores observados - são fixos e baseados nas tendências dos indicadores (seus valores prováveis nos próximos 25 anos). A diferença entre o valor máximo e mínimo representa o caminho completo a ser percorrido pela sociedade no respectivo indicador. A diferença entre o valor observado e o valor mínimo mostra o avanço já realizado.

Para cômputo do IDH, calcula-se a seguinte relação:

$$\text{Índice} = (\text{valor observado} - \text{valor mínimo}) / (\text{valor máximo} - \text{valor mínimo})$$

O valor resultante, um número puro, mostra qual o caminho já percorrido pela sociedade como proporção de todo o caminho a percorrer no respectivo indicador.

Ponderação

Cada um destes indicadores normalizados entra no IDH com o mesmo peso (1/3). A adoção de pesos iguais se deve a que todas as dimensões do IDH são igualmente valiosas e desejáveis. Como o valor dos três indicadores varia entre zero e 1, o valor do IDH também varia entre zero e 1.

b) Estimativa do IDH – Exemplo

Valores para os componentes do IDH, referentes ao ano de 2001, utilizados no RDH 2003 para o cálculo do IDH-Brasil

- Esperança de vida ao nascer: 67,8 anos
- Taxa de alfabetização: 87,3%
- Taxa de matrícula: 95,0%
- PIB per capita (PPC): US\$ 7 360

Cálculo do IDH – Brasil 2003

Cálculo do Índice de Renda

$$\text{IDH-R} = (\ln 7360 - \ln 100) / (\ln 40\,000 - \ln 100) = 0,717$$

Cálculo do Índice de Educação

$$\text{IDH-E} = (0,873 \times 0,666\dots) + (0,95 \times 0,333\dots) = 0,899$$

Cálculo do Índice de Esperança de Vida

$$\text{IDH-S} = (67,8 - 25) / (85 - 25) = 0,713$$

Cálculo do Índice de Desenvolvimento Humano

$$\text{IDH} = (\text{IDH-R} + \text{IDH-E} + \text{IDH-S}) / 3 = (0,717 + 0,899 + 0,713) / 3 = 0,777$$

O quadro 2.3 apresenta de forma ilustrativa os valores o IDH de alguns países, segundo o relatório de desenvolvimento humano 2004, editado pelo PNUD.

Quadro 2.3 – Índice de desenvolvimento humano - 2002.

<i>Posição</i>	<i>País</i>	<i>Esperança de vida à nascença (anos)</i>	<i>Taxa de alfabetização de adultos (%)</i>	<i>Taxa de escolarização (%)</i>	<i>PIB Per capita (US\$) (PPC)</i>	<i>Índice de Esperança de vida*</i>	<i>Índice da Educação*</i>	<i>Índice do PIB*</i>	<i>IDH*</i>
1	Noruega	78,9	- ⁽¹⁾	98	36.600	0,90	0,99	0,99	0,956
2	Suécia	80,0	- ⁽¹⁾	114 ⁽²⁾	26.050	0,92	0,99	0,93	0,946
8	EUA	77,0	- ⁽¹⁾	92	35.750	0,87	0,97	0,98	0,939
34	Argentina	74,1	97,0	94	10.880	0,82	0,96	0,78	0,853
72	Brasil	68,0	86,4	92	7.770	0,72	0,88	0,73	0,775
176	Niger	46,0	17,1	19	800	0,35	0,18	0,35	0,292
177	Serra Leoa	34,3	36,0	45	520	0,16	0,39	0,28	0,273

FONTE: RELATÓRIO DO DESENVOLVIMENTO HUMANO – PNUD (2004).

NOTA: * SEM UNIDADE, ⁽¹⁾ Com o fim de calcular o IDH, foi utilizado um valor de 99,0%, ⁽²⁾ Com o fim de calcular o IDH, foi utilizado um valor de 100,0%.

2.4.3 Índice de Sustentabilidade Ambiental (ESI)

Elaborado pelas universidades americanas de Yale e Columbia em parceria com o Fórum Econômico Mundial, o ESI (Environmental Sustainability Index) considera cinco componentes – sistemas ambientais, redução de pressões ambientais, redução de vulnerabilidade humana, capacidade social e institucional e responsabilidade global – detalhado em 21 indicadores e 76 variáveis. Avalia-se, qualidade e quantidade de água disponível, biodiversidade, produção de energia renovável, níveis de poluição e participação em acordos internacionais na área ambiental, entre outros. Questões amplas, entram no estudo, desde a presença de instituições democráticas até a incidência de desnutrição, passando pela capacidade de inovação. O objetivo é detectar a capacidade de uma país de aprimorar seu desempenho com o passar do tempo, (ESTY et al., 2005).

Método de agregação do ESI

O ESI corresponde a agregação de 21 indicadores a partir da expressão descrita a seguir:

$$I_i = \sum_{j=1}^p w_j \tilde{X}_j \quad i = 1, \dots, n,$$

Onde: W_j são os pesos atribuídos a cada um dos 21 indicadores;

X_j são os indicadores que compõem o ESI

Além disso, cada indicador é uma somatória de pesos de duas a doze variáveis. Este mesmo processo é utilizado para as 76 variáveis envolvidas.

2.4.4 Pesquisa de Balneabilidade

A pesquisa de balneabilidade é um trabalho realizado sistematicamente pela Fatma (Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina) desde 1976, seguindo as normas da Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Ele começa com a coleta de amostras da água do mar em mais de 180 pontos dos 500 quilômetros da costa catarinense. A Fatma seleciona esses pontos de tal forma que todo o litoral seja avaliado, concentrando as coletas justamente nos locais mais suscetíveis de poluição – os de maior fluxo de banhistas. As coletas são feitas mensalmente de março a novembro e semanalmente de dezembro a fevereiro - o pico da temporada.

Os técnicos fazem as coletas da água do mar a 1 (um) metro de profundidade, na quantidade de 250 mililitros em cada ponto. O material coletado é submetido a exames bacteriológicos durante 24 horas. São necessários 5 (cinco) semanas consecutivas de coleta para se obter um resultado tecnicamente confiável.

O ponto é considerado impróprio para banho quando em 60% dos últimos 5 (cinco) resultados o volume de *Escherichia coli* (presente nas fezes de animais de sangue quente, incluindo o homem) – for superior a 800 NMP (Número Mais Provável) por 100 mililitros de água, nas amostras coletadas ou quando, na última amostra, o valor obtido for superior a 2.000 NMP (Número Mais Provável) por 100 mililitros de água. Quando o resultado obtido é impróprio, indica que há risco de contaminação no local, e não necessariamente a contaminação. (Fatma, 2005).

2.4.5 Índice de qualidade de aterros de resíduos - IQR

O índice da qualidade de aterros de resíduos – IQR, é o índice definido e utilizado pela CETESB desde 1997 para avaliar a qualidade das instalações de destinação de resíduos sólidos domiciliares em operação no Estado de São Paulo. A avaliação é feita através do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares.

O índice é composto por uma série de itens com informações sobre as principais características locais, estruturais e operacionais de cada instalação.

Em função dos valores de IQR, as instalações são enquadradas como inadequadas, controladas e adequadas, conforme mostra o quadro 2.4.

Quadro 2.4 – Enquadramento das instalações de destinação final em função dos valores de IQR

<i>IQR</i>	<i>Enquadramento</i>
$0,0 \leq IQR \leq 6,0$	Condições Inadequadas
$6,0 \leq IQR \leq 8,0$	Condições Controladas
$8,0 \leq IQR \leq 10,0$	Condições Adequadas

FONTE: IPT/CEMPRE, 2000.

A utilização de um índice abrangente, devidamente fundamentado, que leva em consideração as condições encontradas nos aterros dos municípios, possibilita efetuar uma

avaliação padronizada das condições ambientais, diminuindo a subjetividade na análise dos dados e possibilitando a comparação entre as instalações. No entanto, cabe observar que, devido ao dinamismo operacional das instalações e à variação das condições climáticas a que ficam expostas, não é raro encontrar situações distintas nas avaliações, mesmo em inspeções realizadas em datas próximas (FERREIRA 2003).

a) Estrutura do índice

O IQR é dividido em três itens: características do local, infra-estrutura instalada e condições operacionais. Cada item é dividido em sub-item, ao qual é dada uma avaliação e um peso (ponderação) que resulta em uma nota. O quadro 2.5 apresenta a estrutura do IQR, incluindo itens, sub-itens, avaliação e peso.

QUADRO 2.5 – ESTRUTURA DO ÍNDICE DE AVALIAÇÃO DE ATERROS DE RESÍDUOS – IQR

<i>Item</i>	<i>sub-item</i>	<i>Avaliação</i>	<i>Peso</i>
C A R A C T E R I S T I C A S D O L O C A L	CAPACIDADE DE SUPORTE DO SOLO	ADEQUADA	5
		INADEQUADA	0
	PROXIMIDADE DE NÚCLEOS HABITACIONAIS	LONGE > 500m	5
		PRÓXIMO	0
	PROXIMIDADE DE CORPOS DE ÁGUA	LONGE > 200m	3
		PRÓXIMO	0
	PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO	MAIOR DE 3m	4
		DE 1 A 3m	2
		DE 0 A 1m	0
	PERMEABILIDADE DO SOLO	BAIXA	5
		MÉDIA	2
		ALTA	0
	DISPONIBILIDADE DO MATERIAL PARA RECOBRIMENTO	SUFICIENTE	4
		INSUFICIENTE	2
		NENHUMA	0
	QUALIDADE DO MATERIAL PARA RECOBRIMENTO	BOA	2
		RUIM	0
	CONDIÇÕES DE SISTEMA VIÁRIO, TRÂNSITO E ACESSO	BOAS	3
		REGULARES	2
		RUINS	0
ISOLAMENTO VISUAL DA VIZINHANÇA	BOM	4	
	RUIM	0	
LEGALIDADE DE LOCALIZAÇÃO	LOCAL PERMITIDO	5	
	LOCAL PROIBIDO	0	
SUBTOTAL MÁXIMO			40

Continuação

<i>Item</i>	<i>Sub-item</i>	<i>Avaliação</i>	<i>Peso</i>
INFRA-ESTRUTURA IMPLANTADA	CERCAMENTO DA ÁREA	SIM	2
		NÃO	0
	PORTARIA/GUARITA	SIM	2
		NÃO	0
	IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE DO ATERRO	SIM / DESNECESSÁRIA	5
		NÃO	0
	DRENAGEM DE CHORUME	SUFICIENTE	5
		INSUFICIENTE	1
		INEXISTENTE	0
	DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS DEFINITIVAS	SUFICIENTE	4
		INSUFICIENTE	2
		INEXISTENTE	0
	DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS PROVISÓRIA	SUFICIENTE	2
		INSUFICIENTE	1
		NENHUMA	0
	TRATOR DE ESTEIRAS OU COMPATÍVEL	PERMANENTE	5
		PERIÓDICAMENTE	2
		INEXISTENTE	0
	OUTROS EQUIPAMENTOS	SIM	1
		NÃO	0
	SISTEMA DE TRATAMENTO DE CHORUME	SUFICIENTE	5
		INSUF./INEXISTENTE	0
	ACESSO A FRENTE DE TRABALHO	BOM	3
		RUIM	0
	VIGILANTES	SIM	1
		NÃO	0
	SISTEMA DE DRENAGEM DE GASES	SUFICIENTE	3
		INSUFICIENTE	1
		INEXISTENTE	0
	CONTROLE RECEBIMENTO DE CARGAS	SIM	2
		NÃO	0
	MONITORIZAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	SUFICIENTE	3
INSUFICIENTE		2	
INEXISTENTE		0	
ATENDIMENTO AS ESPECIFICAÇÕES DE PROJETO	SIM	2	
	PARCIAL	1	
	NÃO	0	
SUBTOTAL MÁXIMO			45

Continuação

<i>Item</i>	<i>Sub-item</i>	<i>Avaliação</i>	<i>Peso</i>	
CONDIÇÕES OPERACIONAIS	ASPECTO GERAL	BOA	4	
		RUIM	0	
	OCORRÊNCIA DE LIXO DESCOBERTO	SIM	4	
		NÃO	0	
	RECOBRIMENTO DO LIXO	ADEQUADO	4	
		INADEQUADO	1	
		INEXISTENTE	0	
	PRESENÇA DE URUBUS OU GAIVOTAS	NÃO	1	
		SIM	0	
	PRESENÇA DE MOSCAS EM GRANDE QUANTIDADE	NÃO	2	
		SIM	0	
	PRESENÇA DE CATADORES	NÃO	3	
		SIM	0	
	CRIAÇÃO DE ANIMAIS (PORCOS, BOIS)	NÃO	3	
		SIM	0	
	DESCARGA DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE	NÃO	3	
		SIM	0	
	DESCARGA DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	NÃO / ADEQUADA	4	
		SIM / INADEQUADA	0	
	FUNCIONAMENTO DA DRENAGEM PLUVIAL DEFINITIVA	BOM	2	
		REGULAR	1	
		INEXISTENTE	0	
	FUNCIONAMENTO DA DRENAGEM PLUVIAL PROVISÓRIA	BOM	2	
		REGULAR	1	
		INEXISTENTE	0	
	FUNCIONAMENTO DA DRENAGEM DE CHORUME	BOM	3	
		REGULAR	2	
		INEXISTENTE	0	
	FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE CHORUME	BOM	5	
		REGULAR	2	
		INEXISTENTE	0	
	FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	BOM	2	
		REGULAR	1	
		INEXISTENTE	0	
	EFICIÊNCIA DA EQUIPE DE VIGILÂNCIA	BOM	1	
		RUIM	0	
	MANUTENÇÃO DOS ACESSOS INTERNOS	BOAS	2	
		REGULARES	1	
		PÉSSIMAS	0	
	SUBTOTAL MÁXIMO			45

FONTE: FERREIRA, 2003 – Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – CETESB

Para calcular o IQR após a atribuição das notas, é aplicada a seguinte fórmula:

$$\text{IQR} = \frac{\sum[(\text{SUBT}^1) + (\text{SUBT}^2) + (\text{SUBT}^3)]}{130}$$

Sendo:

- IQR = Índice da qualidade de aterros de resíduos;
- SUBT¹ = subtotal do item características do local;
- SUBT² = subtotal do item infra-estrutura implantada;
- SUBT³ = subtotal do item condições operacionais.

Os sub-itens infra-estrutura implantada e condições operacionais representam 34,62% cada e o sub-item características do local representa 30,76% do total do IQR.

Observa-se que os pesos dos sub-itens vão de 0 até 5, sendo que os de maior importância em sua maioria estão relacionados aos controles ambientais e a localização do empreendimento. Os sub-itens com maiores pesos são: capacidade de suporte do solo, proximidade de núcleos habitacionais, permeabilidade do solo, legalidade de localização, impermeabilização de base do aterro, drenagem de chorume, trator de esteira ou compatível, sistema de tratamento do chorume e funcionamento do sistema de tratamento do chorume.

b) Análise do Índice da Qualidade de Aterros de Resíduos

O IQR utilizado pela CETESB para avaliar a qualidade dos aterros de resíduos, em operação no Estado de São Paulo, é uma importante ferramenta de controle ambiental. Com esta avaliação é possível traçar um panorama da destinação final de resíduos e, a partir deste, estabelecer diretrizes para sanar os problemas mais emergenciais do setor.

A estrutura de avaliação desenvolvida é bastante completa, pois abrange todas as etapas do aterro sanitário, desde as características da área, as estruturas instaladas até os detalhes operacionais. Os critérios utilizados são adequados, pois incluem todas as etapas do

ciclo de vida dos aterros de resíduos.

No entanto, este método de avaliação apresenta algumas restrições, conforme citado a seguir.

- Redundância: em um modelo de avaliação, um mesmo ponto de vista não pode ser considerado duas ou mais vezes (SOARES, 2003). O IQR apresenta como critérios redundantes, por exemplo, a ocorrência de lixo descoberto e recobrimento de lixo, pois se for considerado que o recobrimento do lixo não é adequado, com certeza haverá a ocorrência de lixo descoberto, assim pode-se afirmar que os dois critérios são referentes à mesma situação.
- Subjetividade: este modelo mostra-se um tanto subjetivo, uma vez que a avaliação é feita utilizando-se de resultados como: adequado, inadequado, bom, ruim, etc. Dessa forma, a aplicação do modelo depende muito da experiência do profissional que a está utilizando, além das impressões pessoais deste, o que pode muitas vezes resultar em uma avaliação inadequada.

c) Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares

Além do índice apresentado, a CETESB utiliza ainda o IQR (Valas) para medir a qualidade dos aterros sanitários em valas e o IQC – Índice de qualidade de usinas de compostagem, utilizado para avaliar a qualidade das usinas de compostagem existentes. A análise dos 3 índices resulta no Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares elaborado anualmente pela CETESB.

O modelo de avaliação da CETESB pode ser utilizado como referência para o desenvolvimento de outras metodologias de avaliação de sistemas de disposição final em todo o Brasil, consideradas as peculiaridades de cada região, bem como corrigidos os aspectos considerados falhos ou imprecisos.

Dessa forma, com base nas principais características (estruturais) dos aterros sanitários, nas exigências legais e normas técnicas aplicáveis a estes sistemas e nos exemplos de indicadores de qualidade ambiental e desempenho apresentados, pode-se estruturar um procedimento para avaliação do desempenho de aterros de resíduos, tendo-se como resultado a pontuação dos aterros avaliados em forma de indicadores.

Como a Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina pretende avaliar a qualidade dos aterros de resíduos em operação, este procedimento de avaliação a ser desenvolvido, poderá ser utilizado, considerando a situação dos resíduos sólidos no Estado, conforme apresentado no capítulo seguinte.

3. SITUAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM SANTA CATARINA

A gestão dos resíduos sólidos urbanos em Santa Catarina tem passado nos últimos quatro anos por uma verdadeira revolução. No final do ano 2000, o Ministério Público Estadual, ao definir as suas políticas e prioridades para o ano 2001 na área de meio ambiente, considerou a necessidade urgente de um programa especial de recuperação das áreas degradadas pela disposição irregular de resíduos sólidos urbanos no Estado, pois de acordo com o Ministério Público Estadual, em Maio de 2001, somente 37 Municípios depositavam os resíduos sólidos de forma adequada, ou seja, 87,37% dos Municípios Catarinenses depositavam os resíduos sólidos urbanos de forma inadequada.

Assim, em 2001, o Ministério Público Estadual, através da Coordenadoria de Defesa do Meio Ambiente, implantou o Programa Lixo Nosso de Cada Dia, que tem como objetivo principal dar destinação adequada aos resíduos sólidos domiciliares gerados nos 293 municípios catarinenses. Neste sentido, os Promotores de Justiça das Comarcas instauraram procedimentos administrativos que resultaram na assinatura de 193 termos de compromisso de ajustamento de conduta, nos quais os Prefeitos comprometeram-se a regularizar a situação do lixo urbano, recuperar áreas degradadas onde havia lixões a céu aberto e implementar ações de conscientização ambiental junto à população.

Hoje, passados quase quatro anos, o Estado de Santa Catarina encontra-se em uma situação privilegiada com relação ao restante do Brasil, pois atualmente 279 municípios catarinenses dão destinação adequada aos resíduos sólidos, o que equivale a 95,22% dos municípios, conforme demonstra a figura 3.1.

Além disso, são significativos os resultados secundários do Programa, quais sejam: a divulgação das questões relacionadas com os resíduos sólidos na mídia, trazendo para o cotidiano das pessoas problemas e conceitos até então pouco conhecidos; a formação de consórcios Intermunicipais e a criação de empresas especializadas no ramo de resíduos sólidos.

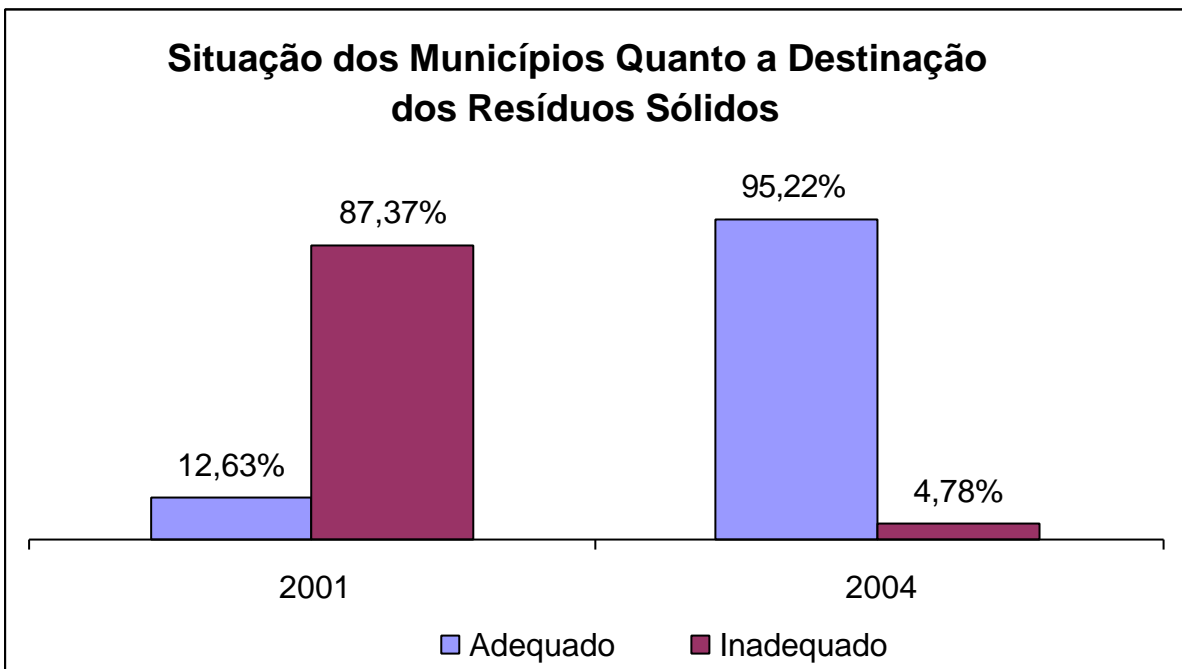


Figura 3.1 – Situação dos municípios quanto a destinação dos resíduos sólidos

FONTE: Ministério Público Estadual (Dezembro 2004) e IBGE (2002).

NOTA: Dados trabalhados pelo autor.

3.1 Estimativa das quantidades de resíduos gerados

Considerando-se que os dados repassados pela FATMA e Ministério Público, com relação à destinação de resíduos sólidos urbanos em Santa Catarina, dizem respeito ao número de instalações e municípios que as utilizam, para se ter uma noção do que estes números representam no universo geral da situação do Estado, foi feita uma estimativa do total gerado por município.

As quantidades de resíduos geradas nos municípios foram calculadas considerando-se a população urbana de cada cidade e os índices de produção de resíduos por habitante. Como referência oficial do número de habitantes, foi adotado o censo demográfico do IBGE 2000, publicado em 2002 e atualizado através de estimativa em 2003. Para estimar a quantidade de resíduos dispostos foram adotados os índices de produção por habitante apresentados no quadro 3.1. Nos municípios com usina de triagem e ou compostagem em operação, foi considerada uma eficiência de 50 % conforme sugere IPT/CEMPRE (2000), na redução dos resíduos dispostos no aterro sanitário. Os dados foram atualizados junto ao MPSC até outubro de 2004.

Quadro 3.1 – Índice de produção de resíduos domiciliares por habitante

<i>População (mil habitantes)</i>	<i>Produção (kg/hab.dia)</i>
Até 100	0,40
100 a 200	0,50
200 a 500	0,60

FONTE: FERREIRA, 2003 – Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares – CETESB

Convém salientar que, para os municípios onde são efetuadas pesagens periódicas das quantidades de lixo gerado, podem haver diferenças significativas. Estas diferenças são atribuídas às variações naturais de produção, que decorrem de diversos fatores, tais como, tipo de atividade produtiva predominante no município, nível sócio-econômico, sazonalidade, nível cultural da população e a existência ou não de programas de coleta seletiva e de conscientização voltadas à redução da geração de resíduos (FERREIRA, 2003).

Além disso, os índices utilizados para apurar a quantidade gerada consideram apenas os resíduos de origem domiciliar, ou seja, aqueles gerados nas residências e no pequeno comércio, não sendo computados os resíduos produzidos em indústrias, na limpeza de vias públicas, podas de árvores e vegetação, limpeza de córregos e outros que, freqüentemente, são enviados para os aterros sob a classificação única de resíduos sólidos urbanos. Assim, o diagnóstico dos resíduos sólidos no Estado de Santa Catarina deve ser utilizado muito mais como instrumento de acompanhamento das condições de disposição final dos resíduos sólidos domiciliares, do que como fonte de informações sobre as quantidades geradas pelos municípios.

3.2 Resultados do “Programa Lixo Nosso de Cada Dia”

Após quase quatro anos do Programa Lixo Nosso de Cada Dia pode-se afirmar que os resultados obtidos foram surpreendentes, atualmente 95,22% dos municípios Catarinenses dão destinação adequada para os resíduos gerados. Destes, 271 são em aterros sanitários, 51 em usinas de triagem/compostagem e 8 em aterros controlados, no caso dos municípios que utilizam usinas de triagem/compostagem o rejeito é levado para um aterro sanitário e estão

incluídos entre os 271. Segundo a Fatma (dezembro, 2004) Somente 14 municípios (Bom Jardim da Serra, Calmon, Correia Pinto, Criciúma, Forquilha, Içara, Lages, Meleiro, Monte Castelo, Nova Veneza, Rio do Sul, São Joaquim e Timbé do Sul) ainda depositam os resíduos em lixões.

Estima-se que o Estado de Santa Catarina gere diariamente 2.092 toneladas de resíduos domésticos, destes 1.634 toneladas são depositadas em aterros sanitários, 52 toneladas em usinas de compostagem/triagem, 120 toneladas em aterro controlados e somente 224 toneladas são dispostos de forma inadequada, ou seja, 10,71% dos resíduos gerados em Santa Catarina ainda são dispostos em lixões. Observa-se que, considerando-se o volume de resíduos gerado, tem-se um resultado pior do que considerando-se o número de municípios, isso ocorre porque entre os 14 municípios inadequados, dois (Lages e Criciúma) estão entre os 10 mais populosos do Estado.

A figura 3.2, apresentada a seguir, demonstra a situação dos resíduos sólidos em Santa Catarina.

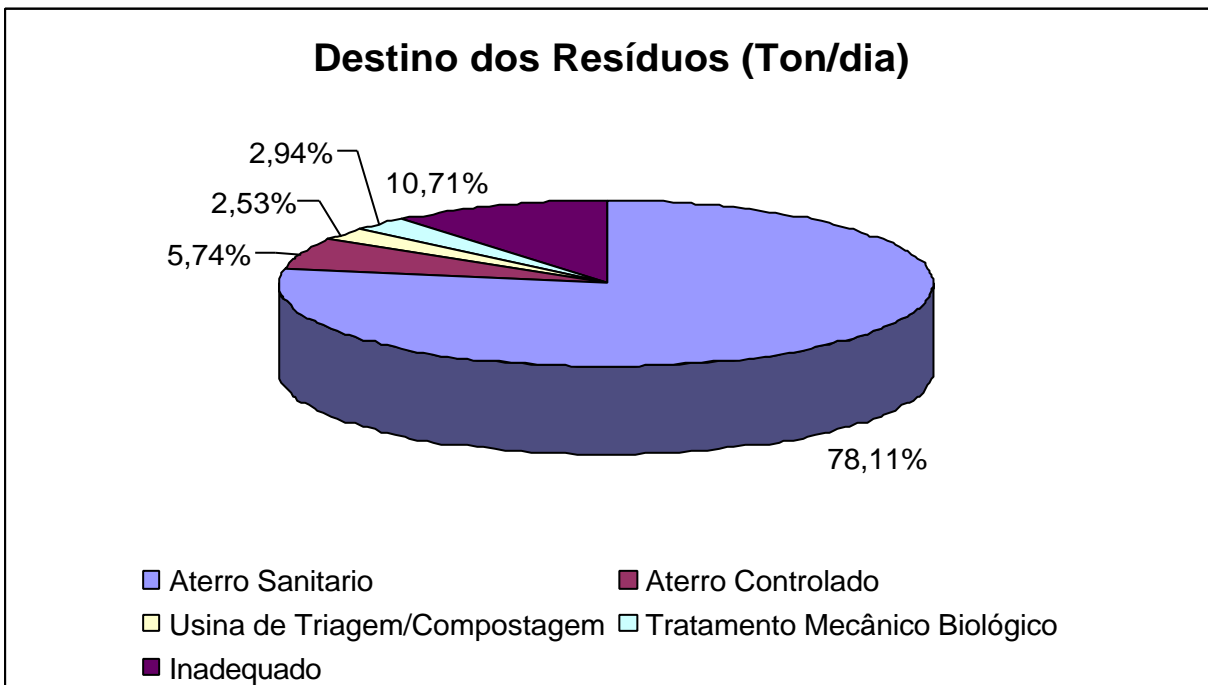


Figura 3.2 – Destinação dos resíduos sólidos urbanos coletados em Santa Catarina

FONTE: Ministério Público Estadual (Dezembro 2004) e IBGE (2002).

NOTA: Dados trabalhados pelo autor.

O tratamento Mecânico Biológico, citado na figura 3.2, é realizado no município de Blumenau e consiste na homogeneização dos resíduos através da ruptura e mistura dos sacos, estabilização química e biológica da matéria orgânica, realizado em leiras, semelhantes as de compostagem e encaminhamento do material estabilizado para um aterro sanitário. Neste caso os 2,94% representam a quantidade de resíduo que deixa de ir para o aterro sanitário.

3.2.1 Consórcios intermunicipais

O consórcio caracteriza-se como um acordo entre municípios com objetivo de alcançar metas comuns previamente estabelecidas. Para tanto, recursos – sejam humanos ou financeiros – dos municípios integrantes são reunidos sob a forma de um consórcio, a fim de viabilizar a implantação de ação, programa ou projeto desejado (IBAM 2001).

Em Santa Catarina, a partir na implementação do Programa Lixo Nosso de Cada Dia, muitos municípios optaram por unir-se em consórcios. Assim, foram criados 12 consórcios municipais, com o objetivo de dar destino adequado aos resíduos sólidos produzidos nos municípios integrantes.

Atualmente integram-se em consórcio 63 municípios catarinenses, o que equivale a 21,5% do total de municípios. Atendendo a uma população urbana de 524.007 habitantes (IBGE 2000), que representa 12% da população urbana do Estado de Santa Catarina.

O quadro 3.2 apresenta os consórcios formados, com os municípios integrantes e população atendida.

Quadro 3.2 – Consórcios municipais e população atendida

<i>Consórcio</i>	<i>Municípios integrantes</i>	<i>População Urbana</i>
Consórcio Entre Rios	<ul style="list-style-type: none"> • Agrolândia • Agronômica • Braço do Trombudo • Laurentino • Mirim Doce • Pouso Redondo • Rio do Oeste • Trombudo Central 	23.640
Consórcio Nascentes	<ul style="list-style-type: none"> • Alfredo Wagner • Bom Jardim da Serra • Bom Retiro • Rio Rufino • São Joaquim • Urubici • Urupema 	34.396
Consórcio Intermunicipal do Médio Vale	<ul style="list-style-type: none"> • Apiuna • Acurra • Benedito Novo • Doutor Pedrinho • Indaial • Pomerode • Rio dos Cedros • Rodeio • Timbó 	112.681
Consórcio Intermunicipal do Contestado – COINCO	<ul style="list-style-type: none"> • Brunópolis • Curitibaanos • Frei Rogério • Ponte Alta • Ponte Alta do Norte • São Cristovão do Sul 	42.533
Consórcio AMOSC	<ul style="list-style-type: none"> • Águas de Chapecó • Guatambu • Planalto Alegre 	3.922
Consórcio Intermunicipal de Processamento de Lixo – CIPLI	<ul style="list-style-type: none"> • Braço do Norte • Grão Pará • Rio Fortuna • Santa Rosa de Lima • São Ludgero 	28.160
Consórcio CIPLU	<ul style="list-style-type: none"> • Capivari de Baixo • Gravatal • Laguna • Tubarão 	128.461
Consórcio Rio do Peixe	<ul style="list-style-type: none"> • Erval Velho • Herval D' oeste • Joaçaba • Luzerna 	44.895
Consórcio CIRSURES	<ul style="list-style-type: none"> • Cocal do Sul • Lauro Muller • Morro da Fumaça • Orleans • Treviso • Urussanga 	57.493

<i>Consórcio</i>	<i>Municípios integrantes</i>	<i>População Urbana</i>
Consórcio São Miguel	<ul style="list-style-type: none"> • Ibirama • José Boiteux • Lontras • Presidente Nereu 	20.650
Consórcio Guarujá do Sul	<ul style="list-style-type: none"> • Guarujá do Sul • Princesa • São José do Cedro 	9.491
Consórcio Bem Te Vi I	<ul style="list-style-type: none"> • Irineópolis • Major Vieira • Monte Castelo • Papanduva 	17.685

FONTE: Ministério Público Estadual (Maio 2004) e IBGE (2002).

NOTA: Dados trabalhados pelo autor.

Em número de municípios participantes, o maior consórcio é o Consórcio Intermunicipal do Médio Vale, já em população, o maior é o CIPLU, com 128.461 habitantes atendidos e o menor é o Consórcio AMOSC.

A maioria dos Consórcios optou por construir aterros regionais, como é o caso dos Consórcios São Miguel, CIRSURES e o Consórcio Intermunicipal do Médio Vale. Alguns optaram por dispor seus resíduos em aterros sanitários particulares, como é o caso do Consórcio Rio do Peixe.

Um dos fatores mais importantes na implementação de consórcios no Estado de Santa Catarina foi a valorização dos resíduos sólidos, através da reciclagem e a compostagem, pois 51 municípios (consorciados e não consorciados) implantaram Usinas de Triagem de resíduos sólidos, diminuindo consideravelmente as quantidades de resíduos dispostos nos aterros sanitários.

As Usinas de Triagem são usada para separação dos materiais recicláveis do lixo provenientes da coleta e transporte usual. Conjuntamente com a Usina de Triagem, é comum existir a compostagem da fração orgânica do lixo, uma vez que esta última requer uma separação prévia. A instalação de uma Usina de Triagem, sem a compostagem da fração orgânica do lixo, pode ser um processo oneroso e sem grande retorno do ponto de vista ambiental (IPT/CEMPRE 2000). As Usinas de Triagem/compostagem oferecem uma maneira de reduzir sensivelmente a quantidade de resíduos enviados ao aterro, atingindo taxas de 50%, quando bem gerenciadas (IPT/CEMPRE 2000).

Estima-se que os 63 municípios consorciados gerem juntos aproximadamente 217 toneladas de resíduos por dia, destes 86,30% são dispostos em aterros sanitários, 9,01% são dispostos em usinas de triagem/compostagem e 4,69% tem disposição inadequada. Estes números comprovam que a formação de consórcios intermunicipais é bastante positiva, uma vez que, comparando-se os resultados dos consórcios com o restante do Estado, tem-se, por exemplo, que a quantidade de resíduos dispostos em usinas de compostagem nos municípios consorciados (9,01%) é quase 4 vezes maior do que se consideramos todos os municípios do Estado, que é de 2,53%, além disso somente 4,69% dos municípios consorciados ainda estão inadequados, contra 10,71% considerando todo o Estado.

A figura 3.3 apresenta o destino dos resíduos sólidos urbanos nos municípios consorciados.

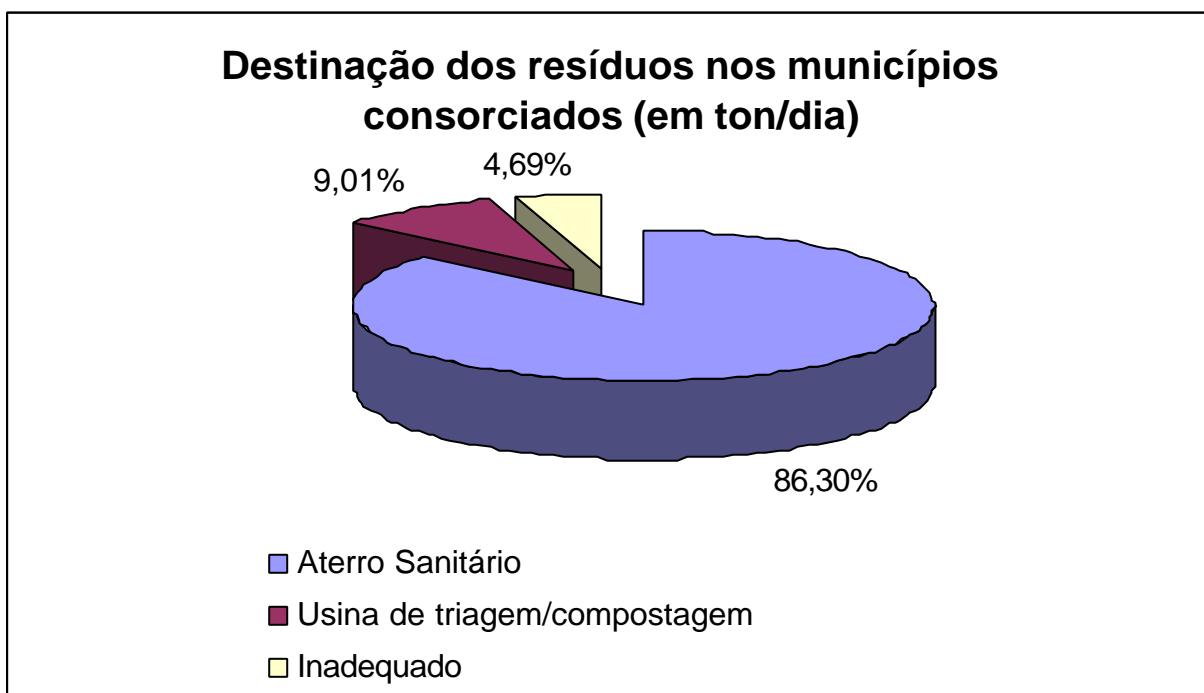


Figura 3.3 – Destinação dos resíduos sólidos urbanos nos municípios consorciados

FONTE: Ministério Público Estadual (Dezembro 2004) e IBGE (2002).

NOTA: Dados trabalhados pelo autor.

3.2.2 Empresas privadas

Com as mudanças ocorridas nos últimos anos no Estado, com relação aos resíduos sólidos urbanos, surgiram muitas empresas privadas especializadas. Atualmente, estão em

operação 22 empresas, que dão destino final aos resíduos de 218 municípios, o que equivale a 74,40 % do total de municípios catarinenses, atendendo a uma população urbana de 3.328.309 habitantes, representando 74,81 % da população total do Estado, ou 72,85% do volume total de resíduos gerados diariamente. Se considerarmos a quantidade de resíduos destinada a aterros sanitários, as empresas privadas representam 77,01% deste total.

O quadro 3.3 apresenta as empresas privadas em operação, com o número de municípios e a população urbana atendida.

Quadro 3.3 – Empresas privadas, municípios e população atendida

<i>Empresa</i>	<i>Número de Municípios Atendidos</i>	<i>População Urbana Atendida</i>
Proactiva	27	835.088
RECICLE – Catarinense de Resíduos Ltda.	27	675.964
Engepasa Ambiental Ltda.	3	679.719
Serrana Engenharia Ltda.	17	228.702
Seluma	7	189.755
Tucano Obras e Serviços Ltda.	34	161.267
Escavater Terraplenagem Ltda.	1	144.619
ESA – Engenharia Sanitária e Ambiental Ltda.	7	102.569
Nei Coleta Ltda.	18	69.098
Continental	20	60.509
Cri-Coleta	14	56.703
Outros	19	48.371
TOTAL	218	3.328.309

FONTE: Ministério Público Estadual (Outubro 2004) e IBGE (2002).

NOTA: Dados trabalhados pelo autor.

A terceirização da destinação final dos resíduos sólidos é um fator positivo, pois é reconhecida a dificuldade que os municípios (principalmente os pequenos) têm para administrar e operar aterros sanitários, seja por dificuldades técnicas ou orçamentárias, além

disso, o Órgão de Controle Ambiental tem mais facilidade para fiscalizar a qualidade dos empreendimentos. E em uma última análise, a terceirização dos serviços de destinação final de resíduos sólidos estimula a implementação de coleta seletiva nos municípios, pois diminui consideravelmente a quantidade de resíduos dispostos nos aterros sanitários.

As empresas privadas são responsáveis pelos maiores aterros de resíduos em operação, o quadro 3.4 apresenta os 10 maiores do Estado.

Quadro 3.4 – Os 10 maiores aterros de resíduos em operação

<i>Aterro de Resíduos</i>	<i>Localização</i>	<i>Titularidade</i>	<i>Resíduos (ton./dia)</i>
Proactiva	Biguaçu	Privado	431
Aterro de Joinville	Joinville	Concessão	268
RECICLE – Catarinense de Resíduos Ltda.	Brusque	Privado	264
Aterro Controlado de Itajaí	Itajaí	Concessão	109
Serrana Engenharia Ltda.	Laguna	Privado	83
SELUMA	Mafra	Privado	76
Aterro Sanitário de Chapecó	Chapecó	Concessão	72
Tucano Obras e Serviços Ltda.	Saudade	Privado	46
Aterro Sanitário de Timbó	Timbó	Público	39
Blumeterra	Otacílio Costa	Privado	23

FONTE: Ministério Público Estadual (Outubro 2004).

NOTA: Dados trabalhados pelo autor. O valores são médios, não estado incluída a Sazonalidade.

Observa-se que o único aterro municipal entre os 10 maiores é o de Timbó, que recebe os resíduos dos 9 municípios do Consórcio Intermunicipal do Médio Vale. Os 10 maiores aterros sanitários em operação recebem 1.411 toneladas de resíduos por dia, o que equívale a 86,35% de todos os resíduos sólidos dispostos diariamente em aterros sanitários no Estado de Santa Catarina, ou 67,45 % do total gerado.

Pode-se concluir, portanto, que o “Programa Lixo Nosso de Cada Dia” desencadeou um processo de renovação no panorama da destinação final de resíduos sólidos

urbanos em Santa Catarina. A criação de Consórcios Municipais, o crescimento de empresas privadas e surgimento de novas empresas do ramo de Engenharia Ambiental, assim como a disseminação de conhecimento do assunto entre a população, são alguns dos principais resultados deste programa, mas destaca-se, sobretudo, a situação privilegiada do Estado com relação ao restante do país. No entanto, para que esta situação possa perdurar, com vistas, inclusive, à melhoria contínua do processo, é importante a instauração de uma forma de avaliação destes sistemas implantados, para que a qualidade e não apenas a estatística continue sendo positiva.

Dessa forma, para que tais sistemas possam ser avaliados com relação às suas características de área onde são instalados, infra-estrutura existente e forma de operação, são descritos, no capítulo seguinte, os principais critérios a ser utilizados nesta avaliação.

4. DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ATERROS DE RESÍDUOS

Um critério pode ser definido como 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 (LUPATINI 2002, citando MAYSTRE, PICTET e SIMOS, 1994).

Os valores dos critérios podem ser expressos basicamente em escalas ordinais e cardinais. A escala ordinal é caracterizada por permitir apenas a aplicação das relações: maior que ($>$), menor que ($<$) ou igual a ($=$) sobre seu valor. As classificações, escores, rankings, notas escolares, são exemplos de escalas ordinais, mesmo que sejam expressas através de números.

A escala cardinal é caracterizada por permitir a aplicação das quatro operações aritméticas básicas ($+$, $-$, \times , \div) sobre seus valores. Os critérios expressos $R\$ \times m^{-2}$, $t \times km \times ano^{-1}$, número de habitantes atingidos, são exemplos da utilização de escalas cardinais em critérios.

De acordo com MAYSTRE e BOLLINGER (1999) a construção de uma família coerente de critérios, caracteriza-se por ser uma tarefa longa com sucessivas aproximações, entre os objetivos desejados e a possibilidade de atendimento com os recursos financeiros, tempo e conhecimento disponíveis. Neste sentido, a construção de uma família coerente de critérios exige que sejam respeitados três princípios:

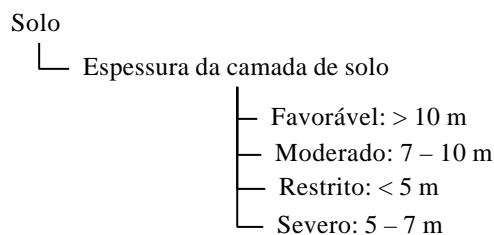
- Exaustividade: todos os pontos de vista devem ser levados em consideração;
- Não redundância: o mesmo ponto de vista não deve ser considerado duas ou mais vezes;
- Coerência: entre a preferência local (por apenas um critério) e a preferência global (por todos os critérios). Se a avaliação de uma ação A é igual a avaliação de B sobre todos os

critérios com exceção de apenas um critério (cuja a avaliação de A é melhor que B), então pode-se afirmar que a ação A é preferida em relação a ação B.

Diversos autores já apresentaram critérios relativos à disposição final de resíduos sólidos, no entanto, a maioria dos trabalhos está associada a critérios para escolha de áreas para a implementação de aterros sanitários. Na pesquisa bibliográfica realizada para este trabalho, constatou-se que somente o IQR da CETESB, descrito no capítulo 2, apresenta critérios para a avaliação da qualidade de aterros sanitários.

São descritos a seguir três trabalhos que apresentam critérios para a seleção de áreas para implantação de aterros sanitários.

TEIXEIRA, et. al. (2003), em seu trabalho intitulado “critérios geotécnicos para a seleção de áreas aptas para aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos – metodologia aplicada ao caso de Londrina, estruturou os critérios de avaliação de potenciais áreas para implementação de aterros sanitários em três grupos de indicadores: solo, substrato rochoso e relevo. Para o indicador solo são apresentados os seguintes critérios: permeabilidade, composição (textura), declividade, capacidade de troca catiônica, disponibilidade de material de empréstimo nas adjacências, espessura da camada de solo, estabilidade dos maciços, suscetibilidade a processos de dinâmica superficial, capacidade de carga, capacidade de compactação e profundidade do lençol freático. Para o indicador substrato rochoso é apresentado somente um critério que é o descontinuidade, assim como relevo que apresenta somente o critério de forma de relevo, além disso para cada critério foram indicados respectivos níveis de classificação, por exemplo:



Cada nível recebeu uma pontuação variando de 0 a 10, de acordo com a sua maior importância à implantação de aterro sanitário. As maiores pontuações indicam a maior adequação da área. Associados a esta pontuação, foram adotados pesos para cada um dos critérios, denominados de coeficientes de importância (CI).

Quando se aplica a matriz (nível, pontos e CI) aos resultados obtidos em campo, é possível definir uma hierarquização das áreas selecionadas.

Cabe ressaltar, no entanto, que mesmo que o resultado obtido seja numérico, o mesmo é baseado em uma avaliação subjetiva, pois muitos dos níveis são classificados subjetivamente, por exemplo, para o critério estabilidade dos maciços indica-se: alta, média, baixa e instável, o que torna o método subjetivo.

Já LUPATINI (2002), dividiu os critérios para avaliação das áreas potenciais para implementação de aterros sanitários em três grupos: critérios ambientais, critérios de engenharia e critérios econômicos. Cada critério foi estruturado segundo um ou mais parâmetros de avaliação. O quadro 4.1 exemplifica a estrutura proposta pelo autor.

Quadro 4.1 – Exemplo da estrutura de avaliação

<i>Objetivos Específicos</i>	<i>Critério</i>	<i>Parâmetro de avaliação locacional</i>
Preservação dos recursos hídricos subterrâneos	Vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos	Profundidade do lençol freático Permeabilidade do solo Espessura do solo Declividade do local Capacidade de troca catiônica do solo

FONTE: LUPATINI 2002.

Além disso, segundo o mesmo autor, os parâmetros informados pelo usuário (aplicador do modelo) são compostos de dados quantitativos mensurados em escala cardinal (ex: metros) e dados qualitativos mensurados em escala ordinal (ex: parcialmente visível). Para fins de avaliação, cada parâmetro é associado a uma pontuação (numa escala de 1,00 a 5,00) de acordo com a performance do critério correspondente, através da aplicação de um procedimento de interpolação ou pela pontuação direta das classes do parâmetros (ex: existente = 1, inexistente = 5). Esta transformação, permitiu a uniformização de escalas.

O valor numérico do critério, por sua vez, é obtido através da aplicação da média ponderada como procedimentos de agregação total sobre as pontuações dos parâmetros. Para cada critério foi atribuído um peso de acordo com sua importância na estruturação dos critérios.

Observa-se, portanto, que no modelo proposto por LUPATINI (2002), os resultados obtidos são mais precisos, uma vez que se baseiam em dados quantitativos e dados qualitativos mensuráveis.

FIÚZA (1997) propõe uma matriz interativa para a avaliação de alternativas locais para a implantação de aterros sanitários. Tal matriz é dividida em 5 grandes grupos: Saúde Pública e Segurança, Ambiente Natural, Ambiente Social, Ambiente Cultural e Custo. Em seguida, os grupos são subdivididos segundo vários impactos atribuídos, conforme demonstra o quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Grupos prioritários com os principais impactos correspondentes

<i>Grupo</i>	<i>Impacto</i>
Saúde e Segurança	<ul style="list-style-type: none"> • Controle de Zoonoses • Tráfego • Poluição dos mananciais de superfície • Poluição da água subterrânea • Risco com aeronaves
Ambiente Natural	<ul style="list-style-type: none"> • Poluição da água superficial sob biota • Desmatamento • Assoreamento dos corpos d'água • Processos erosivos • Alteração nos padrões de drenagem • Afugentamento da fauna
Ambiente Social	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilidade psicossocial • Odor • Poeira • Ruído • Impacto visual • Incompatibilidade de uso • Melhoria de renda
Ambiente Cultural	<ul style="list-style-type: none"> • Modificação dos Padrões culturais • Arqueologia
Custos	<ul style="list-style-type: none"> • Custo

FONTE: FIÚZA (1997).

Além disso são atribuídos pesos a cada um dos grupos, Saúde Pública e Segurança (33,4), ambiente natural (20,4), Ambiente Social (15,5), Ambiente Cultural (15,4) e custos (15,3).

Diferente dos dois modelos anteriores, a aplicação da matriz proposta por Fiúza é mais voltada para a elaboração de Estudos de Impacto Ambiental, pois depende do conhecimento de especialistas das diversas áreas envolvidas (sociologia, biologia, geotecnia, etc.), ou seja, é necessária uma avaliação dos impactos para se definir qual a melhor área para a implantação do aterro sanitário.

Baseados nos estudos realizados, são apresentados a seguir os critérios propostos para a avaliação de desempenho de aterros de resíduos.

4.1 Definição dos critérios para avaliação

Um aterro sanitário é formado por um conjunto de estruturas específicas, as quais podem ser sintetizadas de maneira a agregar os conhecimentos necessários à avaliação de sua qualidade.

Na definição dos critérios de avaliação optou-se por dividi-los em três grupos, conforme ilustrado na figura 4.1. Esta definição ocorreu a partir da análise de modelos de avaliação de sistemas de disposição final existentes, consultas ao Órgão de Controle Ambiental, pesquisas bibliográficas, legislação ambiental e normas técnicas.

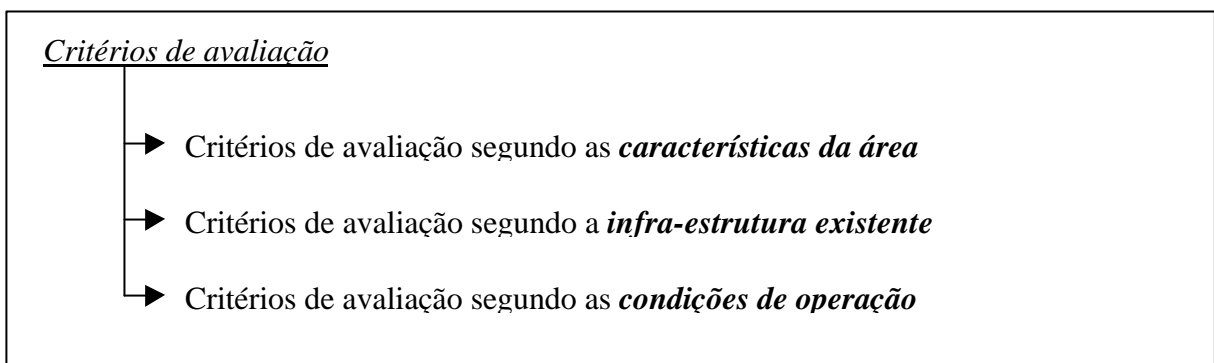


Figura 4.1 – Grupos de critérios de avaliação

Na seqüência são apresentados os critérios de avaliação, de acordo com a estrutura proposta. Os critérios são descritos e, ao final de cada um é apresentado um quadro com os parâmetros de avaliação e a respectiva nota.

4.1.1 Critérios de avaliação segundo as características da área

As características da área onde se instala um aterro sanitário são, normalmente, avaliadas com rigor durante a fase de escolha da mesma, no entanto, uma vez, estas características influenciam permanentemente na sua operação e controle ambiental.

Dessa forma, são características essenciais da área do aterro, as relacionadas com tipo de solo, localização (com relação a corpos hídricos e núcleos populacionais), facilidade de acesso e disponibilidade de material de cobertura.

Capacidade de suporte do solo

A capacidade de suporte do solo está associada à resistência do solo quanto submetido a forças externas. Sendo considerado ainda os recalques ocasionados quando o aterro for construído sobre solos compressíveis.

Segundo ROCCA (1993), existem dois tipos normais de recalque. O primeiro é o recalque por adensamento, onde o índice de vazios se altera e ocorre uma variação de volume. O segundo é o imediato, que ocorre sem variação do índice de vazios, isto é, a volume constante, sendo típico das areias e de carregamentos rápidos das camadas de argila, processando-se logo após a aplicação da carga.

Os aterros em sua maioria são construídos sobre solos finos saturados. Essa condição, quando submetidas a pressões, a camada do solo estaria sujeita a um recalque devido à existência de ar e água nos poros. Na medida em que esse recalque se desenvolve, o ar vai se comprimindo e os poros diminuem, sendo a pressão transferida para o líquido. Ocorre então o recalque por adensamento, até que a pressão neutra se estabiliza.

Quando o subsolo não é homogêneo e as estruturas são extensas, podem ocorrer recalques com diferentes intensidades em vários pontos da estrutura. São os recalques diferenciais e podem levar as estruturas à ruína, causando trincas e rachaduras, podendo ainda ocorrer ruptura da camada de impermeabilização de base, aumentando os riscos de contaminação das águas subterrâneas.

Uma forma de se investigar a resistência do solo é através da execução de furos de sondagem, que consiste em introduzir um tubo no terreno, mediante golpes de uma massa, com peso e altura de queda constante. Este método tem duas funções: colher amostras e medir a resistência a penetração. No standard penetration test (SPT), o mais amplamente usado, o “barrilete amostrado”, com 2” e 13/8” de diâmetro externo e interno, respectivamente, é fixado na extremidade das hastes de cravação sendo cravado 45 cm no solo. A cravação é feita por um peso de 65 kg, com 75 cm de altura de queda. Primeiramente são feitas penetrações de 15 cm e, em seguida, registra-se o número N de golpes aplicados para cravar os outros 30 cm, anotando-se separadamente cada 15 cm (CAPUTO, 1988). O número de golpes define a resistência do solo à penetração. O quadro 4.1 apresenta a avaliação dos parâmetros de resistência em função do SPT.

Quadro 4.3 – Avaliação do parâmetros de resistência em função do SPT

<i>Solo – Argila</i>	<i>N.º de Golpes N</i>	<i>Índice de Consistência (IC)</i>	<i>Coesão não Drenada c_u (kg/cm²)</i>
Muito Mole	≤ 2	0	$< 0,1$
Mole	2 – 4	0 – 0,25	0,1 – 0,25
Média	4 – 8	0,25 – 0,5	0,25 – 0,5
Rija	8 – 15	0,5 – 0,75	0,5 – 1,0
Muito Rija	15 – 30	0,75 – 1,0	1,0 – 2,0
Dura	≥ 30	$> 1,0$	$> 2,0$

FONTE: CAPUTO, 1988 – Mecânica dos solos e suas aplicações.

NOTA: c_u (kg/cm²) = resistência do solo.

A avaliação deste critério é feita através da relação entre a pressão que um aterro

sanitário exerce sobre o solo e a consistência (resistência) de cada tipo de solo (muito mole, mole, média, rija, muito rija e dura).

A estimativa de pressão que o aterro sanitário exerce sobre o solo é feita através da equação (1), sendo adotada a densidade da mistura lixo + solo de 900 kg/m^3 e uma altura média de aterros sanitários de 18 metros (IBAM, 2001).

$$P = \gamma \times h \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

P = pressão (kg/m^2)

γ = massa específica (kg/m^3);

h = altura da massa de resíduos (m) .

Aplicando-se (1) tem-se:

$$P = 900 \text{ kg/m}^3 \times 15 \text{ m} = 1,35 \text{ ton./m}^2 \text{ ou } 1,35 \text{ kg/cm}^2$$

Considerando a pressão média exercida por um aterro sanitário de $1,62 \text{ kg/cm}^2$, observa-se através do quadro 4.1, que o solo da base do aterro sanitário deve ser argiloso com consistência muito rija ou dura ($c_u > 1,0 \text{ kg/cm}^2$).

Aterros sanitários mais baixos, onde as pressões exercidas são menores, podem ser implantados sobre solos menos resistentes.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: Resistência da base do aterro</i>	<i>NOTA</i>
$C_u > 1,0 \text{ kg/cm}^2$	10
$1,0 < C_u < 0,5 \text{ kg/m}^2$	5
$C_u < 0,5 \text{ kg/cm}^2$	0

Nota: C_u = resistência do solo

Distância de núcleos habitacionais

Para este critério considera-se adequado o aterro sanitário localizado a distâncias superiores a 500 metros de núcleos populacionais ou áreas urbanas. O estabelecimento deste limite está de acordo com a norma NBR 13896 (ABNT, 1997), a qual recomenda uma distância mínima de 500 metros entre o limite da área útil do aterro e os núcleos populacionais. Segundo a NBR 13896 (ABNT, 1997), núcleos populacionais são localidades sem categoria de sede administrativa, mas com moradias, geralmente em torno de igreja ou capela, com pequeno comércio.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: distância de núcleos habitacionais</i>	<i>NOTA</i>
> 500 metros para núcleos habitacionais	10
< 500 metros para residências isoladas	5
< 500 metros para núcleos habitacionais	0

Distância de recursos hídricos

São considerados recursos hídricos os cursos d'água, os lagos e lagoas, banhados, áreas alagadiças e inundáveis e as nascentes e olhos d'água. Para fins de avaliação, é considerado adequado o aterro sanitário situado a distâncias superiores a 200 metros de recursos hídricos. Esta distância está em conformidade com a norma NBR 13896 (ABNT, 1997), sendo que o limite também é utilizado como referência pelo IPT/CEMPRE (2000), IBAM (2001).

Deve-se ressaltar, no entanto, que a legislação ambiental, por meio do Código Florestal (Lei n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965, alterada pela Lei 7.803 de julho de 1989) e o Decreto N.º 14.250 de 05 de junho de 1981, consideram como APP as nascentes, ainda que intermitentes e os chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica,

num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura. Sendo este o entendimento do Órgão de Controle Ambiental.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: Distância de recursos hídricos</i>	<i>NOTA</i>
$D \geq 200$ m para cursos d'água e $D \geq 50$ m para nascentes e olhos d'água	10
$100 \leq D < 200$ m para cursos d'água	5
$D \leq 100$ m para cursos d'água e/ou $D < 50$ metros para nascentes e olhos d'água	0

NOTA: D = Distância

Profundidade do lençol freático

A profundidade do lençol freático corresponde à espessura da camada insaturada existente abaixo do aterro. Para um mesmo tipo de solo, quanto maior a profundidade do lençol freático, maior será o tempo necessário para que um contaminante atinja as camadas saturadas bem como o tempo de contato com o substrato aumentando desta maneira, a probabilidade de que os poluentes seja atenuados através de processos físicos, químicos e/ou biológicos (LUPATINI, 2002).

A NBR 13896 (ANBT, 1997) recomenda uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 metros, além disso indica que em qualquer caso, obrigatoriamente, entre a superfície inferior do aterro e o nível mais alto do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,50 m de solo insaturado.

Portanto, é considerado adequado o aterro sanitário implantado em área com profundidade do lençol freático superior a 1,5 metros, preferivelmente maior que 3 metros. Tais distâncias asseguram a preservação das águas subterrâneas e por consequência a preservação ambiental.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: profundidade do lençol freático</i>	<i>NOTA</i>
> 3 metros	10
De 1,5 a 3,0 metros	5
< 1,5 metros	0

Permeabilidade do solo

O coeficiente de permeabilidade (K em cm/s) é um índice da maior ou menor dificuldade que o solo opõe à percolação da água através dos seus poros. Assim, chama-se de permeabilidade à maior ou menor facilidade com que a percolação da água ocorre através de um solo (ROCCA, 1993).

O parâmetro K, depende principalmente do tamanho e arranjo dos grãos do solo, do índice de vazios, das características do fluido que escoar (densidade e viscosidade) e da temperatura. O quadro 4.2 apresenta o coeficiente de permeabilidade K em função do tipo de solo.

Quadro 4.4 – Características de permeabilidade e drenagem dos solos

	<i>Coefficiente de permeabilidade K (cm/s)</i>											
	10 ²	10 ¹	1.0	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Drenagem	Boa						Má		Praticamente impermeável			
Tipo de solo	Brita limpa	Areia limpa, areia misturada do brita			Areia muito fina, silte orgânico e inorgânico, mistura de silte arenoso e argila, depósito de argila estratificada etc.			Solo impermeável, por exemplo argila homogênea abaixo da zona de intemperismo				
		Solo impermeável modificado por efeito da vegetação e do intemperismo										

FONTE: ROCCA 1993 – Resíduos sólidos industriais.

A NBR 13896 (ABNT, 1997) indica que aterros sanitários devem ser executados em áreas onde haja predominância de material com coeficiente de permeabilidade inferior a

5×10^{-5} cm/s. Os riscos da disposição de resíduos sólidos no solo estão associados principalmente ao transporte de poluentes pela infiltração dos líquidos percolados. Essa migração é responsável pela contaminação do subsolo e das águas subterrâneas em um local de disposição de resíduos.

Neste sentido, quanto menor a permeabilidade do solo, menor é o risco de contaminação dos recursos hídricos pela migração de contaminantes. Sendo adequado o aterro sanitário situado em áreas de baixa permeabilidade.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: permeabilidade do solo</i>	<i>NOTA</i>
$K \leq 10^{-6}$ cm/s	10
K entre 10^{-4} e 10^{-6} cm/s	5
$K \geq 10^{-4}$ cm/s	0

Disponibilidade de material de cobertura

O material de cobertura consiste em material inerte utilizado para cobrir os resíduos dispostos ao final de uma jornada de trabalho. O aterro sanitário deve possuir ou situar-se próximo a jazidas de material de cobertura, de modo a assegurar a permanente cobertura dos resíduos dispostos. Estima-se que, em média, os valores percentuais de material de cobertura variam na faixa de 20 a 25% do volume de resíduos. McBEAN, ROVERS e FARQUHAR (1995) indicam ser necessários para a cobertura intermediária 20% do volume de resíduos, já para a cobertura final este valor diminui para 10% do volume.

São considerados adequados, portanto, aterros sanitários com disponibilidade de material de cobertura, compatível com as quantidades de resíduos dispostos, ou seja, o volume diário de material de cobertura deve ser suficiente para que, ao final de cada etapa de disposição, o lixo seja coberto com uma camada mínima de 20 cm de solo.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: disponibilidade de material de cobertura</i>	<i>NOTA</i>
Quantidade suficiente ($Q > 20\%$ do volume de resíduos dispostos)	10
Quantidade insuficiente ($Q < 20\%$ do volume de resíduos dispostos)	5
Sem material de cobertura	0

Qualidade do material de cobertura

As coberturas intermediária e final de solo têm por finalidade, impedir o arraste de materiais pela ação dos ventos, evitar a proliferação de roedores, insetos e aves, controlar odores, prevenir incêndios, minimizar a migração de gases e a geração de percolados e facilitar o acesso das máquinas e veículos sobre o aterro (U.S. EPA., 1994).

Portanto, para que a cobertura de solo atenda a tais finalidades, é necessário que o solo utilizado tenha qualidade apropriada, sendo indicados, preferencialmente, os solos argilosos. No entanto, solos siltosos, mesmo que menos eficientes, atendem os objetivos.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: qualidade do material de cobertura</i>	<i>NOTA</i>
Solos argilosos	10
Solos siltosos	5
Solos arenosos	0

Condições de acesso ao aterro sanitário

Os acessos internos e externos devem ser protegidos, executados e mantidos de maneira a permitir sua utilização sob quaisquer condições climáticas; devem ter pavimentação de qualidade, sem rampas íngremes e sem curvas acentuadas, de forma a minimizar o desgaste dos veículos coletores. além disso, devem ser construídos de forma que o tráfego não

cause transtornos para a população do entorno, evitando a geração de poeira e permitido o livre acesso ao aterro sanitário. Por se tratar de uma estrutura com tráfego pesado é indicada a utilização de acessos pavimentados (asfalto ou paralelepípedo) ou com revestimentos primários, que nada mais é do que uma camada compactada de solo com características adequadas, capaz de oferecer uma superfície de rolamento de qualidade superior à do solo natural, assegurando o tráfego em qualquer época do ano, (PINTO e PREUSSLER, 2001). Da mesma forma é, fundamental que o acesso tenha manutenção constante por parte do empreendedor, devendo ser no mínimo mensal.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: condições de acesso a área</i>	<i>NOTA</i>
Acesso por estrada pavimentada (asfalto ou paralelepípedo)	10
Acesso por estrada com revestimento primário	5
Acesso por estrada esburacada e sem revestimento primário	0

4.1.2 Critérios de avaliação segundo a infra-estrutura existente

Uma vez definida a área para instalação do aterro sanitário, são estabelecidas em projeto as estruturas a ser construídas. Tais estruturas devem assegurar que as condições adequadas para operação do aterro e proteção ambiental da área sejam atendidas. Na avaliação do Órgão Ambiental para emissão da Licença de operação do aterro sanitário, todas estas estruturas devem estar devidamente implantadas.

Assim, podem ser definidos como critérios de infra-estrutura todos aqueles relacionados às características das instalações do aterro sanitário.

Isolamento visual da área

Aterros sanitários são estruturas que normalmente causam impactos negativos nas pessoas, causados muitas vezes pela desinformação ou pela associação dos mesmos aos

lixões.

Dessa forma, para não causar desconforto às comunidades do entorno, os aterros devem contar com estruturas de isolamento visual, naturais ou construídas, com intuito de dificultar a visualização da frente de serviço e outros equipamentos.

A NBR 13896 (ABNT, 1997) recomenda que haja uma faixa de proteção sanitária de no mínimo 10 metros de largura em toda a volta do aterro, destinada ao plantio de arbustos e árvores, formando uma cerca viva para melhorar a estética do local, impedir a visão da área operacional e auxiliar na dispersão do cheiro característico dos resíduos.

Para ser considerado adequado, o aterro sanitário deve ser isolado das comunidades do entorno, diminuindo assim possíveis reações negativas à sua operação.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: isolamento visual da área</i>	<i>NOTA</i>
Frente de serviço, sistema de tratamento e pátio interno isolados visualmente	10
Estruturas do aterro visíveis fora da área do aterro, porém com a frente de serviço isolada.	5
Frente de serviço visível fora da área do aterro	0

Impermeabilização de base

O sistema de impermeabilização de base tem a função de proteger a fundação do aterro, evitando a contaminação do subsolo e aquíferos subjacentes, pela migração de percolados e/ou biogás.

Segundo a NBR 13896 (ABNT 1997), a impermeabilização de base de um aterro sanitário deve atender aos seguintes critérios:

a) ser construída com materiais de propriedades químicas compatíveis com o resíduo, com suficiente espessura e resistência, de modo a evitar rupturas devido a pressões hidrostáticas e hidrogeológicas, contato físico com o líquido percolado ou resíduo, condições climáticas e tensões da instalação da impermeabilização ou aquelas originárias da operação

diária;

b) Ser colocada sobre uma base ou fundação capaz de suportá-la, bem como resistir aos gradientes de pressão acima e abaixo da impermeabilização, de forma a evitar sua ruptura por assentamento, compressão ou levantamento do aterro;

c) Ser instalada de forma a cobrir toda a área, de modo que o resíduo ou o líquido percolado não entre em contato com o solo natural.

Dentre os materiais comumente empregados em impermeabilização de base de aterros, destacam-se os solos argilosos e argilas compactadas e as geomembranas sintéticas, (IPT/CEMPRE, 2000).

Atualmente, é cada vez mais corrente o uso de sistemas duplos de impermeabilização de base, compostos por uma camada de argila compactada, com espessura mínima de 60 cm e, sobre esta, geomembrana de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), normalmente com espessura de 1,5 mm.

VILAR (2003) recomenda que não sejam utilizadas camadas simples de impermeabilização, compostas somente por geomembranas ou argilas compactadas, pois possíveis vazamentos podem ser contidos pelas outras camadas da barreira. Além disso, o uso de camadas simples, compostas por argilas compactas, mesmo que, a princípio, possam ser consideradas eficientes, a médio e longo prazo podem causar problemas, principalmente pela dificuldade de alcançar o coeficiente de permeabilidade indicado no projeto uniformemente em toda a área utilizada.

O sistema de impermeabilização de base é, provavelmente, o mais importante componente de um aterro sanitário, sendo responsável por evitar a contaminação do solo e das águas subterrâneas (LIMA, et. al., 2003). Desta forma, são considerados adequados os aterros que dispõem de eficientes sistemas de impermeabilização de base, preferencialmente aqueles de camada dupla.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: impermeabilização de base</i>	<i>NOTA</i>
Impermeabilização com dupla camada (argila compactada ou material sintético com mesma função e PEAD).	10
Impermeabilização com camada simples de argila compactada ou material sintético com mesma função.	5
Inexistente.	0

Drenagem de percolados

O sistema de drenagem de líquidos percolados deve ser constituído de material quimicamente resistente ao resíduo e ao líquido percolado e, suficientemente resistente a pressões originárias da estrutura total do aterro e dos equipamentos utilizados (ABNT, 1997).

Os drenos devem ter declividade mínima de 2% (ROCCA, 1993), devendo ser projetados e operados de forma a não sofrer obstruções durante o período de vida útil e pós-fechamento do aterro, além de apresentar dimensões apropriadas para a vazão a ser drenada, devendo ser construídos em todos os patamares de resíduos.

A drenagem de percolados pode ser feita por meio de drenos constituídos por tubos de concreto ou de PEAD, envoltos em brita.

Além da utilização de tubos drenantes de PEAD ou concreto, CHRISTENSEN, COSSU E STEGMANN (1995) recomendam a implantação de uma camada drenante de brita ou areia de espessura média de 50 cm sobre toda a área impermeabilizada. Esta forma de drenagem é mais eficiente, pois evita o arraste de finos em períodos de chuvas intensas e garante a drenagem da base do aterro sanitário.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: drenagem de percolados</i>	<i>NOTA</i>
Camada drenante de brita ou areia, juntamente com tubos de PEAD ou de concreto na base do aterro sanitário	10
Drenagem com tubos de concreto ou PEAD envoltos em brita	5
Inexistente	0

Tratamento de percolados

De acordo com a ABNT (1997), o sistema de tratamento de líquidos percolados de aterros sanitários deve ser projetado, construído e operado, de forma que seus efluentes atendam aos padrões de emissão e garantam a qualidade do corpo receptor.

Devido à cadeia de constituintes existentes nos líquidos percolados, e às variações quantitativas sazonais e cronológicas (pelo aumento da área exposta), não se deve considerar uma solução única de processos para seu tratamento. Portanto, é fundamental que se procure uma combinação de processos, com cada um representando uma função específica no tratamento de chorume (HAMADA & MATSUNAGA, 2000).

Os mesmos autores, citando Forgie (1988), sugerem um critério para permitir a decisão na seleção de processos. Quando o percolado apresenta as características de um aterro novo, o tratamento pode ser efetuado por processos anaeróbio e aeróbio. O tratamento físico-químico, neste caso, não é indicado. Quando o percolado tem características de resíduos antigos, onde a relação DBO/DQO torna-se baixa, é indicado o processo físico-químico.

Como a carga orgânica inicial do percolado é bastante elevada, o emprego de um sistema anaeróbio (filtros anaeróbios, lagoas anaeróbias, UASB, etc.) preliminar é altamente recomendado, no entanto, o mesmo não tem capacidade de reduzir significativamente a quantidade de matéria orgânica, nitritos, nitratos e amônia presentes no meio, para tal, são indicados os tratamentos aeróbios (lagoas aeradas, lodos ativados, etc.).

Quando ocorre a estabilização do aterro sanitário, há uma redução na relação DBO/DQO, em virtude da diminuição da fração biodegradável presente na massa de resíduos, ocasionando, na maioria das vezes, uma redução na eficiência dos sistemas de tratamento biológico. Com isso, torna-se necessária a utilização de um tratamento complementar, sendo indicado, neste caso, o tratamento físico-químico.

Outra técnica bastante utilizada no Brasil é a recirculação de percolado, utilizada para diminuir a quantidade de efluente a ser tratado. Porém, em épocas de chuvas intensas, o sistema pode chegar ao limite da capacidade (JUCÁ, 2003).

Nos aterros sanitários é comum a existência de resíduos com diferentes idades, portanto, é indicado que desde o início o sistema de tratamento de percolados inclua o processo físico-químico, assegurando a preservação do corpo receptor.

Assim, para ser considerado adequado, o aterro sanitário deve contar com um sistema de tratamento de percolados capaz de atender às exigências ambientais. Sendo indicado o uso conjunto de processos biológicos e físico-químicos.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: tratamento de percolados</i>	<i>NOTA</i>
Tratamento biológico e físico-químico	10
Tratamento biológico	5
Inexistente	0

Drenagem de águas pluviais

O sistema de drenagem de águas pluviais tem por objetivo coletar as águas originadas pelas precipitações pluviais que ocorrem na área do aterro sanitário, assim como da região localizada à montante do mesmo, e que estejam sob influência, desviando para elementos de drenagem apropriados.

A eficiência desse sistema está diretamente ligada à diminuição da geração de percolados no empreendimento, bem como a garantia da manutenção das condições de estabilidade do maciço de resíduos sólidos. Além disso, um adequado sistema de drenagem de águas pluviais permite a manutenção de uma frente de serviço constantemente coberta, e dessa forma impedindo que ocorram prejuízos ambientais como a emissão de gases para a atmosfera e proliferação de moscas e outros vetores de doenças.

O sistema de drenagem de águas pluviais é constituído por um conjunto de caráter permanente e outro provisório, ou seja, é alterado à medida que o aterro é desenvolvido. São consideradas drenagens provisórias as canaletas que serão destruídas pela própria evolução do aterro, as quais, em função de sua curta duração, não necessitam de revestimentos especiais,

porém, devem ser refeitas sempre que necessário. Já as drenagens definitivas são constituídas pelas canaletas de concreto, escadas d'água e bueiros que permanecerão ativas após o encerramento das atividades do aterro, devendo proteger o aterro durante o tempo necessário para que a obra seja reincorporada ao ambiente local, um exemplo de drenagem definitiva são as canaletas de concreto colocadas na base de cada camada de resíduos.

Neste sentido para que seja adequado o aterro sanitário deve contar com um eficiente sistema de drenagem pluvial provisório e permanente instalado.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: drenagem de águas pluviais</i>	<i>NOTA</i>
Drenagem provisória e permanente	10
Drenagem permanente	5
Inexistente	0

Equipamento para compactação dos resíduos

Um dos principais objetivos de um aterro sanitário é o confinamento dos resíduos sólidos urbanos na menor área possível e no menor volume permissível. Dessa forma, a existência de equipamentos de compactação é fundamental para a operação de aterros sanitários.

A compactação dos resíduos tem influência direta na vida útil do aterro, estabilidade da massa de resíduos, geração de líquidos percolados e emissões gasosas.

Normalmente são utilizados tratores de esteira providos de lâmina para espalhamento, compactação e cobertura dos resíduos, além de rolos compactadores especialmente projetados.

Com base em informações colhidas junto à Empresa Recycle (operadora de aterros sanitários), o equipamento de compactação deve ter capacidade operacional para compactar o volume de resíduos dispostos e peso operacional suficiente para conferir à massa de resíduos

sólidos a densidade adequada, sendo indicados, equipamentos com peso operacional maior ou igual a 14 toneladas, como por exemplo o Caterpillar D6. Para aterros de até 40 toneladas é viável a utilização de tratores menores, como o Caterpillar D4, de qualquer forma, o equipamento deve estar disponível permanentemente para a operação do aterro sanitário.

Dependendo do porte do aterro, mais de um equipamento deve ser utilizado. Para até 400 toneladas por dia é viável a utilização de somente um equipamento de compactação.

São considerados adequados os aterros sanitários que mantêm permanentemente equipamentos de compactação apropriados para o porte dos mesmos, sendo admitida, no caso de aterros de pequeno porte, a utilização dos equipamentos em outras obras, desde que isto não comprometa a operação do aterro sanitário.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: equipamento para compactação dos resíduos</i>	<i>NOTA</i>
Adequado em porte, quantidade e disponibilidade	10
Inadequados em porte, quantidade e/ou disponibilidade	5
Inexistente	0

Equipamentos para serviços diversos

O aterro sanitário é um estrutura que demanda diversos serviços, tais como escavação de solo, manutenção dos acessos, abertura de valas de drenagem, transporte de solo, assentamento de tubos, entre outros. Dessa forma é necessário que haja disponibilidade de máquinas e equipamentos para execução de tais serviços. PINEDA (1998), cita alguns dos principais equipamentos utilizados em aterro sanitário, quais seja, retroescavadeira, caminhão basculante, pá carregadeira, entre outros.

Para aterros sanitário maiores, tais equipamentos são essenciais principalmente em virtude dos volumes de solo envolvidos. Já em aterros menores a exigência por equipamentos é menor, no entanto, é importante que estejam disponíveis quando necessário.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: equipamentos para serviços diversos</i>	<i>NOTA</i>
Caminhão e retroescavadeira	10
Caminhão ou retroescavadeira	5
Inexistente	0

Drenagem de gases

O aterro sanitário deve ser projetado de maneira a minimizar as emissões gasosas e promover a captação e tratamento adequado das eventuais emanções.

Os drenos de biogás são constituídos por linhas de tubos perfurados, sobrepostos, envoltos por uma camisa de brita. Para o espaçamento entre os drenos, não há um critério definido. Baseando-se em observações de campo, recomenda-se que entre um dreno e outro sejam deixadas distâncias que variem entre 30 m e 50 m, representando um dreno de biogás a cada 2500 m² aproximadamente. Além disso, devem ser interligados com o sistema de drenagem de percolados, facilitando assim a drenagem da massa de resíduos.

Com relação à manutenção, IBAM (2001) recomenda que o sistema de drenagem de gases deve ser vistoriado permanentemente, de forma a manter os queimadores sempre acesos, principalmente em dias de vento forte.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: drenagem de gases</i>	<i>NOTA</i>
Drenos dispostos com distância de até 50 m	10
Drenos dispostos com distância superior a 50 m	5
Inexistente	0

Controle no recebimento de resíduos

Para que haja um controle adequado, com relação às quantidades de resíduos sólidos dispostos, é importante que esteja instalada uma balança rodoviária na entrada do aterro sanitário. A pesagem dos resíduos é fundamental para que sejam planejadas futuras ampliações, para estimativa da vida útil das etapas e monitoramento da eficiência na compactação dos resíduos. Além disso, é conveniente que o resíduo seja inspecionado na entrada do aterro, evitando-se a entrada de materiais incompatíveis com o aterro sanitário (resíduos perigosos, resíduos inertes, que podem ser dispostos em aterros mais simplificados ou qualquer outro resíduo em desacordo com a licença ambiental de operação (LAO)). Para a realização do controle (pesagem e vistoria do tipo de resíduo), é necessário que na entrada do aterro sanitário seja construída uma portaria, onde um funcionário treinado deve inspecionar todos os resíduos recebidos.

Onde não for viável a instalação de balança, os resíduos devem ser pesados em outra balança rodoviária disponível no município.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: controle no recebimento de resíduos</i>	<i>NOTA</i>
Inspeção e pesagem de resíduos	10
Inspeção sem pesagem dos resíduos	5
Nenhum tipo de controle	0

Cerca de isolamento da área

A área do aterro sanitário deve ser adequadamente isolada por cercas para evitar a entrada de animais e pessoas estranhas ao empreendimento (catadores, por exemplo). A cerca de isolamento deve ter a capacidade de dificultar o acesso de pessoas não autorizadas. IBAMA (2001) recomenda que seja construída uma cerca em todo o perímetro do aterro, com

aproximadamente dois metros de altura, com moirões de concreto nos quais são passados cinco fios de arame galvanizado, igualmente espaçados e bem esticados.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: cerca de isolamento da área</i>	<i>NOTA</i>
Cerca de isolamento em condições adequada	10
Cerca de isolamento em condições inadequadas	5
Inexistente	0

4.1.3 Critérios de avaliação segundo as condições de operação

A instalação das estruturas exigidas durante a construção do aterro não é garantia de qualidade permanente. Assim que o aterro sanitário começa a ser operado, devem ser asseguradas condições que permitam o controle ambiental da área.

A manutenção das características ideais pode ser conseguida pelo cumprimento de alguns critérios básicos de operação, conforme apresentado a seguir.

Presença de animais

Os aterros sanitários são estruturas que, pelas características dos resíduos dispostos, com grande quantidade de matéria orgânica, são passíveis de atrair animais como moscas, gaivotas e urubus.

A presença desses tipos de vetores está associada, principalmente, à ocorrência de resíduos descobertos. É natural a existência de moscas na frente de serviço, no entanto, esta deve estar limitada aos períodos em que os resíduos estão sendo dispostos e antes da cobertura com solo. A presença de moscas em grande quantidade é um indicativo de operação inadequada do aterro sanitário. Da mesma forma os urubus e gaivotas são atraídos pelos odores emanados da matéria orgânica presente.

Em um aterro sanitário, a presença de urubus, gaivotas e moscas em grande

quantidade geram um aspecto desagradável, além de causar desconforto aos possíveis moradores do entorno. Neste sentido, para que o aterro seja considerado adequado, não é admitida a presença de urubus, gaivotas e moscas.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: presença de animais</i>	<i>NOTA</i>
Sem presença de urubus, gaivotas e moscas.	10
Presença de moscas.	5
Presença de urubus, gaivotas e moscas.	0

Estabilidade do maciço de resíduos

A análise da estabilidade de taludes de aterros sanitários é, atualmente, um dos grandes desafios da geotecnia ambiental, devido, principalmente, à falta de parâmetros de análise da mistura solo – lixo. Atualmente, pela grande diversidade dos resíduos sólidos dispostos nos aterros sanitários, não é possível determinar com exatidão parâmetros como: coesão, ângulo de atrito interno e peso específico do lixo, além de análise da interface entre as diferentes camadas de impermeabilização e os resíduos aterrados. De acordo com JUCÁ (2003) é necessário um conhecimento mais apurado do comportamento geotécnico do maciço de resíduos, a fim de caracterizar e determinar os parâmetros a serem empregados nas análises de estabilidade e modelagem, visando permitir a execução de aterros novos ou ampliações dentro de padrões mais seguros e econômicos.

A estabilidade de um aterro de resíduos depende, principalmente, do projeto geométrico das células (altura do lixo e inclinação dos taludes), grau de compactação, nível de percolado (estado de saturação) e sua flutuação dentro da massa de lixo (pressão neutra e condições de drenagem de biogás e percolado), cobertura final e sua resistência à erosão, além dos parâmetros geotécnicos.

A altura do aterro sanitário é importante na definição da estabilidade global do maciço, ou seja, para definição de superfícies críticas profundas, que eventualmente venha a

passar pela fundação, por contato com mantas de impermeabilização e em regiões com maiores pressões de chorume. Esse fator de segurança deve ser visto com cuidado pois esse tipo de evento acarreta uma movimentação muito grande, susceptível a grandes energias de deslocamento, (KAIMOTO, 2004).

O mesmo autor considera que a declividade dos taludes e o recuo entre camadas definem a declividade geral do maciço. Deve-se separar a sua importância em aterros pequenos e maiores. No caso de aterros pequenos o estado de tensão é baixo e, nessas condições, os taludes podem ficar um pouco mais íngremes, desde que o aterro seja dotado de um eficiente sistema de drenagem de águas pluviais, pois nesses casos, as superfícies de ruptura são superficiais e, portanto, com grande influência de lençóis empoleirados, zonas de saturação, perda de resistência por sucção ou relação fibra-lixo. No caso de aterros maiores a declividade geral é que é determinante, considerando ainda que as bernas de equilíbrio têm que ter largura mínima de 4 metros.

Para McBEAN, ROVERS e FARQUHAR (1995), a altura da camada de resíduos deve ter aproximadamente 3 metros, pois esta altura não causa riscos de estabilidade, ressaltando-se, no entanto, que alturas de até 10 metros já foram reportadas. O IBAM (2001) indica uma altura de célula de 4 a 6 metros para que a decomposição dos resíduos ocorra em melhores condições

Nesse sentido, é considerado estável o aterro sanitário que dispõe de equipamentos adequados de compactação, tenha patamares de resíduos com altura entre 3 e 5 metros em média, com inclinação dos taludes de aproximadamente 2:1 (H:V) e recuo mínimo entre os patamares de 3 metros. Além disso, o aterro sanitário deve contar com um eficiente sistema de drenagem de percolados, evitando o surgimento de pressões neutras na massa de resíduos.

Aterros sanitários construídos e operados sem tais especificações apresentam risco de ruptura e, portanto, são considerados instáveis.

Deve-se ressaltar que aterros sanitários construídos pelo método de trincheira não sofrem risco de ruptura ou escorregamento.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: estabilidade do maciço de resíduos</i>	<i>NOTA</i>
Aterro com: patamares ≤ 5 m; inclinação taludes $\cong 2:1$; recuo ≥ 3 m	10
Aterro com: inclinação taludes $\cong 2:1$; recuo ≥ 3 m	5
Aterro que não atende nenhuma das especificações acima	0

Recobrimento dos resíduos

A finalidade da cobertura de resíduos é impedir o arraste de material pela ação do vento, evitar a proliferação de moscas, roedores e outros vetores de doenças, evitar o aspecto antiestético do lixo exposto, facilitar a movimentação das máquinas e veículos sobre o aterro e dificultar a infiltração das águas da chuva.

Nesse sentido, a frente de serviço deve permanecer com o mínimo possível de resíduos descobertos, sendo recomendado o recobrimento diário e sistemático, devendo ser realizado após o término de cada jornada de trabalho, com uma camada de cerca de 0,20 m de solo.

Dessa forma, é considerado adequado o aterro sanitário que mantém os resíduos dispostos permanentemente cobertos.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: recobrimento dos resíduos</i>	<i>NOTA</i>
Recobrimento diário	10
Recobrimento eventual (3 \times por semana)	5
Recobrimento inexistente (< 3 \times por semana)	0

Monitoramento ambiental

A monitoramento ambiental pressupõe o acompanhamento da evolução de um

determinado processo, gerando subsídios para a realização de alterações necessárias. O processo de monitoramento ambiental apresenta como premissa básica a possibilidade da detecção de falhas no sistema de proteção ambiental do aterro sanitário. Esta detecção permite que sejam adotadas medidas corretivas rapidamente, de maneira que sejam evitados impactos ambientais significativos, ou ainda, que venham a se formar passivos ambientais na área de intervenção ou na sua região de influência.

O Órgão de Controle Ambiental, quando da expedição da licença ambiental de operação (LAO) do aterro sanitário, especifica quais os tipos de monitoramento que devem ser feitos, sejam eles dos recursos hídricos, do sistema de tratamento de percolados e geotécnico.

Já existem estudos e casos práticos de aterros que monitoram o biogás produzido a partir da decomposição da matéria orgânica. Este monitoramento é realizado com o intuito de aproveitar o biogás, principalmente para a geração de energia elétrica. No entanto, neste trabalho, não foi considerado o monitoramento do biogás, dentro do critério monitoramento ambiental.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: monitoramento ambiental</i>	<i>NOTA</i>
Monitoramento: dos recursos hídricos, do sistema de tratamento de percolados e geotécnico.	10
Monitoramento dos recursos hídricos ou do sistema de tratamento de percolados	5
Sem monitoramento ambiental.	0

Eficiência do sistema de tratamento de percolados

A implantação de um sistema de tratamento de percolados não é a garantia de atendimento aos padrões ambientais de lançamento, pois além de ser projetado e implantado de forma adequada, o mesmo deve ser criteriosamente operado.

Na operação do sistema de tratamento de percolados devem ser verificados aspectos construtivos e operacionais, destacando-se: erosão de taludes das lagoas, funcionamento de bombas, aeradores e dosadores, hidráulica de escoamento entre lagoas, zonas mortas, curto circuitos, níveis de lodo e algas, entre outros.

Na avaliação do funcionamento do sistema de tratamento de percolados, além da verificação dos itens já apresentados, deve-se prioritariamente verificar as condições em que o efluente tratado está sendo lançado no corpo receptor, pois o mesmo deve atender aos padrões de lançamento existentes na Legislação Ambiental.

No Estado de Santa Catarina, o Decreto 14.250, de 5 de junho de 1981 e a Portaria 017/02 (padrões toxicológicos) são as leis que definem os padrões de lançamento dos efluentes líquidos em corpos hídricos, portanto, para que o aterro sanitário seja considerado adequado, o efluente do sistema de tratamento de percolados deve atender aos padrões estabelecidos para matéria orgânica (DBO)¹, nutrientes (fósforo e nitrogênio), metais (zinco, cromo, mercúrio, etc.), materiais sedimentáveis, óleos e graxas e os limites máximos de toxicidade aguda. Sendo necessária, para a avaliação desse critério, a apresentação pelo operador, de laudos laboratoriais comprovando a eficiência do sistema de tratamento.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: eficiência do sistema de tratamento de percolados</i>	<i>NOTA</i>
Efluente atendendo à legislação ambiental	10
Efluente atendendo parcialmente à legislação ambiental	5
Efluente com padrões de lançamento inadequados	0

¹ DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

Local de lançamento do efluente tratado

Os líquidos percolados, após passarem pelo sistema de tratamento de percolados, devem ser descartados em corpos receptores capazes de dispersar as concentrações de contaminantes porventura existentes.

Com relação ao lançamento de efluentes, a legislação ambiental de Santa Catarina, através do Decreto n.º 14.250, de 5 de junho de 1981, define o seguinte:

“Art. 19 – Os efluente somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água interiores, lagunas, estuários e a beira-mar desde que obedeçam as seguintes condições:

XV – os efluentes líquidos, além de obedecerem aos padrões gerais anteriores, não deverão conferir ao corpo receptor características em desacordo com os critérios e padrões de qualidade de água, adequados aos diversos usos benéficos previstos para o corpo de água.”

Para analisar as alterações que um corpo receptor sofre após o lançamento de efluentes, pode ser utilizado o modelo cinético proposto por STREETER e PHELPS (1925)², e descrito por BRANCO (1986), tal modelo calcula o déficit de desoxigenação a partir dos coeficientes de desoxigenação e de reaeração. O coeficiente de desoxigenação mede a velocidade de reação ou a atividade dos microorganismos aeróbios presentes na água. Já o coeficiente de reaeração é uma constante de primeira ordem, que depende da velocidade e agitação dos recurso hídrico. Assim, tem-se, como primeiro fator de grande importância na reaeração, o grau de agitação a que está sujeita a massa d'água. A agitação por sua vez, depende de vários fatores, como: velocidade de deslocamento da água; a profundidade; acidentes topográficos e ação do vento. A partir disto, conclui-se que, quanto maior for a agitação da massa d'água, melhor será a dispersão dos poluentes.

Dessa forma, é considerado adequado o aterro sanitário, cujo efluente tratado é

² Em 1925, foi desenvolvido por Streeter e Phelps, da Universidade de Ohio um modelo capaz de estimar níveis de concentração de oxigênio dissolvido em rios e estuários.

lançado em rios ou em último caso em córregos.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: local de lançamento do efluente tratado</i>	<i>NOTA</i>
Lançamento em rios	10
Lançamento em canais de drenagem ou córregos.	5
Lançamento em valas de drenagem ou talwegues.	0

Acesso à frente de operação

Da mesma forma que os acessos externos e internos do aterro sanitário, o acesso à frente de serviço deve ser garantida em quaisquer condições climáticas. O caminhão compactador ou de transbordo de ter condições de acessar a frente de serviço e depositar os resíduos de forma a minimizar a área ocupada pelos mesmos, facilitando o serviço de compactação.

O acesso deve ser construído com material de boa qualidade, normalmente saibro ou rachão. A espessura recomendada para as vias é de 30 a 50 cm, compactadas em camadas de 15 a 25 cm, devendo ter caimento uniforme para um dos lados, encaminhando toda a água de chuva para o sistema de drenagem.

Para ser considerado adequado é necessário que o acesso a frente de serviço permaneça livre em quaisquer condições climáticas. No entanto em período de chuvas é freqüente a disposição dos resíduos fora da frente de serviço, sendo necessário que trator de esteira empurre o resíduos até a área de compactação, nesses casos é considerado como difícil o acesso a frente de serviço. Quando o acesso não é possível mesmo em dias de tempo bom, avalia-se que o aterro não tem condições de acesso a frente de serviço.

Quadro de avaliação

<i>Parâmetro de avaliação: acesso á frente de operação</i>	<i>NOTA</i>
Livre acesso a frente de serviço	10
Difícil acesso em períodos de chuva	5
Sem condições de acesso a frente de serviço	0

A partir dos critérios definidos, pode-se estabelecer um modelo de avaliação baseado, essencialmente, em suas relevâncias do ponto de vista da manutenção da qualidade ambiental, bem como em uma forma de combinação dos mesmos, que facilite aos aplicadores a sua utilização.

5. DESENVOLVIMENTO DO INDICADOR DE DESEMPENHO

Com base nos critérios definidos, a primeira etapa do desenvolvimento do indicador de desempenho consiste na ponderação – atribuição de peso / importância para todos os critérios, em seguida é sugerida uma estrutura de agregação dos mesmos e, finalmente, apresentado o enquadramento dos aterros de resíduos, definindo, dessa forma, o indicador para avaliação de desempenho de aterros de resíduos sólidos.

5.1 ESTABELECIMENTO DA IMPORTÂNCIA RELATIVA DOS CRITÉRIO

A ponderação ou valoração procura refletir a atribuição de importância que se dá aos critérios definidos (PEREIRA, 2004). Este processo é necessário para o estabelecimento de prioridades na obtenção das notas dos aterros de resíduos analisados, com o objetivo de proceder a um julgamento envolvendo os diversos critérios de avaliação anteriormente definidos.

Várias técnicas existem para atribuição de pesos a critérios, como por exemplo, a “distância ao alvo” ou distance-to-target (SEPPÄLÄ e HÄMÄLAINEN, 2001), a valoração econômica (STEEN, 1999) e os painéis de especialistas (FINNVEDEN et al., 2002). Isto suscitou um interesse para a utilização de diversos princípios de ponderação. Neste contexto, SOARES et al. (2004) concluíram no Canadá um procedimento de ponderação específico para ACV.

Para a definição dos pesos dos critérios optou-se por agregar os conhecimentos sobre aterros de resíduos de diversos profissionais da área. Para isso foi formado um painel com profissionais que trabalham com projeto, operação e licenciamento de aterros de resíduos, além de professores do curso de engenharia sanitária e ambiental.

Primeiramente, foi encaminhado para cada participante uma planilha que apresenta os diversos critérios de avaliação, onde deve ser indicado qual o nível de importância em que o mesmo se enquadra, sendo que foi dada a opção de enquadramento em três níveis: baixa

importância, média importância e alta importância. O Apêndice A apresenta as planilhas preenchidas pelos participantes.

Em seguida foram associados aos conceitos, notas numéricas: baixa importância 0,2 ; média importância 0,5 e alta importância 1,0. Essas notas foram definidas por meio de simulações em planilha eletrônica, onde se procurou simular diferentes tipos de aterros de resíduos, verificando a coerência dos resultados em função das notas obtidas.

Finalmente foi feita uma média dos níveis indicados pelos diferentes profissionais e juntamente como as notas de cada nível foi definida a ponderação dos critérios.

As equações 2 e 3 demonstram como foram calculados a média e os pesos de cada um dos critérios de avaliação e o quadro 5.1 apresenta um resumo dos resultados obtidos.

$$m = (\sum e) / 6 \quad \text{(equação 2)}$$

Onde: m é igual a média obtida pelo critério de avaliação;

e é igual as notas numéricas atribuídas pelos especialistas.

$$P = (m / (\sum m)) \times 100 \quad \text{(equação 3)}$$

Onde: P é igual ao peso atribuído ao critério de avaliação.

Os critérios são identificados pela letra maiúscula C, seguido das notações “ a ” (características da área), “ i ” (infra-estrutura existente) ou “ o ” (condições de operação) para identificação do tipo de critério, seguida do número do critério. Desta maneira, a notação Ca1 indica o critério *capacidade de suporte do solo*, integrante do grupo *critérios de avaliação segundo as características da área*. O quadro 5.2 apresenta a identificação dos critérios segundo o princípio apresentado, assim como os pesos atribuídos a cada um.

Deve-se ressaltar que os pesos indicados representam uma proposta deste trabalho e que somente com a utilização freqüente do indicador será possível verificar se os mesmos estão adequados.

Quadro 5.1 – Resumo do cálculo dos pesos dos critérios de avaliação

Critério de Avaliação	Especialistas						Média	Peso (%)
	Sebastião	Armando	Luiz Antonio	Savi	Fábio	Adriano		
Capacidade de suporte do solo	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	0,67	3,85
Distância de núcleos habitacionais	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,45	2,59
Distância de recursos hídricos	0,5	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,75	4,31
Profundidade do lençol freático	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	0,92	5,29
Permeabilidade do solo	0,5	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5	0,75	4,31
Disponibilidade de material de cobertura	0,5	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,78	4,49
Qualidade do material de cobertura	1,0	0,5	0,5	1,0	0,2	0,5	0,62	3,57
Condições de acesso ao aterro de resíduos	0,2	0,5	0,5	0,5	1,0	0,2	0,48	2,76
Isolamento visual da área	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0,40	2,30
Impermeabilização de base	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	5,75
Drenagem de percolados	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	5,75
Tratamento de percolados	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	5,75
Drenagem de águas pluviais	1,0	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,75	4,31
Equipamento para compactação dos resíduos	0,5	0,2	1,0	0,5	1,0	1,0	0,70	4,03
Equipamentos para serviços diversos	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2	0,25	1,44
Drenagem de gases	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	0,75	4,31
Controle no recebimento de resíduos	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	0,2	0,53	3,05
Cerca de isolamento da área	0,5	0,5	0,2	1,0	0,2	0,2	0,43	2,47
Presença de animais	0,2	0,5	0,5	1,0	0,5	0,2	0,48	2,76
Estabilidade do maciço de resíduos	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5	0,83	4,77
Recobrimento dos resíduos	1,0	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	0,92	5,29
Monitoramento ambiental	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	5,75
Eficiência dos sistema de tratamento	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	5,75
Local para lançamento do efluente tratado	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0,40	2,30
Acesso à frente de operação	0,2	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	0,53	3,05

Quadro 5.2 – Identificação dos critérios de avaliação e ponderação

<i>Grupo</i>	<i>Critério</i>	<i>Identificação</i>	<i>Peso</i>
Critérios de avaliação segundo as características da área	Capacidade de suporte do solo	Ca1	3,85 %
	Distância de núcleos habitacionais	Ca2	2,59 %
	Distância de recursos hídricos	Ca3	4,31 %
	Profundidade do lençol freático	Ca4	5,49 %
	Permeabilidade do solo	Ca5	4,31 %
	Disponibilidade de material de cobertura	Ca6	4,49 %
	Qualidade do material de cobertura	Ca7	3,57 %
	Condições de acesso ao aterro sanitário	Ca8	2,76 %
Critérios de avaliação segundo a infra-estrutura existente	Isolamento visual da área	Ci1	2,30 %
	Impermeabilização de base	Ci2	5,75 %
	Drenagem de percolados	Ci3	5,75 %
	Tratamento de percolados	Ci4	5,75 %
	Drenagem de águas pluviais	Ci5	4,31 %
	Equipamento para compactação dos resíduos	Ci6	4,03 %
	Equipamentos para serviços diversos	Ci7	1,44 %
	Drenagem de gases	Ci8	4,31 %
	Controle no recebimento de resíduos	Ci9	3,05 %
	Cerca de isolamento da área	Ci10	2,47 %
Critérios de avaliação segundo as condições de operação	Presença de animais	Co1	2,76 %
	Estabilidade do maciço de resíduos	Co2	4,77 %
	Recobrimento dos resíduos	Co3	5,29 %
	Monitoramento ambiental	Co4	5,75 %
	Eficiência do sistema de tratamento de percolados	Co5	5,75 %
	Local de lançamento do efluente tratado	Co6	2,30 %
	Acesso à frente de operação	Co7	3,05 %

5.2 AGREGAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

A agregação dos critérios consiste em associar, após o preenchimento da matriz de avaliação e segundo um modelo matemático definido, as avaliações dos diferentes critérios para cada ação (no caso os aterros). As ações serão em seguida comparadas entre si por um julgamento relativo do valor de cada ação. Existem vários procedimentos de agregação de critérios, agrupados em métodos elementares (soma ponderada, produto ponderado, os métodos lexicográfico, de Condorcet, conjuntivo e disjuntivo e maximin e maximax), de critérios únicos de síntese (MAUT, TOPSIS, Vikor, AHP ou ainda, UTA, Smart, Evamix, etc) e os métodos de superação (família Electre, Promethe, Oreste, Exprom, Regime, Qualiflex, etc.), (GOUMES e LYGEROU 2000) e (TZENG, LIN e OPRICOVIC, 2004).

A agregação dos critérios pode ser feita através de dois métodos: a agregação total e a agregação parcial. Na agregação total as ações são comparadas em conjunto, através de uma operação única, enquanto que a agregação parcial permite a comparação par a par das ações estabelecendo relações de superação entre as mesmas (SOARES, 2003). Dois dos principais métodos de agregação total são descritos a seguir.

5.2.1 Soma ponderada

Segundo Soares (2003), a soma ponderada consiste em atribuir pesos para cada critério e em seguida, para cada ação, realizar um somatório do produto do peso pela avaliação do critério. O somatório obtido é dividido pela soma dos pesos atribuídos (equação 4).

$$S^j = \frac{\sum_{i=1}^n E_i^j \cdot P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (\text{equação 4})$$

S^j = soma ponderada da ação j

Por exemplo, para um conjunto de 3 critérios, a soma ponderada de uma ação j seria: $S^j = (E_1 \cdot p_1 + E_2 \cdot p_2 + E_3 \cdot p_3) / (p_1 + p_2 + p_3)$.

Se a soma dos pesos ($\sum p_i$) for igual a 1, a soma ponderada será facilitada, pois haverá redução do número de operações matemáticas, de acordo com a equação 5 a seguir.

$$S^j = \sum_{i=1}^n E_i^j \cdot p_i \quad (\text{equação 5})$$

5.2.2 Produto ponderado

O produto ponderado constitui uma regra de agregação total expressa pela equação 6 descrita abaixo:

$$P = \left(\prod (V_i^{p_i}) \right)^{\frac{1}{\sum p_i}} \quad (\text{equação 6})$$

Onde,

P = Produto ponderado

Os métodos de agregação total como o produto e a média ponderada apresentam particularidades que influenciam suas aplicações. A característica mais importante a ser observada quando da utilização de um dos dois métodos, diz respeito a atenuação de valores. Os valores extremos da avaliação de uma determinada ação acabam sendo atenuados pela soma ponderada, enquanto a aplicação do produto ponderado sobre os mesmos dados acaba por reforçar os extremos (LUPATINI, 2002).

Isto faz com que o produto ponderado seja inadequado para a agregação dos

critérios de avaliação, visto que sempre que um dos critérios resultar em uma nota zero, por consequência, a nota final do aterro avaliado será zero, independente dos outros critérios de avaliação. Desta forma, para a agregação dos critérios de avaliação optou-se pela utilização do método da soma ponderada, que busca a sintetização de vários critérios em um único critério (agregação total transitiva) eliminando qualquer tipo de incomparabilidade e garantindo um ordenamento das ações (procedimento Υ).

5.3 INDICADOR DE DESEMPENHO

A partir do estabelecimento dos critérios de avaliação, da atribuição de pesos e da utilização de um método de agregação, é possível definir um indicador para avaliação do desempenho de aterros de resíduos sólidos. Este indicador irá enquadrar os aterros de resíduos em três grupos, sendo que, os dois primeiros grupos são subdivididos em duas condições de desempenho.

A definição do intervalo de notas para cada grupo foi obtida utilizando-se dos critérios de avaliação, da ponderação e do método de agregação (soma ponderada), e então foram realizadas diversas simulações em planilha eletrônica Excel, onde foram simulados diversos aterros de resíduos, procurando-se identificar a escala de notas mais adequada. O quadro 5.3, a seguir, apresenta uma proposta de enquadramento para os aterros de resíduos.

Quadro 5.3 – Enquadramento dos aterros em função das notas recebidas

<i>NOTA</i>	<i>GRUPO</i>	<i>CONDIÇÕES</i>
$9,0 < \text{nota} \leq 10,0$	ATERRO SANITÁRIO	ÓTIMAS
$8,0 < \text{nota} \leq 9,0$		ADEQUADAS
$6,0 < \text{nota} \leq 8,0$	ATERRO CONTROLADO	MÍNIMAS
$4,0 < \text{nota} \leq 6,0$		PRECÁRIAS
$0,0 < \text{nota} \leq 4,0$	LIXÃO	-----

Após a definição dos enquadramentos dos aterros de resíduos sólidos, é necessário alencar os critérios mínimos que o mesmo deve atender para que seja enquadrado como aterro sanitário e aterro controlado. No caso do lixão, o enquadramento dar-se-á a partir do não atendimento dos critérios mínimos para um aterro controlado.

Aterro Sanitário

Para que um aterro de resíduos sólidos possa ser considerado um aterro sanitário é necessário que, no mínimo, o mesmo atenda aos seguintes critérios:

- lençol freático com no mínimo 1,5 metros de profundidade;
- coeficiente de permeabilidade do solo menor que 10^{-4} cm/s;
- material de cobertura em quantidade suficiente;
- impermeabilização de base;
- drenagem de líquidos percolados;
- tratamento de líquidos percolados;
- equipamento para compactação de resíduos;
- drenagem de gases;
- recobrimento diário dos resíduos;
- monitoramento ambiental;
- eficiente sistema de tratamento de percolados;
- livre acesso à frente de serviço.

O enquadramento do aterro sanitário em condições ÓTIMAS ou ADEQUADAS ocorre com o atendimento maior ou menor aos critérios mínimos estabelecidos, por exemplo, um aterro sanitário em condições adequadas deve ter, no mínimo, impermeabilização de base com camada simples de argila compactada, já o aterro sanitário em condições ideais deve ter impermeabilização com dupla camada de argila compactada e geomembrana.

Aterro controlado

Para que um aterro de resíduos sólidos possa ser considerado um aterro controlado é necessário que, no mínimo, o mesmo atenda aos seguintes critérios:

- lençol freático com no mínimo 1,5 metros de profundidade;
- coeficiente de permeabilidade do solo menor que 10^{-4} cm/s;
- disponibilidade de material de cobertura;
- equipamento para compactação de resíduos;
- recobrimento dos resíduos;
- acesso a frente de serviço.

O enquadramento do aterro controlado em condições MÍNIMAS e PRECÁRIAS ocorre com o atendimento maior ou menor aos critérios mínimos estabelecidos, por exemplo, um aterro controlado em condições precárias deve ter recobrimento eventual dos resíduos, já o aterro controlado em condições mínimas deve ter recobrimento diário dos resíduos.

Finalmente, o indicador de avaliação de desempenho de aterros de resíduos consiste em uma matriz a ser preenchida pelo avaliador, no campo, e que a partir da utilização de métodos de agregação e ponderação dos critérios resulta em uma nota, que representa a situação do aterro de resíduos com relação à manutenção da qualidade ambiental da área onde está inserido. O quadro 5.4 a seguir apresenta a matriz de avaliação de desempenho de aterros de resíduos sólidos.

Para verificar a coerência do indicador de desempenho, o capítulo 6 a seguir apresenta a aplicação do indicador em dois aterros de resíduos em operação em Santa Catarina.

Quadro 5.4 - Matriz de Avaliação de desempenho de aterros de resíduos sólidos

Aterro: _____		Data: ____/____/____	
Local: _____		Gerenciamento: Público Privado	
Nº Município atendidos: _____		Técnico Responsável: _____	
Resíduos: _____ ton./dia		Condições climáticas: bom nublado chuva	
CARACTERÍSTICAS DA ÁREA			
Crítérios	Parâmetros de avaliação		Class.
Capacidade de suporte do solo	Cu > 1,0 kg/m ²		
	0,5 < Cu < 1,0 kg/m ²		
	Cu < 0,5 kg/m ²		
Distância de núcleos habitacionais	D > 500 m de núcleos habitacionais		
	D < 500 m de residências isoladas		
	D < 500 m de núcleos habitacionais		
Distância de recursos hídricos	D ≥ 200 m para cursos d'água e D ≥ 50 m para nascentes e olhos d'água		
	100 ≤ D < 200 m para cursos d'água		
	D ≤ 100 m para cursos d'água e/ou < 50 m para nascentes e olhos d'água		
Profundidade do lençol freático	> 3 m		
	de 1,5 a 3,0 m		
	< 1,5 m		
Permeabilidade do solo	K ≤ 10 ⁻⁶ cm/s		
	10 ⁻⁴ < K < 10 ⁻⁶ cm/s		
	K ≥ 10 ⁻⁴ cm/s		
Disponibilidade de material de cobertura	Quantidade suficiente (Q > 20% do volume de resíduos dispostos)		
	Quantidade insuficiente (Q < 20% do volume de resíduos dispostos)		
	Sem material de cobertura		
Qualidade do material de cobertura	Solo argiloso		
	Solo siltoso		
	Solo arenoso		
Condições de acesso ao aterro sanitário	Acesso por estrada pavimentada (asfalto ou paralelepípedo)		
	Acesso por estrada com revestimento primário		
	Acesso por estrada esburacada e sem revestimento primário		

Nota: Class. = situação em que se encontra o aterro em relação ao critério avaliado

INFRA-ESTRUTURA EXISTENTE		
Critérios	Parâmetros de avaliação	Class.
Isolamento visual da área	Frente de serviço, sistema de tratamento e pátio interno isolados visualmente	
	Estruturas do aterro visíveis fora da área do aterro, porém com a frente de serviço isolada	
	Frente de serviço visível fora da área do aterro	
Impermeabilização de base	Impermeabilização com dupla camada (argila compactada ou material sintético e PEAD)	
	Impermeabilização com camada simples de argila compactada	
	Inexistente	
Drenagem de percolados	Camada drenante de brita ou areia, juntamente com com tubos de PEAD ou de concreto	
	Drenagem com tubos de concreto ou PEAD envolto em brita	
	Inexistente	
Tratamento de percolados	Tratamento biológico e físico-químico	
	Tratamento biológico	
	Inexistente	
Drenagem de águas pluviais	Drenagem provisória e definitiva	
	Drenagem definitiva	
	Inexistente	
Equipamento para compactação dos resíduos	Adequado em porte, quantidade e disponibilidade	
	Inadequado em porte, quantidade e/ou disponibilidade	
	Inexistente	
Equipamentos para serviços diversos	Caminhão e retroescavadeira	
	Caminhão ou retroescavadeira	
	Inexistente	
Drenagem de gases	Drenos dispostos com distância de até 50 m	
	Drenos dispostos com distância superior a 50 m	
	Inexistente	
Controle no recebimento de resíduos	Inspeção e pesagem	
	Inspeção sem pesagem	
	Nenhum tipo de controle	
Cerca de isolamento da área	Cerca de isolamento condições adequadas	
	Cerca de isolamento em condições inadequadas	
	Inexistente	

Nota: Class. = situação em que se encontra o aterro em relação ao critério avaliado

CONDIÇÕES OPERACIONAIS		
Crítérios	Parâmetros de avaliação	Class.
Presença de animais	Sem presença de urubus, gaivotas e moscas.	
	Presença de moscas.	
	Presença de urubus, gaivotas e moscas.	
Estabilidade do maciço de resíduos	Aterro com: patamares ≤ 5 m; inclinação dos taludes $\cong 2:1$; recuo ≥ 3 m.	
	Aterro com: inclinação dos taludes $\cong 2:1$; recuo ≥ 3 m.	
	Aterro que não atende a nenhuma das especificações acima	
Recobrimento dos resíduos	Recobrimento diário	
	Recobrimento eventual (3 x semana)	
	Recobrimento inexistente (< 3 x semana)	
Monitoramento ambiental	Monitoramento de recursos hídricos, do sist. de tratamento e geotécnico (se necessário)	
	Monitoramento dos recursos hídricos ou do sistema de tratamento de percolados	
	Sem monitoramento ambiental.	
Eficiência do sistema de tratamento de percolados	Efluente atendendo a legislação ambiental	
	Efluente atendendo parcialmente a legislação ambiental	
	Efluente com padrões de lançamento inadequados	
Local de lançamento do efluente tratado	Lançamento em rios	
	Lançamento em canais de drenagem ou córregos.	
	Lançamento em valas de drenagem ou talvegues	
Acesso a frente de operação	Livre acesso a frente de serviço	
	Difícil acesso em períodos de chuva	
	Sem condições de acesso a frente de serviço	

Nota: Class. = situação em que se encontra o aterro em relação ao critério avaliado

6. APLICAÇÃO DO INDICADOR DE DESEMPENHO

Para a aplicação do indicador de avaliação de desempenho de aterros de resíduos sólidos foram escolhidos o aterro de resíduos do Município de Timbó - SC e o aterro de resíduos do Município de Itajaí - SC. A escolha por esses dois aterros foi feita aleatoriamente sem motivo específico.

O aterro de resíduos do município de Timbó recebe os resíduos sólidos urbanos provenientes dos municípios integrantes do Consórcio Intermunicipal do Médio Vale, quais sejam, Timbó, Indaial, Pomerode, Ascurra, Doutor Pedrinho, Benedito Novo, Rio dos Cedros, Rodeio e Apiuna. Entrou em operação em março de 2002 e recebe em média 40 toneladas de resíduos por dia, sendo que a operação está sob responsabilidade do SAMAE de Timbó. A figura 6.1 a seguir apresenta o aterro de resíduos do Município de Timbó.



Figura 6.1 – Tratamento de percolados e compactação de resíduos no aterro do Município de Timbó.
FONTE: O autor

O aterro de resíduos de Itajaí, atende aos municípios de Itajaí e Balneário Camboriu, recebe em média 110 toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos, sendo que atualmente está sob concessão e operação da empresa Engepasa Ambiental. A figura 6.2 apresenta o aterro de resíduos do município de Itajaí.



Figura 6.2 – Aterro de resíduos de Itajaí
FONTE: Engepasa Ambiental

Para a avaliação dos aterros de resíduos foi encaminhado, para os responsáveis pela operação dos mesmos, a Matriz de Avaliação de Desempenho de Aterros de Resíduos (quadro 5.3), que após ser preenchida foi devolvida para o tratamento dos dados. Deve-se destacar, no entanto, que como o preenchimento da matriz foi feito por profissionais envolvidos com a operação dos aterros, os resultados apresentados podem ser tendenciosos, visto que, para uma avaliação mais adequada é necessária a apresentação de laudos e ensaios que comprovem o atendimentos aos parâmetros de avaliação. O Apêndice B apresenta as matrizes preenchidas para os dois aterros de resíduos.

A partir da aplicação dos pesos aos critérios e da utilização da soma ponderada (equação 4) como método de agregação, tem-se se os seguinte resultados:

Aterro de Resíduos de Timbó

$$N_T = \Sigma (10 \times 0,0385 + 10 \times 0,0259 + 5 \times 0,0431 + 10 \times 0,0529 + 5 \times 0,0431 + 10 \times 0,0449 + 10 \times 0,0357 + 5 \times 0,0276 + 10 \times 0,0230 + 10 \times 0,0575 + 10 \times 0,0575 + 5 \times 0,0575 + 10 \times 0,0431 + 10 \times 0,0403 + 10 \times 0,0144 + 10 \times 0,0431 + 10 \times 0,0305 + 10 \times 0,0247 + 10 \times 0,0276 + 10 \times 0,0477 + 10 \times 0,0529 + 10 \times 0,0575 + 10 \times 0,0575 + 10 \times 0,0230 + 10 \times 0,0305) = 9,18$$

$$N_T = 9,18$$

Onde: N_T = Nota do Aterro de Timbó

Aterro de Resíduos de Itajaí

$$N_C = \Sigma (5 \times 0,0385 + 10 \times 0,0259 + 5 \times 0,0431 + 5 \times 0,0529 + 10 \times 0,0431 + 10 \times 0,0449 + 10 \times 0,0357 + 5 \times 0,0276 + 10 \times 0,0230 + 5 \times 0,0575 + 5 \times 0,0575 + 5 \times 0,0575 + 10 \times 0,0431 + 10 \times 0,0403 + 10 \times 0,0144 + 10 \times 0,0431 + 10 \times 0,0305 + 10 \times 0,0247 + 0 \times 0,0276 + 5 \times 0,0477 + 10 \times 0,0529 + 10 \times 0,0575 + 5 \times 0,0575 + 5 \times 0,0230 + 10 \times 0,0305) = 7,42$$

$$N_C = 7,42$$

Onde: N_C = Nota do Aterro de Itajaí

A aplicação do indicador de avaliação apresentou os enquadramentos descritos no quadro 6.1 a seguir.

Quadro 6.1 – Resultados da aplicação do indicador de avaliação

<i>LOCAL</i>	<i>NOTA</i>	<i>ENQUADRAMENTO</i>
Timbó	9,18	Aterro Sanitário em condições ótimas
Itajaí	7,42	Aterro controlado em condições mínimas

Objetivando comparar os resultados obtidos, foi aplicado o IQR da Cetesb, também com a participação dos responsáveis pela operação dos aterros avaliados. O Apêndice C apresenta as matrizes do IQR preenchidas para os dois aterros de resíduos.

Na aplicação do IQR foram obtidas as seguintes notas:

- aterro de Timbó: 9,77
- aterro de Itajaí: 7,77

O enquadramento do aterro de resíduos de Timbó como aterro sanitário em condições ótimas mostra-se coerente, visto que, o mesmo foi construído em local adequado, utilizando-se de materiais de qualidade, é operado de forma correta, sendo considerado pela FATMA como exemplo para o Estado de Santa Catarina, tendo recebido investimentos de quase R\$ 2.000.000,00³ na sua implantação e em 2003 foi agraciado com o Prêmio Expressão de Ecologia na categoria Gestão de Resíduos Sólidos Municipais⁴.

A nota do aterro poderia ter sido maior caso o mesmo dispusesse de um sistema de tratamento físico-químico de líquidos percolados.

Da mesma forma, o enquadramento do aterro de resíduos de Itajaí como aterro controlado em condições mínimas é coerente, uma vez que, em decorrência do “Programa Lixo Nosso de Cada Dia” o mesmo passou recentemente por um processo de recuperação ambiental, tendo em vista que tratava-se de um lixão até pouco tempo atrás. Neste processo de

³ <http://www.samaetimbo.com.br/news.php>

⁴ http://www.expressao.com.br/ecologia/conteudos/vencedores/ecologia_venc03.htm

recuperação foram implantados sistemas de impermeabilização de base, drenagem e tratamento de percolados, drenagem de biogás e sistema de monitoramento ambiental.

Com relação aos resultados obtidos com o IQR, tanto para o aterro de Timbó, quanto para o aterro de Itajaí, o indicador mostrou-se mais exigente, principalmente pela utilização de critérios mais restritivos e pelas diferenças na ponderação. Além disso, o IQR utiliza um número maior de critérios, o que pode causar uma compensação entre os mesmos, onde uma avaliação muito negativa sobre um critério, pode ser compensada por uma avaliação mais positiva sobre outros critérios.

De qualquer forma os resultados obtidos com o IQR serviram para confirmar as notas de desempenho atribuídas pela soma ponderada.

Avaliação comparativa

Além do enquadramento dos aterros de resíduos nas categorias estabelecidas, também podem ser realizadas avaliações comparativas entre os aterros avaliados. Por exemplo, para o estabelecimento de uma classificação entre vários aterros.

A avaliação comparativa entre os dois aterros de resíduos pode ser feita, como no caso anterior por um procedimento de análise multicritério. Foi feita a opção pela utilização de um método de análise multicritério que é conhecido pelo nome de TOPSIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution. (TZENG, LIN e OPRICOVIC, 2004). Ele é um método mais adequado para a finalidade do que a soma ponderada tradicional.

TOPSIS é uma técnica para ordenar preferências por similaridade com a solução ideal e mais afastada da solução ideal-negativa em um espaço de computação multidimensional. Esse espaço é determinado pelo conjunto de critérios como sendo as dimensões. A solução ideal representa uma alternativa virtual com um conjunto dos melhores escores para cada critério e a solução ideal-negativa é uma alternativa virtual com os piores escores. De acordo com Tzeng, Lin e Opricovic (2004), para aplicação do método é necessária a execução dos seguintes passos:

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}}$$

1. Normalização da matriz de decisão D: feito de acordo com a equação:

		Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Ca6	Ca7	Ca8	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Ca6	Ca7	Ca8	Ca9	Ca10	Co1	Co2	Co3	Co4	Co5	Co6	Co7
D =	A1	X _{1,1}	X _{1,2}	X _{1,3}	X _{1,4}	X _{1,5}	X _{1,6}	X _{1,7}	X _{1,8}	X _{1,9}	X _{1,10}	X _{1,11}	X _{1,12}	X _{1,13}	X _{1,14}	X _{1,15}	X _{1,16}	X _{1,17}	X _{1,18}	X _{1,19}	X _{1,20}	X _{1,21}	X _{1,22}	X _{1,23}	X _{1,24}	X _{1,25}
	A2	X _{2,1}	X _{2,2}	X _{2,3}	X _{2,4}	X _{2,5}	X _{2,6}	X _{2,7}	X _{2,8}	X _{2,9}	X _{2,10}	X _{2,11}	X _{2,12}	X _{2,13}	X _{2,14}	X _{2,15}	X _{2,16}	X _{2,17}	X _{2,18}	X _{2,19}	X _{2,20}	X _{2,21}	X _{2,22}	X _{2,23}	X _{2,24}	X _{2,25}

A₁ = Aterro de Timbó

A₂ = Aterro de Itajaí

Ca1...Co7 = Critérios definidos

X_{1,1}...X_{2,25} = (X_{i,j}) Avaliação das ações para todos os critérios

A matriz D a ser normalizada é a seguinte:

		Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Ca6	Ca7	Ca8	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Ca6	Ca7	Ca8	Ca9	Ca10	Co1	Co2	Co3	Co4	Co5	Co6	Co7
D =	A ₁	10	10	5	10	5	10	10	5	10	10	10	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	A ₂	5	10	5	5	10	10	10	5	10	5	5	5	10	10	10	10	10	10	0	5	10	10	5	5	10

A matriz D normalizada é a seguinte:

		Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Ca6	Ca7	Ca8	Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Ca6	Ca7	Ca8	Ca9	Ca10	Co1	Co2	Co3	Co4	Co5	Co6	Co7
D =	A ₁	0,213	0,213	0,107	0,213	0,107	0,213	0,213	0,107	0,213	0,213	0,213	0,107	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213	0,213
	A ₂	0,120	0,241	0,120	0,120	0,241	0,241	0,241	0,120	0,241	0,120	0,120	0,120	0,241	0,241	0,241	0,241	0,241	0,241	0,000	0,241	0,241	0,241	0,120	0,120	0,241

2. Construção da matriz normalizada ponderada WY

W =	Wa1	Wa2	Wa3	Wa4	Wa5	Wa6	Wa7	Wa8	Wi1	Wi2	Wi3	Wi4	Wi5	Wi6	Wi7	Wi8	Wi9	Wi10	Wo1	Wo2	Wo3	Wo4	Wo5	Wo6	Wo7
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Sendo W a matriz dos pesos dos critérios definidos, com somatório igual a 1 ou 100%, onde:

W =	Wa1	Wa2	Wa3	Wa4	Wa5	Wa6	Wa7	Wa8	Wi1	Wi2	Wi3	Wi4	Wi5	Wi6	Wi7	Wi8	Wi9	Wi10	Wo1	Wo2	Wo3	Wo4	Wo5	Wo6	Wo7
	3,85	2,59	4,31	5,29	4,31	4,49	3,57	2,76	2,30	5,75	5,75	5,75	4,31	4,03	1,44	4,31	3,05	2,47	2,76	4,77	5,29	5,75	5,75	2,30	3,05

Para normalização ponderada da Matriz WY utiliza-se a fórmula $WY = v_{ij} = w_i \cdot r_{ij}$, onde w_i é o peso definido para cada critério e r_{ij} os valores da matriz D normalizada.

		Ca1	Ca2	Ca3	Ca4	Ca5	Ca6	Ca7	Ca8	Ci1	Ci2	Ci3	Ci4	Ci5	Ci6	Ci7	Ci8	Ci9	Ci10	Co1	Co2	Co3	Co4	Co5	Co6	Co7
WY =	A ₁ [*]	8,201	8,201	4,120	8,201	4,120	8,201	8,201	4,120	8,201	8,201	8,201	4,120	8,201	8,201	8,201	8,201	8,201	8,201	8,201	8,201	8,201	8,201	8,201	8,201	8,201
	A ₂ [*]	4,620	9,279	4,620	4,620	9,279	9,279	9,279	4,620	9,279	4,620	4,620	4,620	9,279	9,279	9,279	9,279	9,279	9,279	0,000	4,620	9,279	9,279	4,620	4,620	9,279

* 1×10^{-3}

3. Determinação da solução ideal e ideal negativa

A^+ = alternativa para o melhor desempenho

$$A^+ = \{ v^+_1, v^+_2, \dots, v^+_m \} = \{ (\max.v_{i1}), (\max.v_{i2}), \dots, (\max.v_{in}) \} \quad \forall i = 1, \dots, m$$

A^- = Alternativa para o pior desempenho

$$A^- = \{ v^-_1, v^-_2, \dots, v^-_m \} = \{ (\min.v_{i1}), (\min.v_{i2}), \dots, (\min.v_{in}) \} \quad \forall i = 1, \dots, m$$

Para este estudo, os maiores valores estão associados ao melhor desempenho, ou seja, maior nota atribuída ao critério. Dessa forma, o conjunto de valores ideais é aquele compostos pelos maiores valores associados a cada critério. Assim, tem-se:

$$A^+ = (0,00821; 0,009279; 0,00462; 0,00821; 0,009279; 0,009279; 0,009279; 0,00462; 0,009279; 0,008201; 0,008201; 0,00462; 0,009279; 0,009279; 0,009279; 0,009279; 0,009279; 0,0082; 0,009279; 0,009279; 0,009279; 0,008201; 0,008201; 0,009279)$$

$$A^- = (0,00462; 0,008201; 0,00412; 0,00462; 0,00412; 0,008201; 0,008201; 0,00412; 0,008201; 0,00462; 0,00462; 0,00412; 0,008201; 0,008201; 0,008201; 0,008201; 0,008201; 0,000; 0,008201; 0,00462; 0,008201; 0,00462; 0,00462; 0,008201)$$

4. Cálculo das medidas de separação

Nesta etapa são calculados os valores a ser utilizados como medidas de separação, sendo que a solução ideal e ideal negativa são obtidas da seguinte forma:

$$D^+_j = \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_{ij} - v^+_i)^2}$$

Onde:

v_{ij} são os valores da matriz YW e v^+_i são os valores do conjunto A^+ (ideal)

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_{ij} - \bar{v}_i)^2}$$

Onde :

v_{ij} são os valores da matriz YW e \bar{v}_i são os valores do conjunto A⁻ (ideal negativo)

Dessa forma, para o Aterro de Timbó tem-se:

$$D_j^+ = 0,006517$$

$$D_j^- = 0,012529$$

Para o Aterro de Itajaí tem-se

$$D_j^+ = 0,012529$$

$$D_j^- = 0,006517$$

5. Cálculo da aproximação relativa com a solução ideal com a solução ideal negativa.

A partir dos valores das medidas de separação, é calculado o índice P_{ij} que corresponde ao índice de prioridade de cada ação. PI permite estabelecer uma ordem de classificação. Quando PI se aproxima de 1, a alternativa é dita “ideal”. Ao contrário, aproximando-se de zero, ela se aproxima da solução não ideal.

$$PI_j = \frac{D_j^-}{D_j^+ + D_j^-}$$

Assim, tem-se para o Aterro de Timbó o índice $P_{ij} = 0,658$ e para o Aterro da Itajaí o índice $P_{ij} = 0,342$.

A partir dos resultados obtidos, pode-se observar que o aterro que se encontra em melhor situação é aquele cujo valor de PI mais se aproxima de 1, alternativa é dita “ideal”, que é o aterro de resíduos de Timbó.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento de indicadores de qualidade para diferentes sistemas ambientais constitui-se de um processo relativamente novo, sendo que a principal dificuldade ainda reside na obtenção de dados, tanto no que se refere à disponibilidade dos mesmos, quanto à sua qualidade. Por isso, torna-se urgente a construção e disseminação de mecanismos que assegurem o controle da qualidade de dados, proporcionem algum grau de padronização e, de alguma forma, incentivem à sua avaliação.

No contexto da situação dos resíduos sólidos em Santa Catarina, onde pode-se verificar a situação privilegiada do Estado com relação à destinação final de resíduos, como resultado do Programa do Ministério Público Estadual em parceria com a FATMA, Polícia Ambiental e a FECAM, o desenvolvimento de um indicador de qualidade para avaliação dos aterros de resíduos existentes, torna-se imperativo para manutenção da qualidade de tais sistemas.

Dessa forma, este trabalho foi realizado com o objetivo geral de desenvolver um indicador para a avaliação da qualidade de aterros de resíduos, baseado nos critérios de características da área do aterro, infra estrutura existente e condições de operação, sendo que estes critérios foram estabelecidos a partir da pesquisa das principais características técnicas dos aterros de resíduos, bem como da legislação e normas técnicas vigentes.

Assim, para cada critério de avaliação foram apresentados 3 possíveis parâmetros de enquadramento do aterro de resíduos, sendo que na descrição de cada critério foi apresentada a importância do mesmo dentro do sistema avaliado. Além disso, procurou-se eliminar a subjetividade dos parâmetros de avaliação pelo estabelecimento de situações mensuráveis, como por exemplo, a permeabilidade do solo, que foi relacionada ao coeficiente de permeabilidade (K), que pode ser medido por meio de análises laboratoriais.

Para definição do indicador de desempenho, a atribuição dos pesos aos critérios foi feita a partir do conhecimentos de diversos profissionais da área de resíduos sólidos, fazendo com que a ponderação dos critérios reflita a importância de cada um dentro do sistema. Deve-

se ressaltar que ponderação apresentada neste trabalho constitui uma sugestão e que, somente com a utilização constante do indicador será possível verificar se a mesma está adequada.

Com relação ao método utilizado para agregação dos critérios (soma ponderada), pode-se afirmar que revela-se bastante conveniente, visto a sua simplicidade de utilização e de entendimento do resultado obtido. O método apresenta, entretanto um ponto fraco, que consiste na compensação de critérios. Um bom desempenho em um critério compensa um mau desempenho em outro. Isto pode ser particularmente problemático nos casos do enquadramento dos aterros. A aplicação do IQR, por sua vez, demonstrou que o indicador proposto é mais exigente na avaliação de aterros de resíduos e também serviu para confirmar as notas de desempenho atribuídas pela soma ponderada.

Quanto ao enquadramento dos aterros de resíduos avaliados, procurou-se definir a melhor forma para a avaliação dos mesmos, de acordo com a nota recebida. Desta forma, foram atribuídos 3 grupos de avaliação: lixão, aterro controlado e aterro sanitário, sendo que para os dois últimos foram feitas subdivisões de desempenho.

A aplicação do indicador de desempenho em aterros de resíduos demonstrou a aplicabilidade do método, visto que as notas recebidas são coerentes com a situação em que se encontram os aterros avaliados.

No entanto deve-se destacar as restrições do indicador para avaliar aterros de resíduos fora dos extremos da escala de enquadramento. A avaliação de aterros que estão em situação adequada é mais fácil pois a atribuição da notas se dá pelo atendimento aos critérios de avaliação na melhor situação possível, da mesma forma que os aterros em condições inadequadas, classificados como lixões são de fácil enquadramento, visto que, praticamente todos os critérios são classificados como a pior situação possível. A dificuldade está em avaliar aterros de resíduos que estão em uma escala intermediária, pois muitas vezes a classificação de um critério importantes na pior situação não é capaz de rebaixar a nota o bastante para enquadrar o aterro corretamente. Esta restrição pode ser solucionada com a informatização do indicador de desempenho, pois assim quando for avaliado o aterro, mesmo que a nota seja alta em virtude do atendimento a vários critérios, o sistema pode informar o

não atendimento a critérios fundamentais para a classificação do aterro, ou seja, é possível criar um sistema de veto para o indicador de avaliação de desempenho.

No contexto da ponderação dos critérios, recomenda-se a constante aferição dos pesos atribuídos, buscando-se verificar se os mesmos estão adequados para o objetivo proposto. Da mesma forma, devem-se revisar constantemente os critérios de avaliação, visto que, os mesmos estão baseados em normas técnicas, legislação e em tecnologias de controle ambiental, que são periodicamente atualizadas. Um exemplo de incremento do critério de avaliação “monitoramento ambiental” seria a inclusão do monitoramento dos gases.

Como sugestão para continuidade do trabalho, indica-se uma simulação mais exaustiva das combinações possíveis de resultados (análise de sensibilidade) de modo a dirimir dúvidas a respeito das categorias de enquadramento. Além do mais, a informatização do indicador, buscando eliminar possíveis problemas de avaliação, possibilitando a indicação de quais são as medidas mais adequadas para a melhorar a situação dos aterros avaliados.

Finalmente, a aplicação do indicador de avaliação de desempenho de aterros de resíduos, no Estado de Santa Catarina, possibilitará conhecer a situação do ponto de vista qualitativo dos sistemas em operação, facilitando assim, a tomada de decisão dos envolvidos no processo de gerenciamento de resíduos sólidos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10.004: Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 1987. 63 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1984. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos; NBR 8419. São Paulo. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1997. Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação; NBR 13896. Rio de Janeiro. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1992. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos; NBR 8419. Rio de Janeiro. 7 p.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos. EESC-USP. São Carlos – SP. 1999. 120 p.

BIDONE, F. R. A. (Coordenador) – Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: Eliminação e valorização. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB2. 1a ed. Porto Alegre: Editora RiMa/ABES. 2001. 240 p.

BORJA, Patrícia Campos.; MORAES, Luiz Roberto Santos. Sistema de indicadores de saúde ambiental-saneamento em políticas públicas. BAHIA ANÁLISE & DADOS. Salvador - BA SEI v.10 n.4 p. 229-244, Março 2001.

BRAGA, Tania Moreira. et al.. Índices de sustentabilidade municipal: o desafio de mensurar. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 2003. 22 p.

BRANCO, S. M. Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. 3a ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986. 640 p.

CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações – Fundamentos Volume 1. 6a ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 1988. 234 p.

CASARINI, Dorothy Carmen Pinatti. Poluição do solo. São Paulo: Instituto de Geociências – USP, 1998. 35 p.

CHRISTENSEN, T. H.; COSSU, R.; STEGMANN, R. Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact. San Diego: Academic Press, 1989. 592 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Aterros Sanitários em Valas. Apostilas Ambientais. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. São Paulo, 1997. 34 p.

COMPANHIA MELHORAMENTOS DA CAPITAL. Caracterização Física dos Resíduos Sólidos Urbanos de Florianópolis. Relatório Final. Florianópolis, 2002. 112 p. Disponível em <www.comcap.org.br/artigos/relatorio.pdf> Acesso em: julho de 2004.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução N.º 283, de 12 de julho de 2001. Dispõe sobre o tratamento e destinação final dos resíduos sólidos dos serviços de saúde. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 01 out., 2001. 5 p.

DEPONTI, Cidonea Machado.; ECKERT, Córdula.; AZAMBUJA, José Luiz Bortoli de. Estratégia para construção de indicadores para avaliação da sustentabilidade e monitoramento de sistemas. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável. Porto Alegre, v3, n.4, out/dez 2002.

ESTY, Daniel C. et al.. 2005 Environmental Sustainability Index: Benchmarking National Environmental Stewardship. New Haven, Conn.: Yale Center for Environmental Law & Policy.

FERNANDES, Djair Roberto. Uma contribuição sobre a construção de indicadores e sua importância para a gestão empresarial. Revista da FAE, Curitiba, v.7, n.1, p.1-18, jan/jun. 2004.

FERREIRA, João Alberto. Uma revisão das técnicas de tratamento de chorume e a realidade dos Estado do Rio de Janeiro. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2001, João Pessoa. Trabalhos Técnicos. João Pessoa: ABES, 2001. 9p.

FERREIRA, A. L. et al.. Inventário Estadual de Resíduos Sólidos. Versão 2. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. São Paulo, 2003. 42 p.

FINNVEDEN G, HOFSTETTER P, BARE J, BASSON L, CIROTH A, METTIER T, SEPPALA J, JOHANSSON J, NORRIS G, VOLKWEIN S. (2002). Normalization, grouping and weighting in life-cycle impact assessment. In Helias A., Udo de Haes et

al.(2002) Life-Cycle Impact Assessment: striving towards best practice. Editors. SETAC.

FORGE, Isabelle. Información e Indicadores Ambientales Urbanos. Sie: Comisión Económica para la América Latina y el Caribe, 1994.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. Pesquisa de Balneabilidade. Disponível em: <<http://www.fatma.sc.gov.br/serviços/balneabilidade.htm>> Acesso em: Fevereiro de 2005.

GANDOLLA, Mauro. Segurança e controle de migração subterrânea do biogás de aterros sanitários. In: IX SILUBESA – SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Seguro. Trabalhos Técnicos. Porto Seguro: ABES, 2000. 13p.

FIÚZA, J. M., OLIVEIRA, L. T. Matriz interativa para a escolha locacional de aterro sanitário. In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1997, Foz do Iguaçu. Trabalhos Técnicos. Foz do Iguaçu: ABES, 1997. P. 1754-1758.

GARIGLIO, L. P. Metodologia racional para monitoramento ambiental de aterros de resíduos sólidos urbanos. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2003, Joinville. Trabalhos Técnicos. Joinville: ABES, 2003. 11 p.

GOUMES, M; LYGEROU, V. An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects. European Journal of Operational Research, 2000. n.123, p.606-613.

GROVE, L. Velma. Índices Ambientais: Uma Visão Geral. REVISTA ISWA TIMES, Edição n. 3, 2001.

HAMADA, J.; MATSUNAGA, I. Concepção do Sistema de Tratamento de Chorume para o Aterro Sanitário de Ilhéus – BA. In: IX SILUBESA – SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Seguro. Trabalhos Técnicos. Porto Seguro: ABES, 2000. 10 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS E COMPROMISSO EMPRESARIAL COM A RECICLAGEM – IPT e CEMPRE. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. 2 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 199 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL – IBAM. Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2000, Departamento de População e Indicadores Sociais. - Rio de Janeiro : IBGE, 2002. 431 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo 2000 – Sinopse Preliminar, Departamento de População e Indicadores Sociais. - Rio de Janeiro : IBGE, 2002. 431 p.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO HUMANO SUSTENTÁVEL. Estimativas do IDH - Metodologia. Disponível em http://www.virtual.pucminas.br/idhs/site/conteudo/pesq_dh_oqueeh. Acesso em: março de 2005.

JUCÁ, J. F. T. Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. In: 5º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO'2003, Porto Alegre, 2003. 32 p.

MACIEL, Felipe Jucá. Estudo de geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE. Recife, 2003. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Pernambuco. 173p.

MAYSTRE, L. Y.; BOLLINGER, D. Aide à la négociation multicritère. 1. ed. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 1999.

KAIMOTO, Luis Sérgio et. al.. Relatório de Impacto ao Meio Ambiente – RIMA; Aterro Sanitário e Industrial Classe II, CEPOLLINA Engenheiros Consultores S/C Ltda. Içara/SC, 2004. 238 p.

KAIMOTO, Luis Sérgio. Informações sobre aterros sanitários. [mensagem pessoal] Mensagem recebida <lskaimoto@sti.com.br> em 02 de setembro 2004.

KROETZ, C. E. Automatização do dimensionamento e da apropriação de custos para aterros sanitários em trincheiras para municípios de pequenos porte. Florianópolis, 2003. Dissertação (Mestrado em engenharia ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. 131 p.

LIMA, J. D. Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil. João Pessoa, 2003. 267 p.

LIMA, D. C. et al. Municipal Solid Waste Landfill Lining and Cover Regulations. In: 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, Porto Alegre, 2003. 18 p.

LUPATINI, G. Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão em escolha de áreas para aterros sanitários. Florianópolis, 2002. Dissertação (Mestrado em engenharia ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. 147 p.

McBEAN, E. A.; ROVERS, F. A.; FARQUHAR, G. J. Solid Waste Landfill Engineering and Design. Prentice-Hall, NJ. 1995, 521 pg.

MINISTÉRIO PÚBLICO ESTADUAL - MPSC. Programa Lixo Nosso de Cada Dia. Florianópolis, Dezembro de 2004.

PEREIRA NETO. J. T. Manual de Compostagem Processo de Baixo Custo. UNICEF. Belo Horizonte, 1996. 56 p.

PEREIRA, Sibeli Warmling. Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos. Aplicação de avaliação do ciclo de vida. Florianópolis, 2004. Dissertação (mestrado em engenharia ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. 121 p.

PINEDA. S. I. Manejo Y Disposicion de Resíduos Sólidos Urbanos. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria Y Ambeintal. Santafé de Bogotá – Colombia, 1998. 388 p.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD. Índice de Desenvolvimento Humano – IDH. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/atlas/>. Acesso Fevereiro de 2005.

ROCCA, A. C. et al. Resíduos Sólidos Industriais. 2 ed. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, 1993. 233 p.

RECICLE CATARINENSE DE RESÍDUOS LTDA. Corpo Técnico. Informações sobre operação de aterros sanitários. Brusque, 2004.

SANTA CATARINA. Coletânea da legislação ambiental aplicável no Estado de Santa Catarina. Florianópolis : FATMA, 2002. 524 p.

SEPPÄLÄ, J. and R. P. Hämäläinen (2001): On the meaning of the distance-to-target weighting method and normalization in life cycle impact assessment. *Int. Journal of LCA* 6(4): 211-218.

SILVA, Vanessa Gomes. Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: Diretrizes e Base Metodológica. São Paulo, 2003. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Engenharia junto ao Departamento de Engenharia de Construção Civil.

SOARES, Sebastião Roberto. Avaliação Ambiental de Sistemas - Apoio à decisão aplicada à gestão ambiental: Notas de Aula. Florianópolis, 2003.

SOARES, S. R. Toffoletto, L. and Deschênes, L (2004). Development of weighting factors in the context of a Canadian LCIA method, *Journal of cleaner production* (no prelo).

STEEN, B. (1999) A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). Version 2000. Göteborg, Se: Chalmers Univ. of Technology. CPM report 1999:5.

TCHOBANOGLIOUS. G.; THEISEN, H.; VIRGIL, S. Integrated solid waste management: engineering principles and management issues. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1993.

TEIXEIRA, Raquel Souza, et. al.. Critérios geotécnicos para seleção de áreas aptas para aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos – metodologia aplicada ao caso de Londrina. In: 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, Porto Alegre, 2003. 10 p.

TZENG, G.; LIN, C. e OPRICOVIC, S. Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. *Energy Policy*. Elsevier. 2004. 11 p.

United States Environmental Protection Agency – U.S.EPA. Seminar Publication – Design, Operation, and Closure of Municipal Solid Waste Landfills. Cincinnati, OH, 1994. 86 p.

VILAR, M. O. Geossintéticos em Aplicações Ambientais. In: 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, Porto Alegre, 2003. 18 p.

9. APÊNDICE A – PLANILHA DE RESPOSTAS DOS PARTICIPANTES DO PROCESSO DE DEFINIÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS.

Participante: Sebastião Roberto Soares.

Área de Atuação: Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

MATRIZ PARA DEFINIÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

<i>Grupo</i>	<i>Critério</i>	<i>Nível</i>		
		1	2	3
Critérios de avaliação segundo as características da área	Capacidade de suporte do solo		X	
	Distância de núcleos habitacionais			X
	Distância de recursos hídricos		X	
	Profundidade do lençol freático	X		
	Permeabilidade do solo		X	
	Disponibilidade de material de cobertura		X	
	Qualidade do material de cobertura	X		
	Condições de acesso ao aterro de resíduos			X
Critérios de avaliação segundo a infra-estrutura existente	Isolamento visual da área			X
	Impermeabilização de base	X		
	Drenagem de percolados	X		
	Tratamento de percolados	X		
	Drenagem de águas pluviais	X		
	Equipamento para compactação dos resíduos		X	
	Equipamentos para serviços diversos			X
	Drenagem de gases	X		
	Controle no recebimento de resíduos		X	
	Cerca de isolamento da área		X	
Critérios de avaliação segundo as condições de operação	Presença de animais			X
	Estabilidade do maciço de resíduos	X		
	Recobrimento dos resíduos	X		
	Monitoramento ambiental	X		
	Eficiência do sistema de tratamento de percolados	X		
	Local de lançamento do efluente tratado			X
	Acesso à frente de operação			X

Nível 1 – ALTA IMPORTÂNCIA | Nível 2 – MÉDIA IMPORTÂNCIA | Nível 3 – BAIXA IMPORTÂNCIA

Participação: Armando Borges de Castilhos Jr.

Área de Atuação: Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

MATRIZ PARA DEFINIÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

<i>Grupo</i>	<i>Critério</i>	<i>Nível</i>		
		1	2	3
Critérios de avaliação segundo as características da área	Capacidade de suporte do solo		X	
	Distância de núcleos habitacionais		X	
	Distância de recursos hídricos	X		
	Profundidade do lençol freático	X		
	Permeabilidade do solo	X		
	Disponibilidade de material de cobertura			X
	Qualidade do material de cobertura		X	
	Condições de acesso ao aterro de resíduos		X	
Critérios de avaliação segundo a infra-estrutura existente	Isolamento visual da área		X	
	Impermeabilização de base	X		
	Drenagem de percolados	X		
	Tratamento de percolados	X		
	Drenagem de águas pluviais	X		
	Equipamento para compactação dos resíduos			X
	Equipamentos para serviços diversos			X
	Drenagem de gases		X	
	Controle no recebimento de resíduos		X	
	Cerca de isolamento da área		X	
Critérios de avaliação segundo as condições de operação	Presença de animais		X	
	Estabilidade do maciço de resíduos	X		
	Recobrimento dos resíduos	X		
	Monitoramento ambiental	X		
	Eficiência do sistema de tratamento de percolados	X		
	Local de lançamento do efluente tratado		X	
	Acesso à frente de operação		X	

Nível 1 – ALTA IMPORTÂNCIA | Nível 2 – MÉDIA IMPORTÂNCIA | Nível 3 – BAIXA IMPORTÂNCIA

Participante: Luiz Antonio Correa Garcia

Área de Atuação: Licenciamento Ambiental de Aterros Sanitários

MATRIZ PARA DEFINIÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

<i>Grupo</i>	<i>Critério</i>	<i>Nível</i>		
		1	2	3
Critérios de avaliação segundo as características da área	Capacidade de suporte do solo	x		
	Distância de núcleos habitacionais		x	
	Distância de recursos hídricos		x	
	Profundidade do lençol freático	x		
	Permeabilidade do solo	x		
	Disponibilidade de material de cobertura	x		
	Qualidade do material de cobertura			x
	Condições de acesso ao aterro de resíduos	x		
Critérios de avaliação segundo a infra-estrutura existente	Isolamento visual da área		X	
	Impermeabilização de base	x		
	Drenagem de percolados	x		
	Tratamento de percolados	X		
	Drenagem de águas pluviais		x	
	Equipamento para compactação dos resíduos	x		
	Equipamentos para serviços diversos			x
	Drenagem de gases		x	
	Controle no recebimento de resíduos		x	
	Cerca de isolamento da área			x
Critérios de avaliação segundo as condições de operação	Presença de animais		X	
	Estabilidade do maciço de resíduos	x		
	Recobrimento dos resíduos	x		
	Monitoramento ambiental	x		
	Eficiência do sistema de tratamento de percolados	x		
	Local de lançamento do efluente tratado		x	
	Acesso à frente de operação		x	

Nível 1 – ALTA IMPORTÂNCIA | Nível 2 – MÉDIA IMPORTÂNCIA | Nível 3 – BAIXA IMPORTÂNCIA

Participante: Fábio João da Silva

Área de Atuação: Operação de aterro sanitário

MATRIZ PARA DEFINIÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

<i>Grupo</i>	<i>Critério</i>	<i>Nível</i>		
		1	2	3
Critérios de avaliação segundo as características da área	Capacidade de suporte do solo		X	
	Distância de núcleos habitacionais		X	
	Distância de recursos hídricos	X		
	Profundidade do lençol freático	X		
	Permeabilidade do solo		X	
	Disponibilidade de material de cobertura	X		
	Qualidade do material de cobertura		X	
	Condições de acesso ao aterro de resíduos		X	
Critérios de avaliação segundo a infra-estrutura existente	Isolamento visual da área		X	
	Impermeabilização de base	X		
	Drenagem de percolados	X		
	Tratamento de percolados	X		
	Drenagem de águas pluviais		X	
	Equipamento para compactação dos resíduos	X		
	Equipamentos para serviços diversos			X
	Drenagem de gases		X	
	Controle no recebimento de resíduos		X	
	Cerca de isolamento da área			X
Critérios de avaliação segundo as condições de operação	Presença de animais		X	
	Estabilidade do maciço de resíduos		X	
	Recobrimento dos resíduos	X		
	Monitoramento ambiental	X		
	Eficiência do sistema de tratamento de percolados	X		
	Local de lançamento do efluente tratado		X	
	Acesso à frente de operação		X	

Nível 1 – ALTA IMPORTÂNCIA | Nível 2 – MÉDIA IMPORTÂNCIA | Nível 3 – BAIXA IMPORTÂNCIA

Participante: Galdino Savi

Área de Atuação: Operação de aterro sanitário

MATRIZ PARA DEFINIÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

<i>Grupo</i>	<i>Critério</i>	<i>Nível</i>		
		1	2	3
Critérios de avaliação segundo as características da área	Capacidade de suporte do solo	X		
	Distância de núcleos habitacionais		X	
	Distância de recursos hídricos	X		
	Profundidade do lençol freático		X	
	Permeabilidade do solo	X		
	Disponibilidade de material de cobertura	X		
	Qualidade do material de cobertura	X		
	Condições de acesso ao aterro de resíduos		X	
Critérios de avaliação segundo a infra-estrutura existente	Isolamento visual da área		X	
	Impermeabilização de base	X		
	Drenagem de percolados	X		
	Tratamento de percolados	X		
	Drenagem de águas pluviais	X		
	Equipamento para compactação dos resíduos		X	
	Equipamentos para serviços diversos		X	
	Drenagem de gases	X		
	Controle no recebimento de resíduos	X		
	Cerca de isolamento da área	X		
Critérios de avaliação segundo as condições de operação	Presença de animais	X		
	Estabilidade do maciço de resíduos	X		
	Recobrimento dos resíduos		X	
	Monitoramento ambiental	X		
	Eficiência do sistema de tratamento de percolados	X		
	Local de lançamento do efluente tratado		X	
	Acesso à frente de operação	X		

Nível 1 – ALTA IMPORTÂNCIA | Nível 2 – MÉDIA IMPORTÂNCIA | Nível 3 – BAIXA IMPORTÂNCIA

Participante: Adriano Vitor Rodrigues Pina Pereira

Área de Atuação: Projetos de aterros sanitários

MATRIZ PARA DEFINIÇÃO DOS PESOS DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

<i>Grupo</i>	<i>Critério</i>	<i>Nível</i>		
		1	2	3
Critérios de avaliação segundo as características da área	Capacidade de suporte do solo		X	
	Distância de núcleos habitacionais		X	
	Distância de recursos hídricos		X	
	Profundidade do lençol freático	X		
	Permeabilidade do solo		X	
	Disponibilidade de material de cobertura	X		
	Qualidade do material de cobertura		X	
	Condições de acesso ao aterro de resíduos			X
Critérios de avaliação segundo a infra-estrutura existente	Isolamento visual da área			X
	Impermeabilização de base	X		
	Drenagem de percolados	X		
	Tratamento de percolados	X		
	Drenagem de águas pluviais		X	
	Equipamento para compactação dos resíduos	X		
	Equipamentos para serviços diversos			X
	Drenagem de gases	X		
	Controle no recebimento de resíduos			X
	Cerca de isolamento da área			X
Critérios de avaliação segundo as condições de operação	Presença de animais			X
	Estabilidade do maciço de resíduos		X	
	Recobrimento dos resíduos	X		
	Monitoramento ambiental	X		
	Eficiência do sistema de tratamento de percolados	X		
	Local de lançamento do efluente tratado			X
	Acesso à frente de operação		X	

Nível 1 – ALTA IMPORTÂNCIA | Nível 2 – MÉDIA IMPORTÂNCIA | Nível 3 – BAIXA IMPORTÂNCIA

**10. APÊNDICE B – APLICAÇÃO DA MATRIZ DE DESEMPENHOS NOS
ATERROS DE RESÍDUOS DE TIMBÓ E DE ITAJAÍ**

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Aterro: Timbó		Data: 18/03/2005
Local: Município de Timbó - SC		Gerenciamento: <input checked="" type="checkbox"/> Público <input type="checkbox"/> Privado
Nº Município atendidos: 9		Técnico Responsável: Engº David César A. G. Vieira
Resíduos: 61 ton./dia		Condições climáticas: <input checked="" type="checkbox"/> bom <input type="checkbox"/> nublado <input type="checkbox"/> chuva
<i>CARACTERÍSTICAS DA ÁREA</i>		
Critérios	Parâmetros de avaliação	Class.
Capacidade de suporte do solo	$Cu > 1,0 \text{ kg/m}^2$	X
	$0,5 < Cu < 1,0 \text{ kg/m}^2$	
	$Cu < 0,5 \text{ kg/m}^2$	
Distância de núcleos habitacionais	$D > 500 \text{ m}$ de núcleos habitacionais	X
	$D < 500 \text{ m}$ de residências isoladas	
	$D < 500 \text{ m}$ de núcleos habitacionais	
Distância de recursos hídricos	$D \geq 200 \text{ m}$ para cursos d'água e $D \geq 50 \text{ m}$ para nascentes e olhos d'água	
	$100 \leq D < 200 \text{ m}$ para cursos d'água	X
	$D \leq 100 \text{ m}$ para cursos d'água e/ou $< 50 \text{ m}$ para nascentes e olhos d'água	
Profundidade do lençol freático	$> 3 \text{ m}$	X
	de 1,5 a 3,0 m	
	$< 1,5 \text{ m}$	
Permeabilidade do solo	$K \leq 10^{-6} \text{ cm/s}$	
	$10^{-4} < K < 10^{-6} \text{ cm/s}$	X
	$K \geq 10^{-4} \text{ cm/s}$	
Disponibilidade de material de cobertura	Quantidade suficiente ($Q > 20\%$ do volume de resíduos dispostos)	X
	Quantidade insuficiente ($Q < 20\%$ do volume de resíduos dispostos)	
	Sem material de cobertura	
Qualidade do material de cobertura	Solo argiloso	X
	Solo siltoso	
	Solo arenoso	
Condições de acesso ao aterro sanitário	Acesso por estrada pavimentada (asfalto ou paralelepípedo)	
	Acesso por estrada com revestimento primário	X
	Acesso por estrada esburacada e sem revestimento primário	

INFRA-ESTRUTURA EXISTENTE

Critérios	Parâmetros de avaliação	Class.
Isolamento visual da área	Frente de serviço, sistema de tratamento e pátio interno isolados visualmente	X
	Estruturas do aterro visíveis fora da área do aterro, porém com a frente de serviço isolada	
	Frente de serviço visível fora da área do aterro	
Impermeabilização de base	Impermeabilização com dupla camada (argila compactada ou material sintético e PEAD)	X
	Impermeabilização com camada simples de argila compactada	
	Inexistente	
Drenagem de percolados	Camada drenante de brita ou areia, juntamente com com tubos de PEAD ou de concreto	X
	Drenagem com tubos de concreto ou PEAD envolto em brita	
	Inexistente	
Tratamento de percolados	Tratamento biológico e físico-químico	
	Tratamento biológico	X
	Inexistente	
Drenagem de águas pluviais	Drenagem provisória e definitiva	X
	Drenagem definitiva	
	Inexistente	
Equipamento para copactação dos resíduos	Adequado em porte, quantidade e disponibilidade	X
	Inadequado em porte, quantidade e/ou disponibilidade	
	Inexistente	
Equipamentos para serviços diversos	Caminhão e retroescavadeira	X
	Caminhão ou retroescavadeira	
	Inexistente	
Drenagem de gases	Drenos dispostos com distância de até 50 m	X
	Drenos dispostos com distância superior a 50 m	
	Inexistente	
Controle no recebimento de resíduos	Inspeção e pesagem	X
	Inspeção sem pesagem	
	Nenhum tipo de controle	
Cerca de isolamento da área	Cerca de isolamento condições adequada	X
	Cerca de isolamento em condições inadequadas	
	Inexistente	

CONDIÇÕES OPERACIONAIS		
Critérios	Parâmetros de avaliação	Class.
Presença de animais	Sem presença de urubus, gaivotas e moscas.	X
	Presença de moscas.	
	Presença de urubus, gaivotas e moscas.	
Estabilidade do maciço de resíduos	Aterro com: patamares ≤ 5 m; inclinação dos taludes $\cong 2:1$; recuo ≥ 3 m.	X
	Aterro com: inclinação dos taludes $\cong 2:1$; recuo ≥ 3 m.	
	Aterro que não atende a nenhuma das especificações acima	
Recobrimento dos resíduos	Recobrimento diário	X
	Recobrimento eventual (3 x semana)	
	Recobrimento inexistente (< 3 x semana)	
Monitoramento ambiental	Monitoramento de recursos hídricos, do sist. de tratamento e geotécnico (se necessário)	X
	Monitoramento dos recursos hídricos	
	Sem monitoramento ambiental.	
Eficiência do sistema de tratamento de percolados	Efluente atendendo a legislação ambiental	X
	Efluente atendendo parcialmente a legislação ambiental	
	Efluente com padrões de lançamento inadequados	
Local de lançamento do efluente tratado	Efluente lançado em rios	X
	Lançamento em canais de drenagem ou rios de pequeno porte.	
	Lançamento em valas de drenagem ou talvegues	
Acesso a frente de operação	Livre acesso a frente de serviço	X
	Difícil acesso em períodos de chuva	
	Sem condições de acesso a frente de serviço	

Nota: Class. = situação em que se encontra o aterro em relação ao critério avaliado

MATRIZ DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ATERROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Aterro: Itajaí		Data: 23/03/2005
Local: Município de Itajaí- SC		Gerenciamento: Público x Privado
Nº Município atendidos: 02		Técnico Responsável: Eng. Cláudio Santos
Resíduos: 110 ton./dia		Condições climáticas: x bom nublado chuva
<i>CARACTERÍSTICAS DA ÁREA</i>		
Critérios	Parâmetros de avaliação	Class.
Capacidade de suporte do solo	Cu > 1,0 kg/m ²	
	0,5 < Cu > 1,0 kg/m ²	x
	Cu < 0,5 kg/m ²	
Distância de núcleos habitacionais	D > 500 m de núcleos habitacionais	x
	D < 500 m de residências isoladas	
	D < 500 m de núcleos habitacionais	
Distância de recursos hídricos	D ≥ 200 m para cursos d'água e D ≥ 50 m para nascentes e olhos d'água	
	100 ≤ D < 200 m para cursos d'água	x
	D ≤ 100 m para cursos d'água e/ou < 50 m para nascentes e olhos d'água	
Profundidade do lençol freático	> 3 m	
	de 1,5 a 3,0 m	x
	< 1,5 m	
Permeabilidade do solo	K ≤ 10 ⁻⁶ cm/s	x
	10 ⁻⁴ < K > 10 ⁻⁶ cm/s	
	K ≥ 10 ⁻⁴ cm/s	
Disponibilidade de material de cobertura	Quantidade suficiente (Q > 20% do volume de resíduos dispostos)	x
	Quantidade insuficiente (Q < 20% do volume de resíduos dispostos)	
	Sem material de cobertura	
Qualidade do material de cobertura	Solo argiloso	x
	Solo siltoso	
	Solo arenoso	
Condições de acesso ao aterro sanitário	Acesso por estrada pavimentada (asfalto ou paralelepípedo)	
	Acesso por estrada com revestimento primário	x
	Acesso por estrada esburacada e sem revestimento primário	

INFRA-ESTRUTURA EXISTENTE

Critérios	Parâmetros de avaliação	Class.
Isolamento visual da área	Frente de serviço, sistema de tratamento e pátio interno isolados visualmente	x
	Estruturas do aterro visíveis fora da área do aterro, porém com a frente de serviço isolada	
	Frente de serviço visível fora da área do aterro	
Impermeabilização de base	Impermeabilização com dupla camada (argila compactada ou material sintético e PEAD)	
	Impermeabilização com camada simples de argila compactada	x
	Inexistente	
Drenagem de percolados	Camada drenante de brita ou areia, juntamente com com tubos de PEAD ou de concreto	
	Drenagem com tubos de concreto ou PEAD envolto em brita	x
	Inexistente	
Tratamento de percolados	Tratamento biológico e físico-químico	
	Tratamento biológico	x
	Inexistente	
Drenagem de águas pluviais	Drenagem provisória e definitiva	x
	Drenagem definitiva	
	Inexistente	
Equipamento para copactação dos resíduos	Adequado em porte, quantidade e disponibilidade	x
	Inadequado em porte, quantidade e/ou disponibilidade	
	Inexistente	
Equipamentos para serviços diversos	Caminhão e retroescavadeira	x
	Caminhão ou retroescavadeira	
	Inexistente	
Drenagem de gases	Drenos dispostos com distância de até 50 m	x
	Drenos dispostos com distância superior a 50 m	
	Inexistente	
Controle no recebimento de resíduos	Inspeção e pesagem	x
	Inspeção sem pesagem	
	Nenhum tipo de controle	
Cerca de isolamento da área	Cerca de isolamento condições adequada	x
	Cerca de isolamento em condições inadequadas	
	Inexistente	

CONDIÇÕES OPERACIONAIS		
Critérios	Parâmetros de avaliação	Class.
Presença de animais	Sem presença de urubus, gaivotas e moscas.	
	Presença de moscas.	
Estabilidade do maciço de resíduos	Presença de urubus, gaivotas e moscas.	x
	Aterro com: patamares ≤ 5 m; inclinação dos taludes $\cong 2:1$; recuo ≥ 3 m.	
	Aterro com: inclinação dos taludes $\cong 2:1$; recuo ≥ 3 m.	x
Recobrimento dos resíduos	Aterro que não atende a nenhuma das especificações acima	
	Recobrimento diário	x
	Recobrimento eventual (3 x semana)	
Monitoramento ambiental	Recobrimento inexistente (< 3 x semana)	
	Monitoramento de recursos hídricos, do sist. de tratamento e geotécnico (se necessário)	x
	Monitoramento dos recursos hídricos	
Eficiência do sistema de tratamento de percolados	Sem monitoramento ambiental.	
	Efluente atendendo a legislação ambiental	
	Efluente atendendo parcialmente a legislação ambiental	x
Local de lançamento do efluente tratado	Efluente com padrões de lançamento inadequados	
	Efluente lançado em rios	
	Lançamento em canais de drenagem ou rios de pequeno porte.	x
Acesso a frente de operação	Lançamento em valas de drenagem ou talwegues	
	Livre acesso a frente de serviço	x
	Difícil acesso em períodos de chuva	
	Sem condições de acesso a frente de serviço	

Nota: Class. = situação em que se encontra o aterro em relação ao critério avaliado

11. APÊNDICE C – APLICAÇÃO DO IQR NOS ATERROS DE RESÍDUOS DE TIMBÓ E DE ITAJAÍ

ÍNDICE DE QUALIDADE DE ATERROS DE RESÍDUOS – IQR

CARACTERÍSTICAS DO LOCAL				INFRA-ESTRUTURA IMPLANTADA				CONDIÇÕES OPERACIONAIS			
SUBITEM	AValiação	PESO	SITUAÇÃO	SUBITEM	AValiação	PESO	SITUAÇÃO	SUBITEM	AValiação	PESO	SITUAÇÃO
Capacidade de suporte do solo	Adequada Inadequada	5 0	X	Cercamento da área	Sim Não	2 0	X	Aspecto geral	Bom Ruim	4 0	X
Proximidade de núcleos habitacionais	Longe > 500 m Próximo	5 0	X	Portaria/Guarita	Sim Não	2 0	X	Ocorrência de lixo descoberto	Não Sim	4 0	X
Proximidade de corpos d'água	Longe > 200 m Próximo	3 0	X	Impermeabilização de base do aterro	Sim/Desneces. Não	5 0	X	Recobrimento do lixo	Adequado Inadequado Inexistente	4 1 0	X
Profundidade do lençol freático	> 3 m 1 a 3 m 0 a 1 m	4 2 0	X	Drenagem de chorume	Suficiente Insuficiente Nenhuma	5 1 0	X	Presença de urubus ou gaiotas	Não Sim	1 0	X
Permeabilidade do solo	Baixa Média Alta	5 2 0	X	Drenagem de águas pluviais (definitiva)	Suficiente Insuficiente Nenhuma	4 2 0	X	Presença de moscas em grande quantidade	Não Sim	2 0	X
Disponibilidade de material de cobertura	Suficiente Insuficiente Nenhuma	4 2 0	X	Drenagem de águas pluviais (provisória)	Suficiente Insuficiente Nenhuma	2 1 0	X	Presença de catadores	Não Sim	3 0	X
Qualidade do material de recobrimento	Bom Ruim	2 0	X	Trator de esteira ou compatível	Permanente Periodicamente Inexistente	5 2 0	X	Criação de animais	Não Sim	3 0	X
Condições do sistema viário, trânsito e acessos	Boas Regulares Ruins	3 2 0	X	Outros equipamentos, trânsito e acesso	Sim Não	1 0	X	Descarga de resíduos de serviços de saúde	Não/Adequada Sim	3 0	X
Isolamento visual da vizinhança	Bom Ruim	4 0	X	Sistema de tratamento de chorume	Suficiente Insuf./Inexist.	5 0	X	Descarga de resíduos industriais	Não/Adeq. Sim/Inadeq.	4 0	X
Legalização da localização	Local permitido Local proibido	5 0	X	Acesso à frente de trabalho	Bom Ruim	3 0	X	Funcionamento da drenagem pluvial definitiva	Bom Regular Inexistente	2 1 0	X
SUBTOTAL 1			37	Vigilantes	Sim Não	1 0	X	Funcionamento da drenagem pluvial provisória	Bom Regular Inexistente	2 1 0	X
<p align="center">RESULTADOS</p> <p align="center">IQR -----> 9,77</p> <p align="center">SITUAÇÃO</p> <p align="center">CONDIÇÕES ADEQUADAS PARA O ATERRO</p>				Sistema de drenagem de gases	Suficiente Insuficiente Inexistente	3 1 0	X	Funcionamento da drenagem de chorume	Bom Regular Inexistente	3 2 0	X
				Controle de recebimento de cargas	Sim Não	2 0	X	Funcionamento do sistema de tratamento de chorume	Bom Regular Inexistente	5 2 0	X
				Monitoramento de águas subterrâneas	Suficiente Insuficiente Inexistente	3 2 0	X	Funcionamento do sistema de monitorização das águas subterrâneas	Bom Regular Inexistente	2 1 0	X
				Atendimento a estipulações de projeto	Sim Parcialmente Não	2 1 0	X	Eficiência da equipe de vigilância	Boa Ruim	1 0	X
				SUBTOTAL 2			45	Manutenção dos acessos internos	Boa Regular Péssima	2 1 0	X
								SUBTOTAL 3			45