

GIANCARLO LUPATINI

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO EM
ESCOLHA DE ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS**

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

2002

**“DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO EM ESCOLHA
DE ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS”**

GIANCARLO LUPATINI

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 obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL
na Área de Tecnologias de Saneamento Ambiental.

Aprovado por:

Prof. Nicolau Obladen, MSc.

Prof. Arlindo Philipi Jr., Dr.

Prof. Armando Borges de Castilhos Jr., Dr.

Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr.
(Coordenador)

Prof. Sebastião Roberto Soares, Dr.
(Orientador)

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL
AGOSTO/2002

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental,
à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP),
ao Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) e
ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq),
pelo apoio institucional, técnico e financeiro.

A todos os amigos,
pelo aspecto humano manifestado nas horas difíceis.

Em especial, a minha família,
pelo amor incondicional manifestado das mais diversas formas.

“ Those Himalayas of the mind
Are not so easily possessed:
There’s more than precipice
and storm
Between you and your Everest.”
REINHOLD MESSNER¹

“O que se encontra atrás de nós e o que se encontra à frente
são problemas menores,
comparados com o que existe dentro de nós.”
OLIVER WENDEL HOLMES

¹ Primeiro homem a escalar todas as montanhas com mais de 8.000 metros, incluindo o Mt. Everest em solitário e sem oxigênio suplementar.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	I
LISTA DE QUADROS.....	IV
RESUMO.....	VI
ABSTRACT	VII
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	1
1.2 PREMISSA E HIPÓTESE DE TRABALHO.....	4
<i>1.2.1 Hipótese.....</i>	<i>4</i>
<i>1.2.2 Premissa</i>	<i>4</i>
1.3 OBJETIVOS	5
<i>1.3.1 Objetivo Geral.....</i>	<i>5</i>
<i>1.3.2 Objetivos Específicos.....</i>	<i>5</i>
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	5
2 ASPECTOS GERAIS DA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS EM ATERROS SANITÁRIOS	7
2.1 INTRODUÇÃO	7
2.2 CARACTERIZAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS.....	8
<i>2.2.1 Definições.....</i>	<i>8</i>
<i>2.2.2 Ciclo de vida.....</i>	<i>10</i>
<i>2.2.3 Classificação</i>	<i>11</i>

2.2.4	<i>Aspectos ambientais relacionados aos aterros sanitários</i>	15
2.3	ESCOLHA DE ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS	18
2.3.1	<i>Objetivos</i>	18
2.3.2	<i>Processo</i>	18
2.3.3	<i>Dados e informações</i>	19
2.3.3.1	Município	20
2.3.3.2	Áreas	21
2.3.4	<i>Estado da arte</i>	28
2.4	CONCLUSÕES	32
3	PRINCÍPIOS DA MODELAGEM DE CONHECIMENTOS E APOIO À DECISÃO	34
3.1	INTRODUÇÃO	34
3.2	SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO	35
3.2.1	<i>Fundamentos</i>	35
3.2.2	<i>Classificação</i>	37
3.2.3	<i>Estrutura</i>	38
3.2.4	<i>Sistemas especialistas</i>	40
3.3	APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO	43
3.3.1	<i>Análise multicritério</i>	43
3.3.2	<i>Histórico</i>	43
3.3.3	<i>Abordagens</i>	45
3.3.4	<i>Atores</i>	46
3.3.5	<i>Processo</i>	47
3.4	CONCLUSÕES	54
4	METODOLOGIA	56
4.1	AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTOS	56
4.2	ESTRUTURAÇÃO DOS CONHECIMENTOS	57

4.3	CODIFICAÇÃO	58
4.3.1	<i>Tecnologia adotada</i>	58
4.3.2	<i>Etapas</i>	58
4.4	AVALIAÇÃO	59
4.4.1	<i>Análise de sensibilidade</i>	60
4.4.2	<i>Verificação técnica</i>	60
5	ESTRUTURAÇÃO DO MODELO	62
5.1	MODELO CONCEITUAL ESTABELECIDO	62
5.2	INSTANCIAMENTO DO MODELO.....	64
5.2.1	<i>Etapa 1: Caracterização do Município</i>	65
5.2.2	<i>Etapa 2: Levantamento e triagem de áreas.....</i>	74
5.2.2.1	Informações Iniciais	74
5.2.2.2	Triagem preliminar	80
5.2.2.3	Informações Complementares	84
5.2.3	<i>Etapa 3: Avaliação das áreas potenciais</i>	94
5.2.3.1	Estruturação dos critérios e agregação dos parâmetros	94
5.2.3.2	Estrutura de avaliação segundo critérios ambientais	96
5.2.3.3	Estrutura de avaliação segundo critérios de engenharia	102
5.2.3.4	Estrutura de avaliação segundo critérios econômicos	105
5.2.3.5	Procedimentos de avaliação.....	109
5.2.4	<i>Etapa 4: Apoio à implantação.....</i>	114
6	CODIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO	116
6.1	PROTÓTIPO INFORMATIZADO.....	116
6.2	AVALIAÇÃO	121
6.2.1	<i>Análise de sensibilidade</i>	121
6.2.1.1	Avaliação da adequação de uma área	122
6.2.1.2	Avaliação comparativa entre áreas	130

7	CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES.....	135
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
	APÊNDICE A	148

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – ESTRATÉGIAS DE GESTÃO PARA OS RESÍDUOS PRODUZIDOS PELAS ATIVIDADES HUMANAS.	2
FIGURA 1.2 – UNIDADES DE DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COLETADOS – BRASIL – 2000	3
FIGURA 1.3 – ESTRUTURA DO TRABALHO.	6
FIGURA 2.1 – ELEMENTOS DE UM ATERRO SANITÁRIO.	10
FIGURA 2.2 – PROCESSO DE ESCOLHA DE ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS.	19
FIGURA 3.1– REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO AMBIENTE DE DECISÃO.....	35
FIGURA 3.2 – ESTRUTURAÇÃO DE CONHECIMENTOS ATRAVÉS DE FLUXOGRAMAS.	42
FIGURA 3.3 – OS TRÊS MUNDOS.....	46
FIGURA 3.4 – ETAPAS DO PROCESSO DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO.	47
FIGURA 4.1 – PROCESSO DE VERIFICAÇÃO TÉCNICA DO PROTÓTIPO INFORMATIZADO.	60
FIGURA 5.1 –MODELO CONCEITUAL ESTABELECIDO.	62
FIGURA 5.2 – PARÂMETROS DA ETAPA DE CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO.	65
FIGURA 5.3 – CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS DEMOGRÁFICOS.	70
FIGURA 5.4 – CARACTERIZAÇÃO DO SERVIÇO DE COLETA (PARTE I DE II).....	70
FIGURA 5.5 – CARACTERIZAÇÃO DO SERVIÇO DE COLETA (PARTE II DE II).....	71
FIGURA 5.6 – CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO PER CAPITA DE RESÍDUOS E DENSIDADE.	72
FIGURA 5.7 – CARACTERIZAÇÃO DA DENSIDADE DE COMPACTAÇÃO.	73
FIGURA 5.8 – CARACTERIZAÇÃO DO FATOR DE COBERTURA E DENSIDADE DE ESTABILIZAÇÃO.	73
FIGURA 5.9 – INFORMAÇÕES INICIAIS DA ETAPA DE LEVANTAMENTO E TRIAGEM DE ÁREAS.....	74
FIGURA 5.10 – PARÂMETROS UTILIZADOS NA ETAPA DE TRIAGEM PRELIMINAR.....	80
FIGURA 5.11 – CADASTRO DAS INFORMAÇÕES INICIAIS E TRIAGEM PRELIMINAR DE ÁREAS (PARTE I DE III).....	81
FIGURA 5.12 – CADASTRO DAS INFORMAÇÕES INICIAIS E TRIAGEM PRELIMINAR DE ÁREAS (PARTE II DE III).....	82

FIGURA 5.13 – CADASTRO DAS INFORMAÇÕES INICIAIS E TRIAGEM PRELIMINAR DE ÁREAS (PARTE III DE III). ...	83
FIGURA 5.14 – INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DA ETAPA DE LEVANTAMENTO E TRIAGEM DE ÁREAS (PARTE I DE II).....	84
FIGURA 5.15 – INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DA ETAPA DE LEVANTAMENTO E TRIAGEM DE ÁREAS (PARTE II DE II).	85
FIGURA 5.16 – CADASTRO DAS INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES (PARTE I DE IV).	90
FIGURA 5.17 – CADASTRO DAS INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES (PARTE II DE IV).....	91
FIGURA 5.18 – CADASTRO DAS INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES (PARTE III DE IV).....	92
FIGURA 5.19 – CADASTRO DAS INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES (PARTE IV DE IV).....	93
FIGURA 5.20 –ESTRUTURA DE AGREGAÇÃO DOS PARÂMETROS, CRITÉRIOS E OBJETIVOS.	94
FIGURA 5.21 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO ATENUAÇÃO DO IMPACTO VISUAL NEGATIVO (CA1+).....	96
FIGURA 5.22 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO ATENUAÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA/ODORES (CA2+).....	97
FIGURA 5.23 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO VULNERABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS (CA3-).....	98
FIGURA 5.24 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO VULNERABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS (CA4-).....	99
FIGURA 5.25 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO SUSCEPTIBILIDADE À EROÇÃO (CA5-).....	100
FIGURA 5.26 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO ALTERAÇÃO DA FLORA (CA6-).....	100
FIGURA 5.27 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO ATENUAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA (CA7+).....	101
FIGURA 5.28 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO ALTERAÇÃO DAS ATIVIDADES LOCAIS(CA8-).....	101
FIGURA 5.29 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO CAPACIDADE EM RECEBER RESÍDUOS (CEN1+).....	103
FIGURA 5.30 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO SIMPLICIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRO (CEN2+).....	104
FIGURA 5.31 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO ACESSIBILIDADE (CEN3+).....	104
FIGURA 5.32 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO ACESSIBILIDADE (CEN3+).....	105
FIGURA 5.33 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO CUSTOS PARA ADEQUAÇÃO DO LOCAL (CEC2-).....	106
FIGURA 5.34 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO CUSTOS COM MATERIAL DE COBERTURA (CEC3-).....	107
FIGURA 5.35 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO CUSTOS COM TRANSPORTE DE RESÍDUOS (CEC4-).....	107
FIGURA 5.36 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO CUSTOS COM MATERIAL DE COBERTURA (CEC5-).....	108

FIGURA 5.37 – REFERÊNCIAS UTILIZADAS PARA AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS AMBIENTAIS E DE ENGENHARIA. .	109
FIGURA 5.38 – REFERÊNCIAS UTILIZADAS PARA AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS ECONÔMICOS.	109
FIGURA 5.39 – REFERÊNCIAS UTILIZADAS PARA AVALIAÇÃO DAS ÁREAS SEGUNDO CRITÉRIOS AMBIENTAIS E DE ENGENHARIA.	110
FIGURA 5.40 – FLUXOGRAMA REFERENTE A COMPOSIÇÃO DA MATRIZ DE AVALIAÇÃO.	112
FIGURA 5.41 – FLUXOGRAMA REFERENTE A PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS.	112
FIGURA 5.42 – FLUXOGRAMA REFERENTE A AGREGAÇÃO DOS CRITÉRIOS.	113
FIGURA 6.1 – TELA DE ABERTURA E MENU COM FUNÇÕES PRINCIPAIS.	117
FIGURA 6.2 – INTERFACE REFERENTE A ETAPA DE CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO.	117
FIGURA 6.3 – FUNÇÕES RELACIONADAS A ETAPA DE LEVANTAMENTO E TRIAGEM DE ÁREAS.	117
FIGURA 6.4 – INTERFACE REFERENTE AO CADASTRO DAS INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DA ETAPA DE LEVANTAMENTO E TRIAGEM DE ÁREAS.	118
FIGURA 6.5 – EXEMPLO DE AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE UMA ÁREA.	118
FIGURA 6.6 – EXEMPLO DE AVALIAÇÃO DA ADEQUAÇÃO DE UMA ÁREA EMITIDA PELO SISTEMA.	119
FIGURA 6.7 – INTERFACE DE ENTRADA DA PONDERAÇÃO DE CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO ENTRE ÁREAS.	119
FIGURA 6.8 – EXEMPLO DOS RESULTADOS DE UMA AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE ÁREAS.	120
FIGURA 6.9 – EXEMPLO DE RESULTADO REFERENTE AO CÁLCULO DA VIDA ÚTIL PARA UMA ÁREA POTENCIAL. .	120
FIGURA 6.10 – INTERFACE DE ACESSO AOS PARÂMETROS DO SISTEMA.	121

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 – CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS QUANTO À PERICULOSIDADE (NBR 10004).	12
QUADRO 2.2 – CLASSIFICAÇÃO DOS ATERROS SANITÁRIOS SEGUNDO A DENSIDADE DE COMPACTAÇÃO.....	12
QUADRO 2.3 – CLASSIFICAÇÃO DE TAMANHO PARA ATERROS SANITÁRIOS.	14
QUADRO 3.1 – EXEMPLO DE AGREGAÇÃO ATRAVÉS DA MÉDIA E PRODUTO PONDERADO.	51
QUADRO 3.2 – EXEMPLO DA APLICAÇÃO DA MÉDIA PONDERADA.	52
QUADRO 3.3 – EXEMPLO DA SENSIBILIDADE DA MÉDIA PONDERADA À MUDANÇA DE ESCALA.....	52
QUADRO 3.4 – EXEMPLO DE MATRIZ DE AVALIAÇÃO.	52
QUADRO 3.5 – MÉTODOS ELECTRE E PROBLEMÁTICAS DE DECISÃO.....	53
QUADRO 4.1 – EXEMPLO DA PLANILHA DE BUGS UTILIZADA NO PROCESSO DE VERIFICAÇÃO TÉCNICA.....	61
QUADRO 5.1 – DESCRIÇÃO DAS CLASSES DE AVALIAÇÃO DO USO DE SOLO.	75
QUADRO 5.2 – RESERVAS ECOLÓGICAS (CONAMA Nº004, DE 18 DE SETEMBRO DE 1985).....	77
QUADRO 5.3 – CLASSES DE DECLIVIDADE.	78
QUADRO 5.4 – REFERÊNCIAS DE VELOCIDADE UTILIZADAS PARA AVALIAÇÃO DO TEMPO DE DESCARGA.....	88
QUADRO 5.5 – NOTAÇÃO UTILIZADA PARA ESTRUTURAÇÃO DOS CRITÉRIOS.	95
QUADRO 5.6 – RESUMO DA ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO SEGUNDO CRITÉRIOS AMBIENTAIS.	102
QUADRO 5.7 – RESUMO DA ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO SEGUNDO CRITÉRIOS DE ENGENHARIA.....	105
QUADRO 5.8 – RESUMO DA ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO SEGUNDO CRITÉRIOS ECONÔMICOS.....	108
QUADRO 5.9 – NOTAÇÃO UTILIZADA PARA MATRIZ DE AVALIAÇÕES.	111
QUADRO 5.10 – MATRIZ ITERATIVA PARA CÁLCULO DA PROJEÇÃO DE RESÍDUOS.	115
QUADRO 5.11 – MATRIZ ITERATIVA PARA CÁLCULO DA VIDA ÚTIL.	115

QUADRO 6.1 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO ATENUAÇÃO DO IMPACTO VISUAL NEGATIVO.	122
QUADRO 6.2 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO ATENUAÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA/ODORES.	123
QUADRO 6.3 – AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS.	124
QUADRO 6.4 – AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS.	124
QUADRO 6.5 – AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE À EROÇÃO.	125
QUADRO 6.6 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO ALTERAÇÃO DA FLORA.	126
QUADRO 6.7 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO ATENUAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA.	126
QUADRO 6.8 – AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE EM RECEBER RESÍDUOS.	127
QUADRO 6.9 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO SIMPLICIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRO.	127
QUADRO 6.10 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO ACESSIBILIDADE.	128
QUADRO 6.11 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO CUSTOS ESTIMADOS PARA ADEQUAÇÃO DO LOCAL.	128
QUADRO 6.12 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO CUSTOS COM MATERIAL DE COBERTURA.	129
QUADRO 6.13 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO CUSTOS COM TRANSPORTE DE RESÍDUOS.	129
QUADRO 6.14 – EXEMPLOS UTILIZADOS NA ANÁLISE DA AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE ÁREA.	132
QUADRO 6.15 – AGREGAÇÃO DOS PARÂMETROS EM CRITÉRIOS E AVALIAÇÕES DE ADEQUAÇÃO.	133
QUADRO 6.16 – AVALIAÇÃO COMPARATIVA E PONTUAÇÃO DAS ÁREAS.	133
QUADRO 6.17 – RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DOS MÉTODOS MÉDIA PONDERADA MODIFICADA E ELECTRE-III.	134

RESUMO

O presente trabalho objetiva o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão na perspectiva de atender os profissionais envolvidos nas questões relacionadas à escolha de áreas para implantação de aterros sanitários como forma de disposição final de resíduos. No decorrer da pesquisa discorre-se sobre os principais fundamentos da disposição final de resíduos na forma de aterros sanitários, e nos princípios de apoio à decisão através da análise multicritério e sistemas especialistas. O desenvolvimento do sistema envolveu um certo número de atores e etapas. Entre os atores destacam-se os especialistas, o agente cognitivo e o técnico em informática, entre as etapas metodológicas destacam-se: aquisição de conhecimentos, estruturação dos conhecimentos, codificação e avaliação. Os conhecimentos adquiridos na primeira etapa da pesquisa foram encadeados e instanciados na forma de fluxogramas, os quais conduziram o desenvolvimento de uma versão informatizada do sistema. O modelo obtido permitiu através de suas funções: triar preliminarmente áreas adequadas, verificar a adequação de uma área, realizar avaliações comparativas entre áreas segundo critérios (ambientais, de engenharia e/ou econômicos) e ponderações definidas pelo usuário e fornecer elementos de apoio para dimensionamento do aterro sanitário (vida útil e projeções de resíduos). Verificou-se que a implantação de aterros sanitários é formada por um conjunto finito de conhecimentos (técnicos, ambientais e econômicos), os quais podem ser estruturados de maneira a apoiar as decisões de um usuário não especialista. O desenvolvimento do sistema permitiu além da aquisição de conhecimentos, a criação de novos conhecimentos referentes à estruturação multicritério para o processo de escolha de áreas para aterros sanitários.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos, Disposição Final, Escolha de áreas para aterros sanitários, Sistemas de Apoio a Decisão, Avaliação Multicritério.

ABSTRACT

The present work aims at the development of a decision support system to aid professionals involved in the decision of the location of new landfill sites. All through the research we delve into the main fundamentals of the final disposal of residues in sanitary landfills, and into the principles of decision support through multicriteria analysis and expert systems. The system development counted on a certain number of professionals and phases. Among the professionals, the specialists, the cognitional agent, and the computer science technician stood out. Among the methodological phases we can highlight acquisition of knowledge, knowledge modeling, codification and evaluation. The knowledge acquired in the first phase of the research was instantiated and chained in the form of flowcharts, which led to the development of a digital version of the system. The resulting model allowed, through its functions: to screen suitable sites preliminarily, to verify the adequacy of a site, to carry on comparative evaluations between sites according to criteria (environmental, engineering and/or economic) and balances defined by the user, as well as to supply support elements for landfill design (projections of residues and lifetime of sites). We have verified then that the implantation of sanitary landfills depends on a finite set of knowledge and skills (technical, environmental and/or economic) which can be structured in a way to support the decisions of a non-specialist user. Besides the acquisition of knowledge, the development of the system allowed for the creation of new knowledge referring to multicriteria structuralization to landfill siting.

Key words: Municipal Solid Wastes, Disposal, Landfill siting, Decisions Support Systems, Multicriteria Analysis.

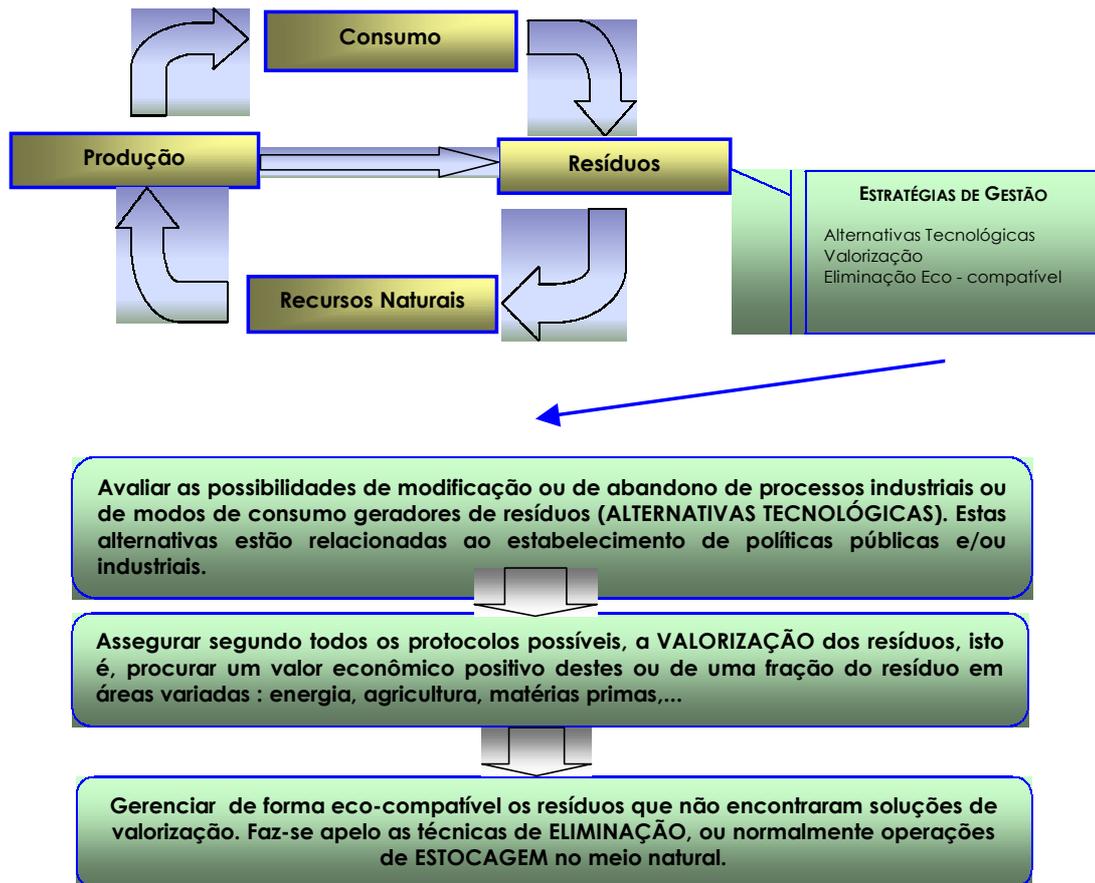
1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 JUSTIFICATIVA

Todo sistema de produção e de consumo, natural ou artificial, implica na geração de uma certa quantidade de subprodutos e de resíduos. Levando-se em consideração a natureza, a localização e as quantidades geradas, estes resíduos podem apresentar um duplo problema : econômico (na medida em que eles constituem um gasto importante de matéria prima e de energia) e ambiental (perturbam os meios naturais e estão na origem de riscos de poluição para os seres vivos).

Somente nestes últimos anos é que observou-se a tomada de consciência pelas sociedades dos mais diversos países, desta principal consequência do desenvolvimento urbano e industrial : o crescimento quantitativo e as transformações qualitativas dos resíduos gerados. Rejeitados nos corpos d'água, concentrados nos depósitos e aterros ou dispersos no solo, estes materiais constituem um problema de grande complexidade.

Neste sentido, e, sabendo-se que a produção de resíduos não cessa de crescer, é imperativo assegurar o seu gerenciamento através das estratégias de gestão destes materiais. Uma gestão racional das atividades econômicas e sociais não pode ser concebida sem a tomada de consciência desta realidade. A busca de uma solução a este problema deve obedecer a princípios rigorosos e, quando se está confrontado a um resíduo, três estratégias são possíveis (figura 1.1): alternativas de minimização de resíduos; valorização de resíduos e eliminação eco-compatível para os resíduos os quais não puderam ser valorizados. No contexto das estratégias de gestão, particulariza-se neste estudo a disposição final de resíduos através da técnica de aterramento sanitário.



FONTE: CASTILHOS JUNIOR (2001).

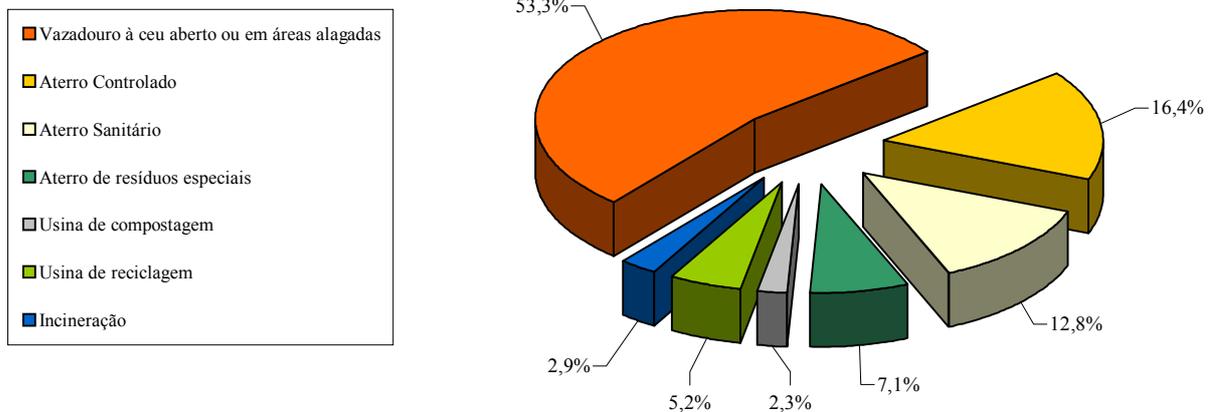
FIGURA 1.1 – ESTRATÉGIAS DE GESTÃO PARA OS RESÍDUOS PRODUZIDOS PELAS ATIVIDADES HUMANAS.

Por definição, um aterro sanitário constitui-se na reinserção no meio natural, nas melhores condições possíveis, dos resíduos sólidos que não foram objeto de outros tratamentos de valorização ou de eliminação. Os resíduos urbanos acumulados de maneira contínua em aterros não são, contudo, inativos. Esta mistura de uma grande variedade química, sob a influência de agentes naturais (chuva e microorganismos) é objeto de evoluções complexas, constituídas pela superposição de mecanismos físicos, químicos e biológicos.

Além da dissolução dos elementos minerais e o carreamento pela água de percolação das finas partículas do material solúvel, o principal fator que contribui na degradação dos resíduos é a bioconversão da matéria orgânica em formas solúveis e gasosas. O conjunto destes fenômenos conduz, geralmente, a geração de metabólitos gasosos e ao carreamento pela águas de moléculas muito diversas que estão na origem da formação dos líquidos percolados e do biogás. Neste sentido, a maior parte dos países está submetendo as diversas

fases do ciclo de vida dos aterros sanitários (concepção, implantação, operação e fechamento) a critérios cada vez mais rígidos.

No Brasil, os dados disponíveis (IBGE, 2002) indicam que apenas 30,3% das unidades de disposição final de resíduos são formas sanitariamente adequadas de gerenciamento de resíduos. Em termos da dificuldade que representa a dispersão geográfica dos focos de poluição relativa à produção de resíduos nos municípios brasileiros, aproximadamente 73% destes apresentam populações até 20.000 habitantes (IBGE, 2002).



FONTE: IBGE (2002).

NOTA: Dados trabalhados pelo autor.

FIGURA 1.2 – UNIDADES DE DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COLETADOS – BRASIL – 2000

Particularmente no que se tange a utilização dos aterros sanitários como forma de disposição final de resíduos, pode-se considerar este método como de grande aplicabilidade devido à facilidade operacional e pequenos custos, quando comparado com outras técnicas de disposição de resíduos urbanos. Igualmente, todas as técnicas tradicionais de gerenciamento necessitam complementarmente do aterro sanitário na medida que aproximadamente 30 % de materiais devem ser depositados em aterro sanitário (cinzas e escórias no caso da incineração e materiais não reaproveitados no processo de compostagem).

Neste processo entende-se que a escolha do local no qual será implantado o aterro sanitário tem influência direta sobre os possíveis impactos ambientais, sociais e econômicos. Desta maneira, a fim de que a escolha feita venha garantir as melhores condições de proteção da qualidade ambiental, saúde pública e atender os interesses da comunidade faz-se necessário o avanço em várias dimensões do processo, entre as quais cita-se a científica e política.

Do ponto de vista científico algumas questões referentes à escolha de áreas para implantação de aterros sanitários ainda estão por ser respondidas. Ao longo do tempo diversas abordagens têm sido utilizadas na questão, mostrando-se eficazes quando utilizadas pelos especialistas, entretanto grande parte destes conhecimentos permanecem distantes da realidade dos pequenos municípios, os quais contam com insuficientes recursos técnicos e financeiros.

A importância do desenvolvimento deste trabalho justifica-se pela necessidade de que os municípios, sobretudo aqueles de pequeno porte, disponham, na primeira linha de ação, de uma ferramenta materializada sob a forma de um software com função de apoiar o usuário na tomada de decisões envolvendo a escolha de áreas para implantação de aterros sanitários. O presente estudo fez parte do projeto intitulado: Tecnologias de Apoio ao Desenvolvimento de Aterros de Resíduos Urbanos para Pequenos Municípios, do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) edital 3, tema III¹.

1.2 PREMISSA E HIPÓTESE DE TRABALHO

1.2.1 Hipótese

A tomada de decisão referente à escolha de áreas para implantação de um aterro sanitário é formada por um conjunto finito de conhecimentos.

1.2.2 Premissa

Os conhecimentos referentes à escolha de áreas para implantação de aterros sanitários podem ser estruturados e formalizados de maneira a apoiar às decisões de um usuário não especialista.

¹ Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenos municípios.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão na perspectiva de auxiliar os profissionais envolvidos nas questões relacionadas à escolha de áreas para implantação de aterros sanitários.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Adquirir conhecimentos referentes à escolha de áreas para implantação de aterros sanitários e apoio à decisão através de sistemas;
- Criar um modelo de representação dos conhecimentos adquiridos orientado para resolução da problemática;
- Codificar o modelo criado, visando materializar o mesmo na forma de um protótipo informatizado.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

De acordo com os objetivos estabelecidos, adotou-se uma estruturação de capítulos para o desenvolvimento do trabalho, representada esquematicamente na figura 1.3.

Após a introdução geral do trabalho, são apresentados os principais conhecimentos adquiridos referentes à disposição final de resíduos em aterros sanitários e ao processo de escolha de áreas para implantação destas instalações (capítulo 2). Da mesma forma, no capítulo 3, são apresentados os princípios da modelagem de conhecimentos e apoio à decisão através de sistemas informatizados e da análise multicritério.

No capítulo 4, discorre-se sobre os atores e etapas metodológicas envolvidas no desenvolvimento da pesquisa. O capítulo 5, por sua vez, apresenta a estruturação dos

conhecimentos anteriormente adquiridos na forma de um modelo orientado à resolução da problemática.

No capítulo 6 são apresentados os resultados referentes à codificação e avaliação realizada sobre o modelo estruturado. Finalmente, no capítulo 7, são apresentadas as conclusões finais deste trabalho, bem como as recomendações para estudos de continuidade nesta mesma linha de ação.

O capítulo 8 apresenta as referências bibliográficas citadas² no decorrer do texto e posteriormente, no Apêndice A, são apresentados em maior detalhe alguns procedimentos utilizados para estruturação do modelo, os quais não foram abordados no decorrer do texto.

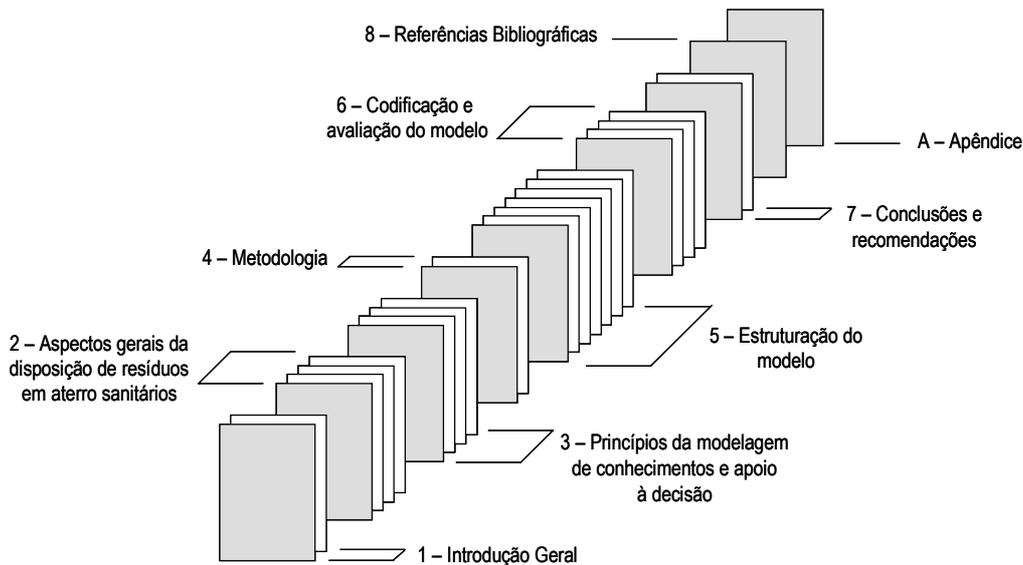


FIGURA 1.3 – ESTRUTURA DO TRABALHO.

² Conforme será notado no decorrer da leitura, as entradas das citações (autor-data) são feitas em letras maiúsculas e minúsculas na sentença e em letras maiúsculas quando estiverem entre parênteses, conforme sugere a norma NBR 10520 (ABNT, 2001). A edição anterior da mesma norma (ABNT, 1992) preconizava a utilização de letras maiúsculas em ambos os casos.

2 ASPECTOS GERAIS DA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS EM ATERROS SANITÁRIOS

2.1 INTRODUÇÃO

Atualmente as abordagens existentes para lidar com os resíduos sólidos produzidos diariamente pelas atividades humanas apontam para um consenso baseado na hierarquia de alguns princípios, entre os quais destacam-se: a minimização das quantidades de resíduos geradas (através do abandono de hábitos inadequados ou processos poluidores); a reutilização ou valorização dos resíduos produzidos (agregação de um valor econômico ou funcional aos mesmos) e por último a eliminação ambientalmente compatível daqueles resíduos que não puderam ser gerenciados através das alternativas anteriores.

No contexto do gerenciamento integrado, os resíduos que não puderam ser reutilizados ou reciclados bem como os rejeitos remanescentes dos processos de separação, reciclagem, compostagem e ou incineração são encaminhados para as unidades de disposição final. A utilização dos aterros sanitários como forma de disposição final de resíduos, tem encontrado grande aplicabilidade, uma vez que este método quando comparado com outras técnicas apresenta pequenos custos e facilidade operacional.

Este capítulo objetiva caracterizar a disposição final de resíduos em aterros sanitários através da abordagem dos seguintes tópicos relacionados a estas instalações: elementos constituintes, ciclo de vida, classificações e aspectos ambientais. Nas seções seguintes introduz-se a importância da escolha de áreas neste contexto, através da definição de objetivos, caracterização do processo e informações necessárias. Finalmente apresenta-se o estado da arte da escolha de áreas para aterros sanitários, a fim de situar o trabalho proposto na produção de conhecimentos referentes ao tema.

Finalmente, considera-se como de conhecimento prévio os princípios básicos do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, não fazendo parte do escopo deste capítulo a abordagem destes temas³.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

2.2.1 Definições

O termo aterro sanitário tem sido utilizado para definição da instalação de engenharia usada para disposição de resíduos sólidos no solo, projetada e operada a fim de minimizar impactos à saúde pública e ao ambiente (TCHOBANOGLIOUS, THEISEN e VIRGIL,1993).

Nos últimos anos, tendo em vista o aumento crescente dos níveis de exigência com relação à proteção ambiental destas instalações, o termo aterro sanitário tem sido considerado simplista e até mesmo desatualizado por vários autores por não considerar todos os requisitos que um aterro moderno deve cumprir.

Neste sentido, são sugeridos os termos “aterro ambiental” (FRANTZIS, 1993) ou “aterro sustentável”, expressão utilizada por Westlake (1997) para definir um aterro projetado e operado de maneira que os riscos ambientais de curto e longo prazo sejam minimizados a níveis aceitáveis. A legislação francesa por sua vez, refere-se a estas instalações de engenharia como “centros de aterramento técnico”, correspondendo aos locais estruturados para receber certas famílias de resíduos que são acumulados e enterrados em condições compatíveis com a preservação do meio ambiente.

A fim de criar uma linguagem comum referente ao tema são descritos abaixo os principais termos e definições relativas aos elementos de um aterro sanitário.

Célula: volume de resíduos a ser aterrado durante um período de operação (normalmente um dia). A célula é composta pelos resíduos aterrados e uma camada de recobrimento.

Material de cobertura ou de recobrimento: consiste no material inerte utilizado para cobrir a massa de resíduos ao final de uma jornada de trabalho. Normalmente utiliza-se o solo do próprio local ou de jazidas próximas como material de cobertura.

³ O leitor pode aprofundar seus conhecimentos a respeito dos princípios de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, através das seguintes referências: Tchobanoglous, Theisen e Virgil (1993), IPT e CEMPRE, (2000).

Camada final de cobertura: é aplicada sobre a superfície do aterro quando todas as operações de aterramento foram completadas. A camada final de cobertura tem como objetivo tornar a superfície do aterro mais impermeável evitando a infiltração das águas pluviais na massa de resíduos, através da utilização de camadas de solo e ou geomembranas. A camada de cobertura final também tem a função de dar suporte a vegetação de cobertura do aterro.

Lixiviado⁴: também denominado de chorume ou percolado⁵, é o resultado da percolação de diversos líquidos através da massa de resíduos (precipitação, escoamento superficial não drenado, água inicialmente contida na massa de resíduos e águas subterrâneas infiltradas). O lixiviado normalmente contém uma grande variedade de constituintes químicos, em virtude da solubilização de materiais depositados no aterro e das reações químicas e bioquímicas ocorridas (TCHOBANOGLOUS, THEISEN e VIRGIL, 1993).

Gases: são resultado dos processos biológicos de decomposição da matéria orgânica presente na massa dos resíduos sólidos urbanos e da volatilização de compostos existentes nos mesmo. Os gases são constituídos por diversos elementos entre eles: metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), nitrogênio (N₂), oxigênio(O₂), hidrogênio (H₂), monóxido de carbono (CO), amônia (NH₃), (H₂S) e traços de compostos orgânicos.

Sistema de impermeabilização⁶: tem como objetivo criar uma barreira física para os lixiviados de maneira a evitar possíveis contaminações do subsolo e águas subterrâneas. Estruturalmente o sistema de impermeabilização é formado por camadas de material natural compactado (argila) e ou materiais manufaturados (geomembranas).

Sistema de drenagem: os sistemas de drenagem de um aterro sanitário visam atender basicamente a três objetivos: controle do escoamento superficial, coleta/extração dos lixiviados e coleta/extração dos gases produzidos no aterro. De maneira a atender a estes objetivos estes sistemas são constituídos de materiais e estruturas próprias.

Instalações de apoio e controle operacional: constitui a infraestrutura necessária para o desenvolvimento das atividades operacionais, as quais incluem as instalações administrativas,

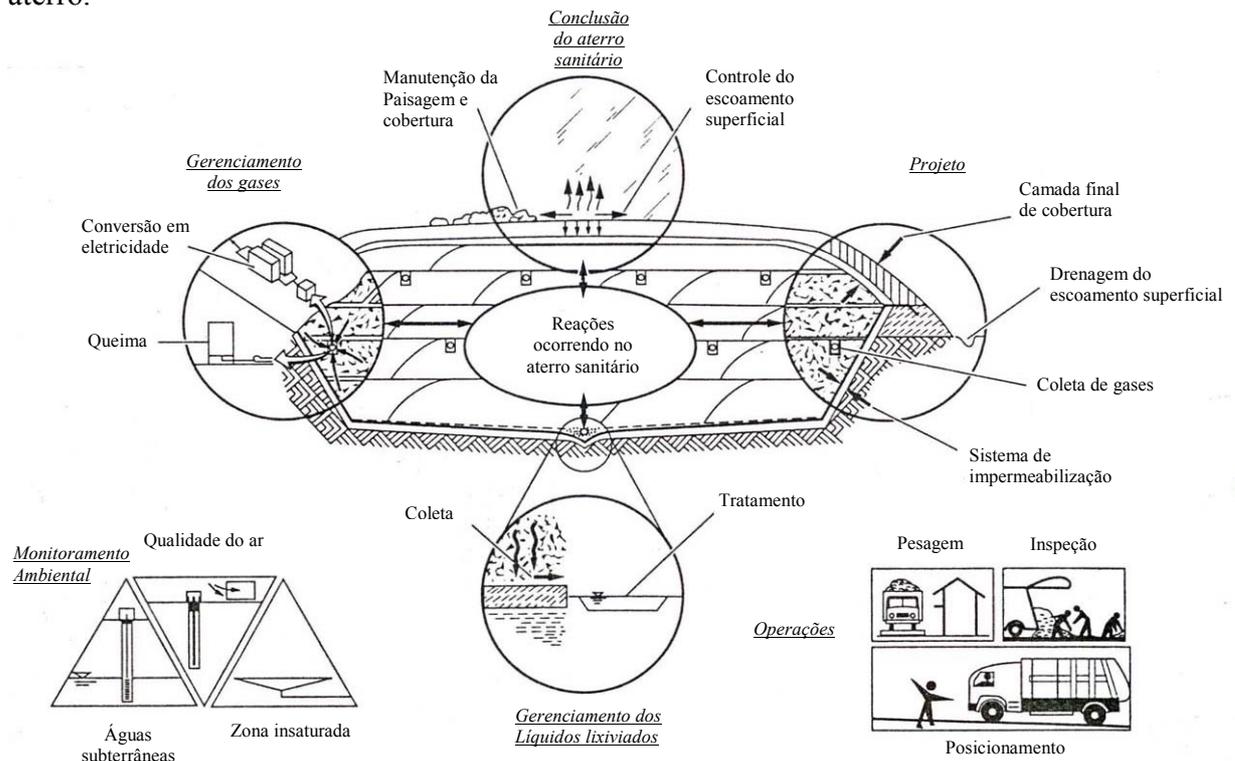
⁴ A *lixiviação* consiste na migração de substâncias solúveis, principalmente sob a forma de sais (DUCHAUFOR, 1977 apud SALOMÃO e ANTUNES, 1998).

⁵ A *percolação* corresponde a operação de passar um líquido através de um meio para filtrá-lo ou para extrair substâncias deste meio. (FERREIRA, 1975a). A NB-842 (ABNT, 1983) por sua vez define o percolado como um líquido que passou por um meio poroso.

⁶ A NBR 13896 (ABNT, 1997) define a impermeabilização como a deposição de camadas de materiais artificiais ou naturais, que impeça ou reduza substancialmente a infiltração no solo dos líquidos percolados, através da massa de resíduos.

instalações para armazenamento de materiais e equipamentos, instalações para pesagem dos resíduos. O arranjo e necessidade das instalações de apoio e controle variam significativamente de acordo com o porte do aterro a ser implantado.

Estruturas de controle ambiental: compreendem os sistemas de impermeabilização, coleta, extração e tratamento dos lixiviados e gases, e as camadas de cobertura diária e final do aterro.



FONTE: TCHOBANOGLIOUS, THEISEN e VIRGIL (1993).

NOTA: Traduzido.

FIGURA 2.1 – ELEMENTOS DE UM ATERRO SANITÁRIO.

2.2.2 Ciclo de vida

Um aterro sanitário a exemplo de qualquer sistema natural ou artificial possui um ciclo de vida. O conhecimento das diversas fases do ciclo de vida permite melhor entender os aspectos ambientais, econômicos e de engenharia relacionados aos aterros sanitários. As principais fases do ciclo de vida de acordo com Christensen (1989), são descritas a seguir:

1. Fase de planejamento: envolve os estudos e investigações preliminares necessárias para o desenvolvimento do projeto.

2. Fase de construção: envolve os trabalhos relacionados a 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: período de tempo compreendido entre o aterramento da primeira carga de resíduos até 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: 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: 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.

2.2.3 Classificação

Os aterros sanitários podem ser classificados segundo diversos critérios, cujo entendimento faz-se necessário em virtude das diversas características específicas destas instalações de engenharia. Na seqüência são apresentadas as principais classificações referentes aos aterros sanitários.

Periculosidade dos resíduos

A norma brasileira NBR 10004 (ABNT, 1987) classifica os resíduos sólidos em três classes de periculosidade, descritas no quadro 2.1, a seguir.

QUADRO 2.1 – CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS QUANTO À PERICULOSIDADE (NBR 10004).

Classe	Características
I – Perigosos	Apresentam risco à saúde pública ou ao meio ambiente, caracterizando-se por ter uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
II – Não-inertes	Podem ter propriedades, como inflamabilidade, biodegradabilidade ou solubilidade; porém, não se enquadram como resíduo classe I ou II.
III – Inertes	Não têm constituinte algum solubilizado, em concentração superior ao padrão de potabilidade de águas.

FONTE: ABNT (1987).

Com base na periculosidade dos resíduos a serem dispostos e nas conseqüentes exigências de projeto e operação, os aterros sanitários são classificados em aterros de resíduos perigosos (NBR 10157)⁷ e não perigosos (NBR 13896).

Densidade de compactação

Inicialmente originada na Europa, a classificação segundo a densidade de compactação dos resíduos é baseada em características de concepção e operação dos aterros sanitários. Os principais parâmetros de avaliação dos aterros sanitários para classificação segundo a densidade de compactação são apresentados no quadro 2.2 abaixo:

QUADRO 2.2 – CLASSIFICAÇÃO DOS ATERROS SANITÁRIOS SEGUNDO A DENSIDADE DE COMPACTAÇÃO.

Características	Baixa Densidade	Media densidade	Alta densidade	Alta densidade sem cobertura
Densidade	500 kg/m ³	800 kg/m ³	1000 kg/m ³	>1100 kg/m ³
Altura das camadas de r.s.u.	1 – 5 m	1 m	1m	0,20m
Camada de cobertura interna	0,20m	0,20m	0,20m	Sem
Distribuição dos r.s.u.	Manual/ Mecanizada	Mecanizada	Mecanizada	Mecanizada
Compactação	Manual	Rolo compactador	Rolo compactador	Rolo compactador
Trituração	Sem	Sem	Previa	Simultânea
Fermentação	Aeróbica/ Anaeróbia	Anaeróbia	Anaeróbia	Aeróbia

FONTE: Pineda (1998).

NOTA: Traduzido.

⁷ ABNT, 1987.

Gerenciamento dos líquidos lixiviados

O princípio adotado para o gerenciamento dos líquidos lixiviados terá influência significativa nos aspectos construtivos e operacionais do aterro sanitário, bem como nas implicações econômicas e ambientais decorrentes. Neste sentido, no contexto da classificação dos aterros sanitários, são apresentados na seqüência os princípios de gerenciamento dos líquidos lixiviados⁸ mais difundidos.

*Diluição e atenuação*⁹: esta abordagem fundamenta-se nas propriedades de atenuação de poluentes pelo solo, admitindo-se desta maneira a entrada dos líquidos lixiviados no subsolo. A localização adequada do aterro acompanhada de avaliações ambientais e monitoramento cuidadoso são necessários. As principais vantagens deste princípio são associadas aos custos evitados com as impermeabilizações; sistemas de coleta, extração e tratamento dos lixiviados.

*Retenção*¹⁰ : refere-se ao conceito tradicionalmente aceito de não permitir que os líquidos lixiviados migrem para o entorno da área, exigindo desta maneira que os líquidos lixiviados sejam coletados e tratados antes de serem descartados. Este princípio requer um grau maior de projeto e gerenciamento bem como de controle dos riscos associados à disposição de resíduos no aterro.

*Aterramento a seco*¹¹: prioriza que a infiltração de líquidos na massa de resíduos seja evitada, de maneira a minimizar a produção de lixiviados e gases. Esta abordagem minimiza o volume de lixiviados, entretanto o potencial de poluição da massa de resíduos aterrada não apresenta diminuições significativas no decorrer do tempo. Defende-se ainda que o armazenamento dos resíduos cria a oportunidade para que novas tecnologias sejam desenvolvidas para tratamento dos mesmos e a existência de instalações de controle ambiental para evitar contaminações.

Bioreator: neste princípio o aterro sanitário é abordado como um processo de tratamento, cujo objetivo é a produção de um resíduo estabilizado numa escala razoável de tempo, através da otimização das condições ambientais e de operação dos resíduos (WESTLAKE, 1997).

⁸ O presente trabalho limita-se a descrição dos princípios de gerenciamento, não abordando estudos comparativos entre os mesmos. Para maiores aprofundamentos neste sentido sugere-se os estudos de Westlake (1997).

⁹ Na língua inglesa o princípio é conhecido por *Dilute and attenuate*.

¹⁰ Na língua inglesa: *Containment*.

¹¹ Na língua inglesa: *Dry-tomb* ou *Entombment*.

Esta abordagem, envolve os conceitos de descarga de líquidos¹², recirculação de lixiviados e células com resíduos triturados sem camadas de cobertura.

Tamanho do aterro

Uma das classificações disponíveis é a proposta por Blight (1996) baseada na Taxa de Deposição Máxima¹³ (TDM) mensurada em toneladas de resíduos dispostos por ano. A classificação proposta é apresentada no quadro 2.4 abaixo:

QUADRO 2.3 – CLASSIFICAÇÃO DE TAMANHO PARA ATERROS SANITÁRIOS.

Classificação	Taxa de Deposição Máxima (ton × ano ⁻¹)	Comunidade atendida (habitantes)
Comunitário	< 250	≅ 1.500 ⁽¹⁾
Pequeno	< 5.000	≅ 30.000 ⁽¹⁾
Médio	< 150.000	≅ 570.000 ⁽²⁾
Grande	> 150.000	≅ > 570.000 ⁽²⁾

FONTE: Blight (1996)

NOTA: Traduzido e adaptado.

(1) Valores médios calculados com base nos seguintes dados: D = 1,5 % ao ano, Produção *per capita* de resíduos = 0,45 kg/hab × dia, T = 25 anos e 260 dias de operação do aterro por ano.

(2) Idem a (1) considerando-se a Produção *per capita* de resíduos = 0,7 kg/hab × dia.

Segundo Blight (1996) a taxa de deposição pode ser calculada pela equação (2.1) abaixo:

$$TDM = TDI \times (1 + D)^T \quad (2.1)$$

Onde,

TDI = taxa de deposição inicial¹⁴ (ton × ano⁻¹), D = taxa de crescimento ou desenvolvimento da comunidade (% ao ano), T = vida útil estimada do aterro sanitário.

Método de concepção

Os métodos de concepção dos aterros sanitários variam consideravelmente de acordo com as características do local escolhido para implantação do aterro. Basicamente os aterros sanitários podem ser classificados segundo três métodos principais a saber:

¹² Na língua inglesa: *liquid flushing*.

¹³ Na língua inglesa: *Maximum Rate of Deposition (MRD)*.

¹⁴ Na língua inglesa: *Initial rate of deposition (IRD)*.

Método da trincheira ou célula escavada: utilizado para terrenos cujas características de declividade, quantidade de matações e profundidade do lençol freático e do substrato rochoso, permitam a escavação do subsolo.

Método da área: utilizado quando não é possível proceder a escavação do subsolo do terreno, neste caso o aterro sanitário desenvolve-se acima do nível original do terreno. Normalmente faz-se necessário o empréstimo de material de cobertura de outros locais para atender as atividades diárias no aterro.

Método das depressões: utilizado normalmente quando a conformação topográfica passa a ser um fator limitante para a implantação do aterro através dos métodos anteriormente citados, ou quando a utilização de áreas de escavações (áreas de empréstimo de material, saibreiras, argileiras, pedreiras, etc.) e ou depressões demonstra-se viável.

2.2.4 Aspectos ambientais relacionados aos aterros sanitários

Os elementos de impacto de um aterro sanitário com possibilidade de causar prejuízos aos meios físico, antrópico e biótico variam consideravelmente de acordo com as fases do ciclo de vida do aterro. Estes elementos também são variáveis em função do tamanho do aterro, das características dos resíduos dispostos, das condições climáticas e das características dos locais escolhidos para implantação do aterro. Neste sentido afim de uma avaliação mais precisa dos aspectos ambientais relacionados aos aterros sanitários, faz-se necessária uma análise específica para cada caso.

Na seqüência são relacionados de maneira genérica, os principais aspectos e emissões dos aterros de acordo com as fases do ciclo de vida anteriormente descritas:

Fase de planejamento e construção

Os aspectos ambientais destas fases são relacionados às obras necessárias para adequação do local e implantação do aterro, de modo geral, estes aspectos são comuns a implantação de vários empreendimentos. A duração destes aspectos pode ser considerada pequena quando comparada aos aspectos da fase de operação do aterro.

Na fase de planejamento, a própria decisão e posterior difusão da notícia da implantação do aterro, pode acabar se tornando um elemento de impacto sobre a população, dependendo da forma como foi conduzido o processo e do grau de aceitação dos resultados.

As ações propostas na fase de construção do aterro (limpeza do terreno, terraplanagem, construção de acessos internos) podem se tornar elementos de impacto negativo dependendo das características locais e do entorno da área escolhida. Os principais impactos estão relacionados as seguintes ações: a modificação da paisagem local, alteração da flora e fauna, incremento do tráfego e ruído, alteração das condições de estabilidade do solo, etc.

Fase de operação

Os aspectos ambientais desta fase, podem ser relacionados diretamente as emissões provenientes das reações ocorridas na massa de resíduos e aos trabalhos de engenharia envolvidos na operação do aterro. Na seqüência são relacionados os principais elementos de impacto desta fase:

Lixiviado: os líquidos percolados na massa de resíduos, devido a sua composição altamente poluidora (elevada carga orgânica, presença de diversos constituintes químicos entre eles metais carregados dos resíduos sólidos) representam um dos principais elementos de impacto ambiental negativo de um aterro sanitário. Através de processos físicos, químicos e ou biológicos estes contaminantes podem migrar através das zonas saturadas e insaturadas existentes no entorno do aterro, causando a poluição de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Dependendo das condições do subsolo e das reações ocorridas, os efeitos da migração dos contaminantes podem aparecer somente anos mais tarde e formar plumas de contaminação abrangendo grandes distâncias. Neste sentido, os aterros sanitários estão sendo submetidos a critérios cada vez mais rígidos referentes ao projeto, implantação e operação dos sistemas de impermeabilização, drenagem e tratamento dos lixiviados, bem como o monitoramento da qualidade dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) da região do aterro e a localização do empreendimento em áreas menos susceptíveis.

Gases: os gases provenientes da massa de resíduos chegam a atmosfera através dos sistema de drenagem ou pela migração através do solo. De acordo com Christensen (1989) os principais problemas associados os gases são: os odores, a emissão de metano com propriedades

explosivas e ou inflamáveis, aspectos de saúde relacionados a compostos específicos emitidos e dano à vegetação em virtude da diminuição do oxigênio na zona das raízes. Em virtude destes aspectos os aterros sanitários são projetados com instalações de drenagem, extração e tratamento e ou reaproveitamento dos gases, a fim de evitar que estas emissões venham a se tornar elementos de impacto ambiental negativo.

Ruídos: são provenientes dos caminhões e equipamentos utilizados nas atividades diárias do aterro (descarga, compactação e recobrimento dos resíduos, abertura de novas células, etc.). Este aspecto tem influência sobre os núcleos populacionais ou áreas urbanas localizadas a distâncias próximas do aterro, motivo da avaliação desta característica entre outras na etapa de planejamento do aterro sanitário, a exemplo da existência de barreiras à propagação de ruídos.

Material transportado pelo vento: a poeira existente no aterro bem como os resíduos leves cuja cobertura não foi efetuada podem ser transportados pelo vento até as vizinhanças do aterro. Da mesma maneira que o ruído, estas emissões do aterro têm maior influência sobre os núcleos populacionais ou áreas urbanas localizadas a distâncias próximas do aterro sanitário.

Vetores: os resíduos depositados no aterro sem a aplicação da camada de recobrimento tornam-se atrativos para diversos vetores de contaminação: insetos, vermes, roedores e pássaros. Por definição as técnicas utilizadas para o aterramento de resíduos inibem a presença destes vetores, entretanto este aspecto deve ser considerado para as condições de funcionamento excepcional do aterro (paralisação dos serviços, acúmulo de resíduos, etc.)

Fase de conclusão

Nesta fase as emissões relacionadas aos trabalhos operacionais do aterro (ruídos, material transportado pelo vento, vetores) são desprezíveis, entretanto a massa de resíduos continua ativa produzindo lixiviados e gases até esta atingir o estágio de maturação. Desta maneira, faz-se necessária a continuidade na operação e manutenção das instalações de controle ambiental, a fim de evitar os efeitos destas emissões.

2.3 ESCOLHA DE ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS

2.3.1 Objetivos

Tendo em vista que a escolha de áreas está inserida na fase de planejamento do aterro sanitário, as decisões tomadas nesta etapa determinarão em grande parte as exigências operacionais e econômicas e as conseqüências ambientais das próximas etapas do aterro.

Neste sentido, considerando-se as diversas fases do ciclo de vida de um aterro sanitário, o local escolhido deve reunir um conjunto de características ao encontro de vários objetivos, entre os quais destacam-se:

- Minimizar a possibilidade de existência de impactos ambientais negativos aos meios físico, biótico e antrópico;
- Minimizar os custos envolvidos;
- Minimizar a complexidade técnica para viabilização do aterro;
- Maximizar a aceitação pública ao encontro dos interesses da comunidade.

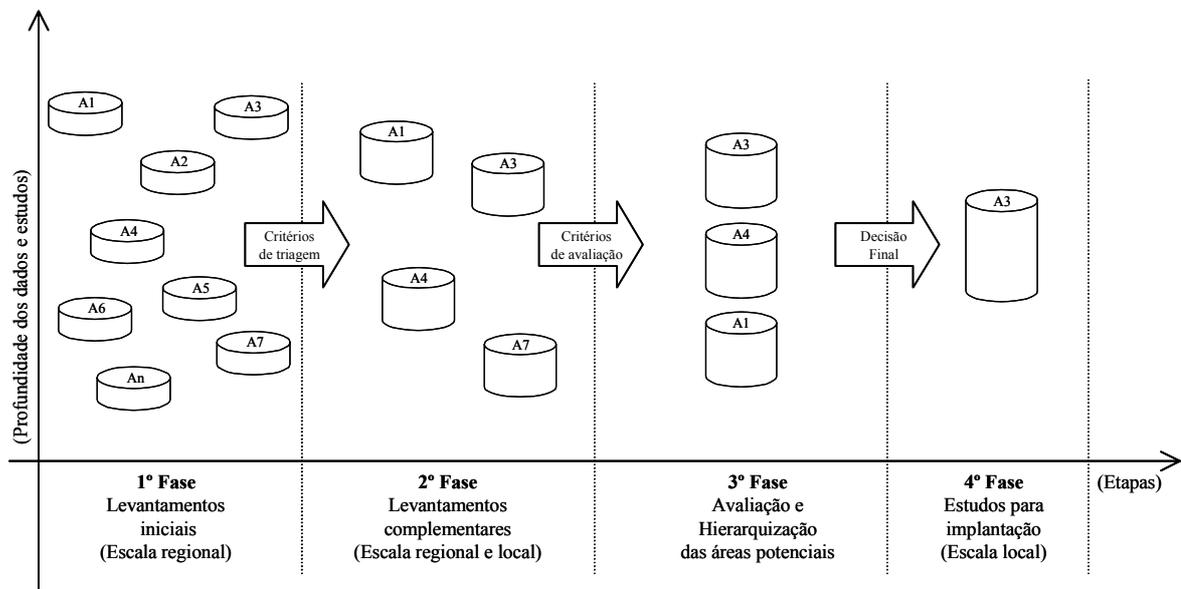
2.3.2 Processo

A seleção de locais para implantação de aterros sanitários envolve diversos atores (decisores, especialistas, comunidade), procedimentos e informações, cuja organização visa atingir certos objetivos pré-estabelecidos. Diversas abordagens são aplicáveis ao tema, entretanto um aspecto comum a todas elas é colocado em evidência: a realização do processo por etapas.

De acordo com Frantzis (1993), a abordagem do processo por etapas oferece a vantagem da redução da quantidade de dados a serem manuseados, restringindo desta maneira as avaliações detalhadas a um número relativamente menor de locais. Nesta abordagem, quatro etapas principais são identificadas num processo de seleção de áreas: (1) preparação dos dados de estudo, (2) identificação de áreas potenciais, (3) avaliação de locais por triagem e (4) avaliação comparativa entre locais potenciais.

Da mesma forma Tchobanoglous, Theisen e Virgil (1993), reafirmam a necessidade de um processo organizado a fim de selecionar um local e organizar uma base de dados que justifique a escolha feita. Neste processo os autores anteriormente citados, identificam também quatro etapas principais: identificação de locais possíveis, desenvolvimento de critérios técnicos, científicos e econômicos para comparação dos locais, avaliação e comparação dos locais possíveis a fim de selecionar os melhores locais para análises detalhadas, e investigação e acumulação de dados sobre os melhores locais a fim de recomendar um local final.

A figura 2.2 abaixo, apresenta um diagrama esquemático do processo de escolha de áreas, relacionando a profundidade dos dados e estudos necessários às diversas fases do mesmo.



Fonte: O estudo.

FIGURA 2.2 – PROCESSO DE ESCOLHA DE ÁREAS PARA ATERROS SANITÁRIOS.

2.3.3 Dados e informações

Nas seções seguintes são descritos os dados¹⁵ e informações referentes ao município e as áreas, considerados relevantes no processo de escolha de áreas para implantação de um aterro sanitário.

¹⁵ Na abordagem de Freedman (1992) os dados referem-se a fatos e as informações referem-se a uma série de dados analisados para prover decisão. Neste sentido uma informação é uma resposta a uma questão. Todas as informações provêm de dados, mas nem todos os dados se transformam em informação. Uma informação é uma ferramenta para a tomada de decisão, desta forma a qualidade da decisão depende da qualidade da informação.

2.3.3.1 *Município*

Aspectos demográficos

Constituem basicamente informações sobre a população do município e a sua evolução no decorrer do tempo. O conhecimento da população atual do município, e sua taxa de crescimento têm influência direta nos parâmetros de dimensionamento do aterro sanitário bem como dos requerimentos de espaço físico para viabilização do mesmo.

Gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos

As quantidades e as características dos resíduos a serem dispostos são influenciadas significativamente pelo sistema de gerenciamento adotado no município. Neste sentido, as principais informações referentes ao gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos relacionadas com o processo de escolha de áreas são destacadas a seguir:

*Serviço de coleta / Coleta convencional*¹⁶: a taxa de atendimento do serviço de coleta convencional e o crescimento desta em função do tempo, representam parâmetros importantes na identificação das quantidades de resíduos que estão sendo encaminhadas para disposição final. O conhecimento destes parâmetros permite uma avaliação mais fiel das projeções de resíduos a serem dispostos e dos requerimentos físicos de espaço para o aterro sanitário.

*Serviço de coleta / Coletas especiais*¹⁷: a introdução ou existência de programas de coletas especiais, a exemplo de coletas seletivas de materiais para reciclagem ou compostagem, tem reflexos diretos no sistema de disposição final. Quando analisada sob o ponto de vista da engenharia (ou operacional) a introdução destas coletas representam um maior tempo de utilização da área (vida útil); do ponto de vista ambiental, a segregação da matéria orgânica representa uma diminuição do potencial de poluição da massa de resíduos e do ponto de vista econômico, menores investimentos para viabilizar novos locais de disposição. Uma das

¹⁶ No contexto deste trabalho o termo coleta convencional considerado é sinônimo a coleta domiciliar definida pela NBR 12980 (ABNT, 1993).

¹⁷ A NBR 12980 (ABNT, 1993) faz distinção entre os termos coleta especial e seletiva. No contexto deste trabalho, a título de nomenclatura, as coletas seletivas de materiais para reciclagem são classificadas como coletas especiais.

maneiras de mensurar a influência das coletas especiais sobre a disposição final de resíduos é através da taxa de desvio, a qual representa a porcentagem de material desviado do aterro. Outro parâmetro a ser considerado quando da existência do serviço de coletas especiais, é a possibilidade de crescimento do atendimento com o passar do tempo (taxa de crescimento do serviço), a qual influenciará as quantidades de resíduos para disposição.

Aspectos quantitativos/Produção per capita de resíduos sólidos urbanos: a produção *per capita* de resíduos constitui um indicador básico para o gerenciamento dos resíduos sólidos no município. Por definição ela representa a quantidade média de resíduos produzidos por cada habitante por um período de tempo, geralmente expressa em kg/hab×dia. A evolução das quantidades de resíduos geradas no município é associada tanto ao crescimento populacional como ao incremento da produção *per capita* de resíduos, o qual está relacionado com a mudança de hábitos e padrões de consumo da população.

Aspectos quantitativos / Densidade dos r.s.u.¹⁸ após coleta convencional: constitui um parâmetro para avaliação dos volumes de resíduos a serem aterrados, tendo influência nas etapas de concepção e operação do aterro sanitário.

Aspectos quantitativos / Disposição Final (Parâmetros de projeto): a definição de parâmetros referentes aos aspectos operacionais da disposição final de resíduos (compactação, fator de cobertura e recalque) na etapa de levantamento de dados do município possibilita uma avaliação mais precisa dos volumes de resíduos a serem dispostos bem como uma estimativa mais realista da vida útil dos locais pretendidos.

2.3.3.2 Áreas

Legislação

Uso do solo: a atividade de disposição final, em virtude de seus aspectos ambientais não é compatível com todos os tipos de zoneamentos. Neste sentido, devem ser observadas as características referentes ao uso do solo da área pretendida a fim de evitar possíveis incompatibilidades de uso.

¹⁸ Resíduos sólidos urbanos.

Legislação municipal de planejamento: a área pretendida para disposição de resíduos deve estar de acordo com a legislação municipal de planejamento, evitando que sejam conduzidos estudos em áreas com restrições. O Plano Diretor, a Lei de Uso e Ocupação do Solo, e a Lei de Parcelamento do Solo Urbano são exemplos de instrumentos legais de planejamento, os quais estão diretamente relacionados com a escolha de áreas para implantação de um aterro sanitário.

Legislação municipal ambiental: Os municípios têm liberdade para estabelecer legislações ambientais mais restritivas do que as federais, desta maneira no processo de escolha de áreas devem ser verificadas a existência de possíveis legislações específicas e a conformidade da área com relação as mesmas.

Localização

Morros, montes ou montanhas, linhas de cumeada, restingas, manguezais, dunas, bordas de tabuleiro ou chapadas: deve ser observada a localização do aterro sanitário nestes locais, uma vez que a resolução Conama Nº 004, de 18 de setembro de 1985 considera como reservas ecológicas, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas nestas áreas.

Cabeceiras de drenagem: as cabeceiras de drenagem são áreas caracterizadas por possuírem alta declividade, elevada umidade, escoamento superficial concentrado e fluxo subterrâneo convergente para o talvegue (GUIMARÃES, 2000). Tais características acabam por aumentar a susceptibilidade destes locais a problemas geológicos e ambientais.

Distância de rodovias: a intensidade de certos impactos ambientais como ruídos, odores, impacto visual dependem diretamente da distância da fonte poluidora em relação ao receptor, neste sentido justifica-se o estabelecimento de uma distância mínima entre o aterro sanitário e as rodovias. Outro aspecto a ser evitado é a incompatibilidade de zoneamento com a faixa de domínio das rodovias.

Distância de núcleos populacionais ou áreas urbanas: a implantação e operação dos aterros sanitários podem causar impactos aos núcleos populacionais vizinhos, quando não respeitada uma distância mínima entre os mesmos. Os principais impactos são relacionados aos odores, ruídos (incremento do tráfego e operação do aterro), a poeira e ao incômodo visual. Justifica-se ainda a adoção de uma distância mínima do aterro por motivos de possível interrupção na

operação de aterramento dos resíduos. Devem ser observadas ainda as projeções ou vetores de expansão da zona urbana evitando localizar o aterro na direção destas. A adoção de um afastamento mínimo poderá servir como limite de segurança às ocupações desordenadas.

Distância de aeroportos e aeródromos: os resíduos depositados nas frentes de operação do aterro sanitário acabam por atrair pássaros para o entorno da área, cuja presença representa risco de acidentes para o tráfego aéreo. Neste sentido evita-se a localização de aterros em regiões próximas a aeroportos ou aeródromos.

Acessibilidade: a maior ou menor facilidade de operar um aterro sanitário está diretamente ligada às condições de acesso ao local escolhido para sua implantação. Desta maneira deve-se proceder a escolha em locais acessíveis por estradas (ou no mínimo que permitam a construção destas). Boas condições de acessibilidade estão associadas a estradas com boas condições de conservação e tráfego, possibilidade de trânsito mesmo em dias chuvosos e distâncias próximas ao centro gerador de resíduos.

Cota do local em relação ao centro produtor: A avaliação da cota (altitude) da área pretendida em relação ao centro produtor de resíduos esta relacionada com os aspectos econômicos e operacionais do aterro sanitário. A operação de transporte de resíduos implica em maiores custos e tempo quando executada a partir de locais situados a cotas inferiores ao local de descarga, uma vez que os caminhões percorrem os aclives carregados com resíduos.

Locais com valor histórico, cultural ou arqueológico: a decisão da implantação do aterro sanitário em locais com valores históricos, culturais e ou arqueológicos deve ser tomada juntamente com a comunidade e o os órgãos responsáveis.

Vida útil: a determinação da vida útil da área consiste em verificar através de cálculos em quanto tempo o volume disponível da área será integralmente preenchido pelos resíduos produzidos no município. Neste sentido a área disponível do local pode servir de parâmetro para triagens iniciais, recorrendo-se a estimativa da capacidade volumétrica apenas para as áreas consideradas como potenciais à implantação do aterro sanitário.

Relevo

Declividade do local: a declividade do local escolhido tem influência considerável nas fases de planejamento, construção e operação do aterro sanitário. Em termos operacionais a

declividade constitui um dos parâmetros de avaliação para definição do método de operação do aterro sanitário, de maneira que certos métodos de operação acabam por ser inviabilizados em locais com declividades altas. Do ponto de vista ambiental, declividades baixas acabam por favorecer a infiltração ao invés do escoamento superficial das águas pluviais, contribuindo para a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos. Declividades elevadas acabam por aumentar a susceptibilidade à erosão e favorecer o transporte de poluentes através do escoamento superficial.

Visibilidade do local: a visibilidade do local escolhido para implantação do aterro sanitário está diretamente ligado aos possíveis impactos visuais negativos decorrentes da modificação da paisagem. Desta maneira considera-se como mais favorável a implantação do aterro sanitário em locais cuja conformação topográfica e de relevo favoreçam a atenuação do impacto visual negativo.

Existência de barreiras à propagação de poluentes atmosféricos e ruídos: a avaliação da existência de barreiras à propagação está associada aos aspectos de poluição sonora e atmosférica no entorno do aterro. A conformação topográfica do local associada a faixas de vegetação compacta podem vir a formar barreiras naturais à propagação de poluentes atmosféricos e ruídos, auxiliando na atenuação dos impactos negativos associados a estas emissões.

Recursos hídricos

Distância do recurso hídrico superficial mais próximo: uma das principais preocupações com a implantação de um aterro sanitário está na possibilidade de contaminação dos recursos hídricos localizados no entorno da área. A distância do recurso hídrico até o local pretendido pode ser utilizada como um dos parâmetros de avaliação da vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais.

Classe do recurso hídrico mais próximo: as legislações ambientais estaduais costumam ser mais restritivas em relação à locação de empreendimentos próximos aos recursos hídricos de classe I, principalmente devido ao lançamento de efluentes nos mesmos. Algumas legislações, a exemplo da legislação ambiental do estado de Santa Catarina (Artigo 11 do Decreto Nº 14.250, de 5 de Junho de 1981.) proíbe o lançamento de efluentes mesmo tratados nos corpos d'água classe I.

Recursos hídricos próximos à área: As diferenças morfológicas manifestadas no relevo estão associadas as características de permeabilidade das rochas, as quais acabam também por definir a densidade de drenagem da região. Os morros e morrotes são formas de relevo normalmente associadas ao embasamento cristalino, apresentando uma maior densidade de drenagem. Quando analisada sob o enfoque ambiental, as regiões com grandes concentrações de recursos hídricos apresentam-se como mais susceptíveis a contaminação tendo em vista a implantação de um aterro sanitário.

Profundidade do lençol freático: corresponde a espessura da camada insaturada existente abaixo do aterro. A princípio 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 sejam atenuados através dos processos físicos, químicos e/ou biológicos. Neste sentido, locais com níveis elevados de lençol freático não são recomendados para implantação de aterros sanitários, devido ao maior risco de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos e nas implicações operacionais e de custo necessárias para adequação do local.

Clima

Direção dos ventos predominantes: a direção dos ventos predominantes é um dos fatores meteorológicos que influenciam a difusão e transporte de poluentes atmosféricos, constituindo desta maneira um parâmetro de avaliação da área em relação à atenuação da poluição atmosférica.

Pluviosidade: as regiões com altos índices pluviométricos são mais desfavoráveis a implantação de um aterro sanitário, quando comparadas a regiões de baixos índices pluviométricos. A avaliação da pluviosidade tem efeito para as decisões em escala regional, uma vez que o raio de abrangência das estações pluviométricas é de 20 km aproximadamente.

Solo

Classe textural: A classe textural predominante do solo constitui um dos parâmetros de avaliação mais importantes na escolha de áreas para disposição final de resíduos. A permeabilidade do solo e o risco de poluição dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) podem ser avaliados preliminarmente através da classe textural do solo

predominante do local. A classe textural também constitui um dos parâmetros de avaliação da susceptibilidade da área a processos erosivos.

Permeabilidade: A maior ou menor facilidade de infiltração de líquidos no solo, definida pela permeabilidade, esta diretamente associada aos principais processos (físicos, biológicos e químicos) que controlam a migração de contaminantes. Em termos quantitativos a permeabilidade do solo pode ser expressa através do coeficiente de permeabilidade – k (cm/s), o qual pode ser determinado através de medições em campo ou por meio de ensaios laboratoriais.

Espessura: O horizonte B do solo é o resultado de transformações relativamente acentuadas do material originário e/ou ganho de constituintes minerais e/ou orgânicos migrados de outros horizontes (OLIVEIRA¹⁹ et al., apud SALOMÃO e ANTUNES, 1998). Neste sentido quanto maior for a espessura do solo, maior será a probabilidade de atenuação de poluentes por processos físicos, biológicos e/ou químicos. A avaliação da espessura do solo associa-se também com a definição da técnica de operação (na fase de planejamento) e a disponibilidade em termos quantitativos de material local a ser utilizado para recobrimento dos resíduos.

Capacidade de troca catiônica do solo: esta capacidade é atribuída a propriedade que as argilas possuem de trocar cátions para neutralizar cargas negativas. A troca de íons segundo Robinson (1989) é o maior mecanismo de atenuação para cátions, particularmente para amônia. Os valores da capacidade de troca catiônica do solo, expressos em termos de miliequivalente grama por 100 g (meq/100g) variam consideravelmente, podendo ser encontrados valores de 3 a 150 meq/100g dependendo dos argilominerais presentes no solo. Quantitativamente, valores mais altos de capacidade de troca catiônica do solo estão relacionados à atenuação de poluentes. Apesar da capacidade de troca catiônica ser um parâmetro pouco referenciado na literatura sobre escolha de áreas para disposição final de resíduos, este parâmetro é comumente encontrado em análises de solo para cultivo.

Pedregosidade: segundo Lemos e Santos (1996) a pedregosidade refere-se à proporção relativa de calhaus²⁰ e matações sobre a superfície e/ou massa do solo. A avaliação da pedregosidade da área está diretamente ligada com os aspectos operacionais e econômicos da implantação do aterro sanitário.

¹⁹ OLIVEIRA, J. B., et al. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 1992.

²⁰ Refere-se a denominação da fração grosseira do solo equivalente entre 2 a 20 cm de diâmetro, segundo Lemos e Santos (1996).

Flora e Fauna

Cobertura vegetal: A avaliação da cobertura vegetal tem influência sobre os aspectos ambientais, operacionais e econômicos da implantação do aterro sanitário. As obras de limpeza e terraplanagem do terreno, envolvidas na construção do aterro, podem vir a causar impactos negativos sobre a flora e fauna do local. A necessidade ou não remoção da cobertura vegetal também tem implicações de tempo e custos envolvidos na construção do aterro sanitário.

Atributos antrópicos

Infra-estrutura: a fase de operação do aterro sanitário necessita de uma infra-estrutura local a fim de apoiar as atividades diárias, exigindo normalmente investimentos para adequação do local escolhido. Neste sentido, quando analisados sob o enfoque econômico, os locais que apresentam elementos pré-existentes de infra-estrutura são mais favoráveis a implantação do aterro sanitário.

Preço do terreno: a viabilização do aterro sanitário envolve alguns custos de investimento diretamente relacionados com a escolha locacional. Neste sentido, a fim de que sejam minimizados os investimentos necessários, dá-se preferência para terrenos de propriedade da própria prefeitura ou locais com baixo valor econômico, no processo de seleção de áreas.

Especulação econômica do local: normalmente os terrenos com alta especulação econômica são associados a zonas residenciais ou áreas produtivas para atividades agrícolas. Desta maneira, dá-se preferência por terrenos desvalorizados economicamente a exemplo de áreas degradadas ou áreas exploradas economicamente (ex: áreas de mineração, áreas de empréstimo para construção de estradas, etc.)

Material de cobertura: a avaliação da quantidade e qualidade do material de cobertura existente esta relacionada diretamente aos aspectos operacionais e econômicos da fase de operação do aterro sanitário.

2.3.4 Estado da arte

O estado da arte refere-se ao conjunto de estudos, metodologias, e trabalhos desenvolvidos sobre a escolha de áreas para disposição final de resíduos, a fim de situar a abordagem utilizada para o desenvolvimento da pesquisa.

A escolha de áreas para disposição de resíduos tem sido objeto de estudo de várias pesquisas no decorrer dos últimos anos. A possibilidade de aplicação de diversas disciplinas ao tema, confere a este um caráter multidisciplinar, resultando em diferentes abordagens e metodologias propostas. A seguir são descritas as principais abordagens utilizadas:

- Guimarães (2000) através de um sistema de informações geográficas (SIG)²¹ identificou áreas potenciais para disposição de resíduos na bacia do Paquequer, município de Teresópolis/RJ. As áreas potenciais para disposição de resíduos foram obtidas através da aplicação de critérios sob mapeamentos da região.
- Vieira (1999) utilizou o SIG Idrisi para escolha de locais para o tratamento e disposição final dos resíduos sólidos de Florianópolis/SC. A metodologia consistiu nas seguintes etapas: levantamento e análise dos dados existentes da área de estudo, separação das informações em níveis (layers), definição de critérios técnicos para escolha das áreas, geoprocessamento das informações e análise das áreas selecionadas.
- Gomes et al. (2000) verificaram os critérios técnicos utilizados na seleção de áreas para a disposição final de resíduos sólidos, e aplicaram técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas, para identificação e localização de áreas aptas no município de São Leopoldo/RS. As seguintes etapas metodológicas fizeram parte do estudo: coleta, compilação e análise de dados existentes; análise de imagens de satélite; determinação de áreas potencialmente aptas; análise integrada de dados e definição de áreas aptas; análise da vida útil e usos futuros das áreas.

²¹ A utilização de sistemas de informações geográficas baseia-se na criação de mapas temáticos cuja superposição fornece áreas de uso potencial, definidas com base em critérios previamente estabelecidos (GUIMARÃES 2000). Para tanto é necessária uma estrutura de hardware e software para trabalhar os dados obtidos.

- Lima (1999) propôs uma metodologia de avaliação e hierarquização visando a seleção de áreas para implantação de aterros sanitários. A metodologia é baseada inicialmente na Análise de Valor²² e posteriormente na Lógica Fuzzy²³.
- Cintra e Barreto (1997) utilizaram o SIG Idrisi em estudo para localização de áreas para aterros sanitários. O estudo consistiu primeiramente na aquisição e digitalização de dados e posteriormente na definição e aplicação de critérios sobre as bases digitalizadas.
- Melachrinoudis, Min e Wu (1995) desenvolveram um modelo matemático como ferramenta de apoio à decisão para locação de aterros sanitários. O modelo leva em conta a natureza dinâmica e de múltiplos objetivos do problema os quais foram considerados na forma de equações matemáticas, variáveis e parâmetros.
- Frantzis (1993) propôs uma metodologia para seleção de locais para aterros sanitários municipais baseada em critérios de seleção. A metodologia aborda o processo de seleção de locais em etapas, nas quais são aplicados e quantificados sucessivamente critérios ambientais, de engenharia e econômicos. As áreas são analisadas em função do custo por tonelada para disposição de resíduos e do valor atribuído para o impacto ambiental total das mesmas.
- Hamada e Cavaguti (2000) utilizaram o método matricial para classificação de áreas para implantação do aterro sanitário municipal de Franca/SP. Inicialmente foram priorizadas algumas áreas através de estudos iniciais de avaliação (elementos de drenagem, relevo, características geológico-estruturais). A qualificação das áreas por sua vez compreendeu na pontuação obtida nos grupos de prioridade e componentes de análise anteriormente identificados e ponderados.
- Brollo (2001) desenvolveu uma metodologia para seleção de áreas para disposição final de resíduos sólidos apoiada em princípios e recursos de sensoriamento remoto e geoprocessamento, através de um sistema gerenciador de informações. As principais etapas de desenvolvimento compreenderam: na análise dos aspectos de uso e ocupação do solo e aspectos fisiográficos da área; na definição de critérios para associação e

²² Desenvolvida por Lawrence D. Miles a partir de 1947, a metodologia foi elaborada para agir sobre o conjunto de funções desempenhadas por um produto, racionalizando-o e otimizando-o com a finalidade de reduzir os custos, atendendo às necessidades dos consumidores (LIMA, 1999).

²³ Concebida por Lofti A. Zadeh em 1965, é uma extensão da lógica (booleana) convencional, utilizada para representar modelos de raciocínio impreciso. A lógica *fuzzy* permite trabalhar com graus de pertinência que vão além das dicotomias: sim/não, pertence/não pertence, falso/verdadeiro (LIMA, 1999).

hierarquização dos atributos; no desenvolvimento de procedimentos técnicos e lógicos e ponderação dos atributos e por final na implementação de recursos tecnológicos na forma de um sistema gerenciador de informações.

- A Fundação de Planejamento Metropolitano e Regional (METROPLAN) desenvolveu um projeto de seleção de áreas e disposição final de resíduos para a região metropolitana de Porto Alegre/RS. Segundo Waquil et al. (2000) o projeto foi desenvolvido em três etapas: aplicação de critérios eliminatórios gerais; desenvolvimento de uma metodologia para selecionar e hierarquizar áreas ; teste da metodologia proposta em área piloto e aplicação da metodologia para as demais regiões.
- Pineda (1998) desenvolveu uma metodologia para seleção de locais para aterros sanitários baseada em uma matriz subjetiva do tipo Leopold²⁴. A avaliação das áreas é baseada na pontuação obtida pelas mesmas segundo 14 critérios estabelecidos.
- Moreda, Anido e Borzacconi (2000) desenvolveram e aplicaram uma metodologia para localização de um aterro sanitário na cidade de Treynya y Tres/Uruguai. A metodologia consistiu nas seguintes etapas: definição das áreas de exclusão; identificação de quadriculas de 1 x 1 km nas áreas não excluídas; definição dos fatores de avaliação para aptidão das áreas; aplicação do processo de hierarquização analítica e verificação *in situ* das áreas escolhidas.
- Fiuza (1999) desenvolveu uma metodologia para implantação de soluções intermunicipais para tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos. A metodologia proposta foi estruturada em três etapas: diagnóstico dos serviços de limpeza pública dos municípios selecionados; seleção das áreas potenciais para a implantação de soluções intermunicipais e avaliação de variáveis não físicas²⁵.
- Baptista, Junqueira e Bernardes (1997) utilizaram o SIG Idrisi para classificação de áreas no Distrito Federal quanto a potencialidade de abrigar um aterro sanitário. A metodologia consistiu na obtenção de um mapa de potencialidade para implantação do aterro segundo aspectos ambientais, através da aplicação de critérios em bases cartográficas.

²⁴ A matriz do tipo Leopold consiste num método de avaliação de impactos ambientais baseado no cruzamento de informações das atividades envolvidas no projeto a ser realizado e nas características ambientais que podem ser afetadas.

²⁵ Organização administrativa/funcional da prefeitura, existência de conselho de defesa do meio ambiente, cobrança de taxa de limpeza pública, existência de programas de minimização de r.s.u. entre outras.

Posteriormente para análise final dos resultados foram consideradas variáveis econômicas envolvidas no processo (produção de resíduos e distância).

- Souza (1999) aplicou um sistema de apoio à decisões em ambiente espacial na avaliação de áreas destinadas para disposição de resíduos sólidos urbanos na região metropolitana de Porto Alegre/RS.
- Sánchez e Carrasquero (1998) aplicaram a programação Meta²⁶ para seleção de áreas para localização de aterros sanitários. O processo de planejamento do problema através do enfoque Meta foi descrito através de um estudo de caso, no qual foram propostas variáveis e atributos de decisão. Posteriormente os atributos foram valorados e agregados segundo as preferências para a unidade de decisão.
- Charnpratheep, Zhou e Garner (1997) verificaram a associação da teoria fuzzy e o processo de hierarquização analítica (*Analytic Hierarchy Process - AHP*)²⁷ em um sistema de informações geográficas para a triagem preliminar de locais para implantação de aterros sanitários na Tailândia. O estudo compreendeu as seguintes etapas: formulação dos critérios de triagem; modelagem fuzzy para o sistema de informações geográficas, determinação dos pesos dos critérios e implementação da metodologia no software Arc/Info.
- Wichelns et al. (1993) desenvolveram um modelo para avaliação de locais para aterro sanitário que inclui as preferências públicas referentes aos recursos naturais e comunidades vizinhas. O modelo é baseado em pesquisas realizadas com a população sobre a preferência a respeito das alternativas locais.
- Fiúza e Oliveira (1997) prepararam uma matriz interativa para escolha locacional de aterro sanitário. A avaliação das alternativas locais é baseada nas avaliações conferidas a impactos positivos e negativos.
- Valeriano e Escalera (2002) descreveram o processo de escolha de áreas no município de Cochabamba/Bolívia para implantação de um aterro sanitário. A metodologia utilizada consistiu na combinação de critérios através de um sistema de informações geográficas (Pamap) resultando num mapa com zoneamentos potenciais.

²⁶ Técnica baseada na teoria de decisões multicritério.

²⁷ Metodologia desenvolvida por Saaty para determinar a prioridade dos pesos dos critérios (CHARNPRATHEEP, ZHOU e GARNER, 1997).

- Gómez (2002) propôs uma metodologia para localização de aterros sanitários baseada na Teoria de Jogos. O objetivo da metodologia consiste em conhecer quais ações serão mais impactantes e os elementos de entorno afetados através de resoluções numéricas. A metodologia propõe a resolução numérica através da utilização do método de programação linear Newman-Dantzig.
- Escalante (1998) descreveu a aplicação dos sistemas de informações geográficas para seleção de regiões e áreas para confinamento de resíduos no México. A metodologia utilizada nos estudos compreendeu as seguintes fases: planejamento do projeto e seleção de variáveis; seleção do SIG e capacitação do pessoal; recopilação da informação; análise e processamento da informação; elaboração e adaptação do material analógico e digital; integração e exploração do SIG.

2.4 CONCLUSÕES

O objetivo principal deste capítulo foi caracterizar os principais aspectos da disposição final de resíduos em aterros sanitários, relacionando a importância do processo de escolha de áreas para a implantação dos mesmos.

Durante as diversas fases do ciclo de vida do aterro sanitário a necessidade da adoção de critérios a fim de que estas instalações cumpram corretamente suas funções previstas, é um aspecto relevante a ser destacado. Da mesma forma, considera-se a fase de planejamento e escolha de áreas como de grande importância no processo, uma vez que as decisões tomadas nesta fase influenciarão de maneira significativa os aspectos ambientais, operacionais e econômicos das próximas fases.

O processo de escolha de áreas, por sua vez é formado por um conjunto de conhecimentos multidisciplinares, cuja sistematização de etapas, dados e informações e procedimentos são essenciais para a obtenção de bons resultados.

Do ponto de vista científico diversas abordagens tem sido propostas para o tema. De acordo com as referências pesquisadas verifica-se a necessidade de um grau de especialidade para utilização dos conhecimentos produzidos, este grau normalmente é atingido apenas pelos especialistas nos domínios referentes de conhecimento. Neste sentido, o presente trabalho

busca diminuir este “gargalo” de conhecimentos, através da criação de um modelo de raciocínio de fácil utilização e acesso, sobretudo aos usuários não especialistas.

No próximo capítulo são introduzidos os princípios da modelagem de conhecimentos na forma de sistemas de apoio à decisão e da avaliação multicritério, fundamentando teoricamente o desenvolvimento do sistema proposto.

3 PRINCÍPIOS DA MODELAGEM DE CONHECIMENTOS E APOIO À DECISÃO

3.1 INTRODUÇÃO

O capítulo anterior caracterizou a escolha de áreas para disposição final de resíduos como uma atividade que envolve além de dados e informações adequadas, uma seqüência de procedimentos e conhecimentos para encadeá-los possibilitando a aproximação de uma solução. Na prática este papel é desempenhado por profissionais denominados especialistas.

Atualmente, a presença de especialistas envolvidos nas questões relacionadas ao gerenciamento de resíduos sólidos nas pequenas comunidades é muito pequena, caracterizando uma carência de profissionais envolvidos na tomada de decisões para solução de problemas.

Nos últimos anos algumas disciplinas têm dirigido seus esforços para a formalização de procedimentos “especialistas” em modelos de representação e na melhoria dos processos para análise de opções sob múltiplos critérios, ambas objetivando o apoio às decisões propostas a um interventor.

Neste capítulo são introduzidos de maneira sucinta os principais fundamentos dos sistemas de apoio à decisão, através de suas definições, classificação, estrutura e principais técnicas de modelagem. Da mesma forma são introduzidos os princípios do apoio multicritério à decisão, através da descrição das principais abordagens, atores envolvidos e caracterização do processo, tendo em vista o desenvolvimento do sistema proposto.

3.2 SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO

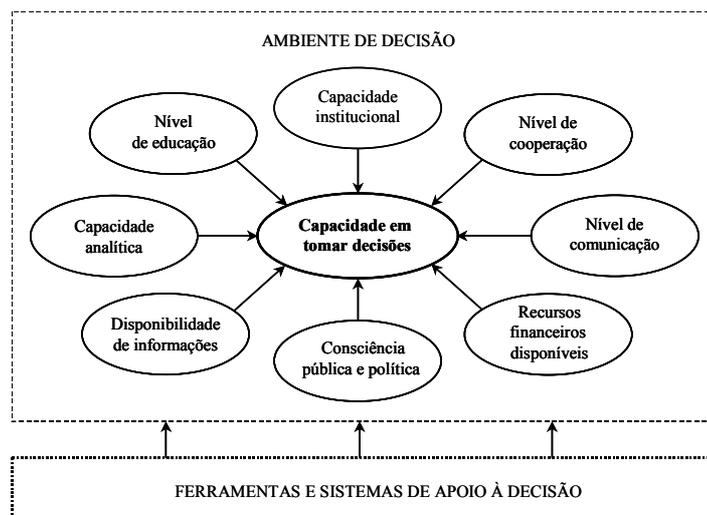
3.2.1 Fundamentos

Atualmente as decisões relacionadas às questões ambientais, exigem cada vez mais dos decisores uma tomada de decisão racional comprometida com o atendimento de diversos aspectos (proteção, economia, técnica) muitas vezes apresentando interesses divergentes.

Uma das características normalmente associada às decisões ambientais, refere-se ao grau de incerteza das mesmas conforme identificam Gough e Ward (1996):

Uma decisão envolve assumir riscos, nesta perspectiva bons processos e resultados podem ser associados a probabilidade. Se bons processos forem utilizados e existir um mínimo de incerteza envolvida, então existe uma alta probabilidade dos resultados serem bons. Decisões ambientais, entretanto, tendem a estar associadas a uma incerteza considerável.

A capacidade de um decisor em tomar decisões bem como a incerteza relacionada a estas decisões, varia de acordo com vários fatores entre eles: a disponibilidade de conhecimentos e habilidades, o entendimento e comunicação entre os tomadores de decisão, o desejo de cooperação entre os decisores, os recursos financeiros disponíveis, etc. Tais elementos, segundo Westmacott (2001) formam o ambiente de decisão.



Fonte: Westmacott (2001)

Nota: traduzido do original.

FIGURA 3.1– REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO AMBIENTE DE DECISÃO.

Neste sentido, Roy (1985) define o apoio à decisão como a atividade que permite através de modelos claramente explicitados mas não necessariamente completamente formalizados, ajudar na obtenção dos elementos de resposta as questões que são colocadas a um interventor num processo de decisão. Tais elementos buscam esclarecer e normalmente prescrever a decisão, ou simplesmente favorecer um comportamento que venha acrescentar coerência à evolução do processo, aos objetivos e sistema de valores utilizados pelo interventor.

Uma abordagem mais abrangente, utilizada por Andriole²⁸ citado por Gough e Ward (1996) , referencia o apoio à decisão como qualquer e todo dado , informação, habilidade e atividades que contribuam na seleção de uma opção.

Os primeiros sistemas computacionais, voltados ao apoio a decisões, surgiram no final dos anos 60 e inícios dos anos 70. Neste período os pesquisadores engajados em instalar sistemas de gerenciamento de informações concluíram que as bases de dados são úteis para rotinas e problemas estruturados, entretanto limitadas para apoiar decisores lidando com problemas não estruturados.

Os novos programas computacionais que surgiram para atender as necessidades dos decisores foram denominados de sistemas de apoio à decisão (*Decision Support Sytems – DSS*), definidos como: “sistemas interativos baseados em computador, os quais ajudam os decisores na utilização de dados e modelos para resolver problemas não estruturados” (SPRAGUE e CARLSON²⁹ apud DAVIS e MCDONALD, 1993).

O desenvolvimento dos sistemas de apoio à decisões associa-se normalmente as decisões que envolvem ações sustentadas por fenômenos complexos, as quais permitem análises sob diversos pontos de vista, ou ainda onde encadeamento das relações entre causas e conseqüências é difícil de ser descoberto (ROY, 1985). Tais características relacionam-se com a maioria das decisões envolvendo problemas ambientais.

Com relação à difusão dos sistemas de apoio à decisão, Parker et al.³⁰ citados por Westmacott (2001), afirmam que o uso de técnicas de modelagem através de computadores

²⁸ ANDRIOLE, S. J. **Handbook of decision support systems**. Philadelphia: TAB Books Ink, 1989.

²⁹ SPRAGUE, R.H; CARLSON, E. D. **Building Effective Decision Support System**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1982.

³⁰ PARKER et al. Use and misuse of complex-models: examples for water demand management. **Water Resources Bulletin**. n. 31, p. 257-263.1995

como ferramentas para o gerenciamento tem melhorado na mesma proporção em que os computadores têm-se tornado mais acessíveis e disponíveis.

Um aspecto importante a ser considerado na modelagem dos sistemas de apoio à decisão, refere-se a maneira humana de pensar. Segundo Kainuma, Nakamori e Morita³¹ citados por Westmacott (2001), a maneira humana de pensar nem sempre é normativa ou racional, porém muitas vezes condicional, caracterizando que as pessoas utilizam toda sua experiência para alcançar uma decisão. Desta maneira, por maiores que sejam os esforços no sentido reproduzir bons processos para a tomada de decisões em um sistema computacional, estes devem ser encarados como sistemas de apoio e não como decisores.

Da mesma forma, Davis e McDonald (1993) identificam a dificuldade de encadear modelos de decisão tendo em vista que muitas das informações necessárias no reconhecimento de uma solução aceitável são qualitativas, incertas e incompletas. A responsabilidade pela decisão, neste caso, deve residir sobre o decisor e não sobre o modelo.

Neste sentido os sistemas de apoio à decisão devem ser desenvolvidos com o objetivo de prover o ambiente de decisão através de informações adicionais, ferramentas analíticas e de gerenciamento, as quais de outra maneira poderiam não estar disponíveis (WESTMACOTT, 2001).

3.2.2 *Classificação*

Atualmente existe uma grande diversidade de sistemas de apoio à decisão, utilizados para as mais variadas funções. Wierzbicki (2000) identifica três classes principais de sistemas de apoio à decisão: sistemas baseados em dados, sistemas baseados em regras e sistemas baseados em modelos, descritos a seguir.

Os sistemas baseados em dados encontram grande utilização e aplicação comercial. Estes sistemas de apoio utilizam-se de técnicas de “mineração de dados³²” e “processamento

³¹ KAINUMA, M.; NAKAMORI, Y.; MORITA, T. **Development of an Intelligent Decision Support System for Environmental Modeling and Planning**. Japan: National Institute for Environmental Studies, 1991.

³² O termo mineração de dados provém da língua inglesa (*data mining*) termo amplamente utilizado no campo da informática. A mineração de dados também é chamada de exploração da base de dados, ou descobrimento de informações e conhecimentos, estas ferramentas encontram padrões em dados, inferindo regras a partir destes.

analítico *on line*³³ para encontrar regularidades em grandes bancos de dados e construir modelos a partir destas.

Os sistemas baseados em regras são representados pelos sistemas especialistas e sistemas baseados em inteligência artificial. Nestes sistemas a experiência e os conhecimentos existentes são expressos através de regras lógicas. Estes sistemas serão descritos em maior profundidade na seção 4.3.

Os sistemas baseados em modelos analíticos utilizam-se do conhecimento em uma determinada disciplina descrita através de modelos analíticos ao contrário de modelos lógicos. Estes sistemas de apoio à decisão podem ser aplicados em vários campos disciplinares, algumas abordagens reforçam as vantagens das ferramentas orientadas para disciplinas específicas, entretanto a maioria dos sistemas de apoio à decisões baseados em modelos tem caráter interdisciplinar, necessitando de diversas ferramentas. Estes sistemas são largamente aplicados em campos como: projeto de engenharia e controle ambiental, bem como em pesquisa operacional e economia.

3.2.3 Estrutura

Em virtude da existência de uma grande variedade de sistemas de apoio à decisão, a estrutura destes sistemas varia consideravelmente. Entretanto uma estrutura típica constituída de três componentes principais é identificada por vários autores entre eles: Geraghty³⁴, Zhu et al.³⁵ citados por Westmacott (2001), Shim et al. (2002), Wright e Buehler (1993), Davis e McDonald (1993), Siskos e Spyridakos (1999). Os componentes básicos são descritos em termos de base de dados, interface com o usuário e base de modelos.

³³ Na língua inglesa: *On line Analytical Processing – OLAP*, esta categoria de tecnologia de software permite aos analistas, gerentes e executivos discernirem sobre dados, através de acesso rápido, consistente e interativo a uma grande variedade de visões possíveis da informação (obtida através dos dados brutos).

³⁴ GERAGHTY, P. J. Environmental assessment and the application of expert systems: a overview. **Journal of Environmental Management**. n.39, p. 27-38. 1993.

³⁵ ZHU et al. A knowledge-based systems approach to design of spatial decision support systems for environmental management. **Environmental Management**. n.22, p.35-48. 1998.

A figura 4.2 abaixo, apresenta uma estrutura genérica para os sistemas de apoio à decisão:

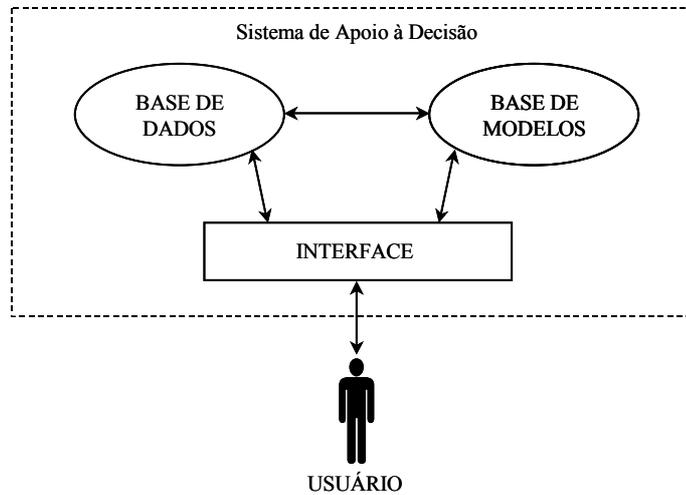


FIGURA 4.2 – ESTRUTURA GENÉRICA DE UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO.

Interface com usuário: a interface é a única parte do sistema de apoio à decisão com a qual o usuário irá ter contato, exercendo uma importante função na utilização do sistema (WESTMACOTT, 2001). A interface além de interpretar uma grande variedade de solicitações do decisor, é capaz também de justificar resultados da base de dados e modelos (DAVIS e MCDONALD, 1993). A interação entre o usuário e o sistema, constitui um aspecto de grande importância tendo em vista a própria definição dos sistemas de apoio à decisão.

Base de dados: a base de dados é utilizada nas operações de gerenciamento de dados (armazenamento, atualização, recuperação e processamento), nela estão contidos todos os dados e informações que irão alimentar o modelo.

Base de modelos: atualmente existe uma grande diversidade de modelos (estruturais, matriciais, numéricos, matemáticos, espaciais, etc.) e técnicas de modelagem, a definição destes depende sobretudo das necessidades do usuário, dos objetivos do sistema e ainda dos recursos financeiros e tempo disponível.

3.2.4 *Sistemas especialistas*

Os sistemas especialistas emergiram como um dos resultados das pesquisas em inteligência artificial³⁶, conduzidas no início dos anos setenta. No contexto dos sistemas de apoio à decisão, a importância dos sistemas especialistas, de acordo com Davis e McDonald (1993), deve-se a necessidade e interesse manifestado pelos pesquisadores em lidar com informações qualitativas através de uma linguagem natural de diálogo entre homem e computador.

Entretanto, os esforços em reproduzir modelos cognitivos de comportamento não ocorreram de maneira satisfatória na resolução de todos os tipos de problemas, conforme destacam Davis e McDonald (1993):

Os pesquisadores em inteligência artificial não foram capazes ainda de reproduzir o comportamento dos homens na resolução de problemas do cotidiano, tendo em vista a vasta quantidade de informações, as quais normalmente são acessadas até na tomada de decisões simples. Ironicamente, os pesquisadores tiveram grande sucesso na modelagem de comportamento especialista, tendo em vista a menor quantidade de informação altamente estruturada, a qual constitui o domínio de conhecimento de um especialista.

Neste sentido, os sistemas especialistas são definidos como programas de computador que se comportam como especialistas reais, utilizando-se de heurística³⁷ ao invés de algoritmos na solução de problemas complexos em diversos campos do conhecimento (LEARY, 1993).

Soares (1994) identifica algumas funções principais relacionadas aos sistemas especialistas: resolução de problemas de modo sistemático (evitando a influência, as vezes negativas, de fatores humanos exteriores ao domínio da ação); capitalização de conhecimentos (preservando os conhecimentos ou experiência) e ainda a divulgação de conhecimentos (transferência de conhecimentos de um especialista para um iniciante).

³⁶ Segundo FINN (1989), a inteligência artificial corresponde a um campo da Ciência da Computação, preocupada com o entendimento dos conceitos e métodos do raciocínio humano, e a aplicação deste entendimento no desenvolvimento de programas computacionais os quais apresentam comportamento inteligente.

³⁷ A heurística provém da palavra grega "*heuriskein*" a qual significa: descobrir. Pode ser definida como o processo de conhecimento através de tentativas, ao invés fórmulas pré-estabelecidas, pertencendo ao grupo de conhecimentos acumulados através da experiência. Um jogador de xadrez, por exemplo, utiliza-se de uma abordagem heurística.

Os principais avanços no desenvolvimento destes sistemas foram no campo da química, medicina, geologia e computação. Na área ambiental, segundo Hushon (1990) o surgimento dos sistemas especialistas pode ser considerado tardio, em virtude de duas razões: a ciência para lidar com os problemas ambientais não era ainda bem entendida com poucas metodologias consensuais, e pelo fato de que poucos problemas ambientais podem ser resolvidos através de apenas um especialista.

Os sistemas especialistas são estruturados a partir de dois componentes principais: a base de conhecimentos e o motor de inferência, descritos a seguir:

Base de conhecimentos: armazena os conhecimentos específicos, formalizados através de um método de representação. Um dos métodos mais utilizados para representação de conhecimentos nos sistemas especialistas são as regras de produção do tipo **Se-Então** (*If-Then*). As regras de produção são estruturas dinâmicas, representando declarações de condição e ação:

Se (condição) **Então** (ação)

Por exemplo,

Se (porosidade = baixa) e (estrutura = compacta)

Então (permeabilidade = baixa)

As atividades de aquisição, análise e transferência e representação dos conhecimentos em um modelo de representação, são relacionadas a engenharia cognitiva ou engenharia do conhecimento. Os engenheiros cognitivos utilizam-se de diversas técnicas para aquisição de conhecimentos: entrevista com especialistas, análise do comportamento dos especialistas em ação, análise de documentos, etc.

Um dos métodos mais tradicionais utilizados para estruturação dos conhecimentos adquiridos e posterior tradução destes em regras de produção, consiste na utilização de fluxogramas, conforme demonstra a figura 3.2, a seguir.

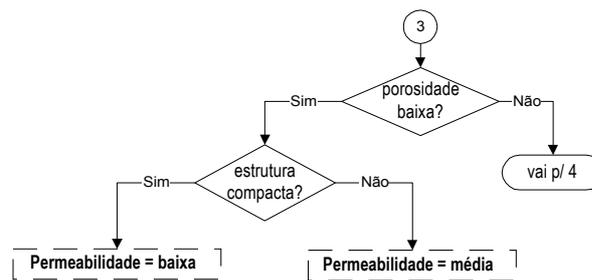


FIGURA 3.2 – ESTRUTURAÇÃO DE CONHECIMENTOS ATRAVÉS DE FLUXOGRAMAS.

Mecanismo ou motor de inferência: segundo Finn (1989), esta é a parte do programa que se encarrega em fazer as afirmações, hipóteses e conclusões. É através do mecanismo de inferência que a estratégia (método de solução) é controlada. O motor de inferência obtém informações do usuário sobre uma ocorrência particular do problema, utilizando-se da base de conhecimentos para inferir³⁸ logicamente, conclusões validas sobre aquela ocorrência. Esta habilidade em justificar logicamente as conclusões, utilizando a investigação do conhecimento, é reconhecido por Davis e McDonald (1993), como um dos aspectos mais fortes dos sistemas especialistas. Um sistema especialista também pode ser desenvolvido através de uma *shell*, uma estrutura contendo o motor de inferência e a interface com o usuário, entretanto uma base de conhecimentos “vazia”, a qual deverá ser preenchida pelo usuário da aplicação com os conhecimentos específicos do seu interesse.

As razões para o desenvolvimento e implantação de um sistema especialista variam consideravelmente, entretanto alguns aspectos comuns foram relacionados por Finn (1989), entre os quais destacam-se:

- A especialidade humana se encontra perdida em virtude da falta de transferência, aposentadoria, etc.
- De maneira geral os profissionais envolvidos atuam de maneira inconsistente;
- Os especialistas são raros, existindo um “gargalo” de conhecimento;

³⁸ Deduzir por meio de raciocínio, tirar por conclusão ou consequência (FERREIRA, 1975b).

3.3 APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO

3.3.1 Análise multicritério

A análise multicritério surgiu enquanto crítica ao modelo racional da teoria da decisão, a qual fundamenta-se na concepção de um único decisor, de um único critério e informação perfeita (BAASCH, 1995).

De acordo com Syskos e Spyridakos (1999) a análise multicritério consiste na base dos sistemas de apoio multicritério a decisão, os quais incluem modelos, métodos e abordagens que buscam ajudar os tomadores de decisão a lidar com problemas de decisão semi-estruturados com múltiplos critérios, onde os componentes são transicionais e a informação necessária é insuficiente.

A principal característica apontada por Maystre, Pictet e Simos (1994) com relação aos métodos de análise multicritério esta no fato destes formalizarem ou modelarem a preparação para decisão, desta maneira duas vantagens decisivas são relacionadas:

- melhora a transparência do processo de decisão;
- define, precisa e coloca em evidência a responsabilidade do decisor.

Na definição de Qureshi, Harrison e Wegener (1999) a análise multicritério é uma abordagem útil, a qual incorpora uma mistura de informações quantitativas e qualitativas levando em consideração as preferências de vários grupos tomadores de decisão.

3.3.2 Histórico

Segundo Syskos e Spyridakos (1999) nos últimos vinte anos a análise multicritério apresentou importante melhorias, as quais são refletidas pelo progresso de quatro tendências teóricas, descritas na seqüência.

A primeira abordagem também denominada de escola americana (FISHBURN, 1970, 1972, 1982; FRENCH, 1993; KEENEY e RAIFFA, 1976; KEENEY 1992; VON WINTERFELDT e EDWARDS, 1993), é representada pelo “sistema de valores”. Esta

abordagem tem como objetivo a construção de um sistema de valores que agrega as preferências dos decisores sobre os critérios. O sistema de valores estimados através desta abordagem fornece um caminho quantitativo para orientar os decisores na sua escolha final.

A segunda abordagem é representada pela escola francesa (ROY, 1976, 1985, 1989, 1990; ROY e BOUYSSOU, 1993; VINCKE, 1992; BRANS e MARESCHAL, 1989; VANDERPOOTEN, 1989). A abordagem não compensatória utilizada, busca a construção de uma relação (sem classificação) que admite a incomparabilidade entre as ações de decisão. Esta abordagem não se limita a um modelo matemático, mas fornece explorações e processos adicionais, os quais ajudam o decisor a concluir uma “boa” decisão.

A terceira tendência teórica denominada de desagregação-agregação (JACQUET-LAGRÈZE, 1984; JACQUET-LAGRÈZE e SISKOS, 1982; SISKOS, 1980; SISKOS e YANNACOPOULOS, 1985; SISKOS, SPYRIDAKOS e YANNACOPOULOS, 1993) tem o objetivo de analisar o comportamento e o estilo cognitivo do tomador de decisão. Esta abordagem utiliza procedimentos iterativos e interativos especiais para análise dos componentes do problema e da política de julgamento dos tomadores de decisão, posteriormente agregando-os em um sistema de valores. Esta abordagem tem como objetivo melhorar o conhecimento do tomador de decisões a respeito do estado do problema e de suas preferências no sentido de alcançar uma decisão consistente.

A última tendência teórica é a abordagem da otimização multi-objetivos (ZELENY, 1974, 1982; EVANS e STEUER, 1973; ZIONTS e WALLENIUS, 1976, 1983; SISKOS e DESPOTIS, 1989; KORHONEN, 1990; JASZKIEWICZ e SLOWINSKI, 1995; JACQUET-LAGRÈZE, MEZIANI, e SLOWINSKI, 1987; WIERZBICKI, 1992). Esta abordagem consiste na extensão da programação matemática, a qual busca resolver problemas caracterizados por múltiplos objetivos e pela não existência de alternativas distintas. A solução é estimada através de processos iterativos, os quais conduzem o decisor na obtenção dos níveis de satisfação sobre os critérios, e na construção de um modelo para a seleção de alternativas através de procedimentos de maximização da utilidade.

3.3.3 *Abordagens*

A adoção de uma abordagem para análise procedente faz-se necessária tendo em vista o universo complexo de dados e informações para subsidiar as comparações, o tempo disponível para efetuar os estudos e os recursos existentes para financiamento dos mesmos. Neste sentido, duas abordagens fundamentais são identificadas por Maystre e Bollinger (1999):

Abordagem descendente: procede do nível geral e global para o nível detalhado e específico.

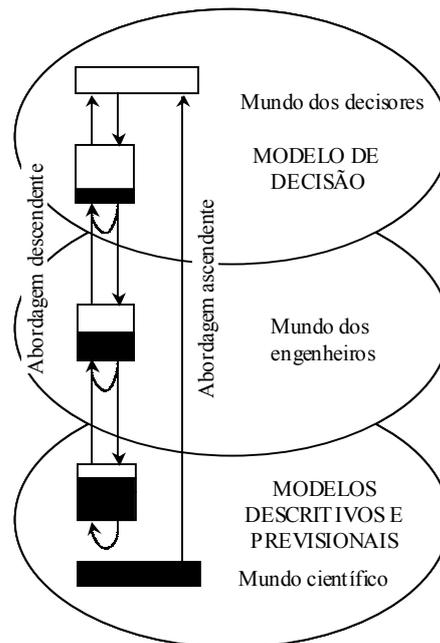
Abordagem ascendente: procede do nível detalhado e específico para o global e geral.

A abordagem descendente permite compreender um problema mais rapidamente dentro do contexto ou globalidade, examinando de maneira mais detalhada somente os elementos mais significativos. Ao nível da generalidade, recorre-se a características sintéticas para agregar um grande número de dados expressos em unidades diferentes, a exemplo dos índices³⁹. Desta maneira recorre-se principalmente ao domínio das avaliações em escala ordinal, consideradas menos objetivas e rigorosas pelo mundo científico, o qual normalmente mensura e estima as mesmas em escala cardinal.

A abordagem ascendente se apóia principalmente nos dados quantitativos (considerados mais sérios ou sólidos aos olhos de um especialista de um domínio de conhecimentos). Isto implica na necessidade de passar por todos os estados de agregação de parâmetros específicos e indicadores cada vez mais superiores a fim de conseguir um nível global de entendimento.

Segundo Maystre e Bollinger (1999) a abordagem descendente inicia entre o mundo dos decisores, utilizando-se dos modelos descritivos e previsionais dos especialistas, somente para os aspectos julgados como potencialmente significativos. A abordagem ascendente por sua vez, requer a análise dos especialistas para todos os aspectos, demandando desta maneira mais tempo e recursos.

³⁹ Maystre e Bollinger (1999) utilizam como exemplo o uso de um índice biótico para exprimir a qualidade das águas superficiais de um rio ao invés de utilizar indicadores ou parâmetros quantitativos tais como a concentração de oxigênio ou fósforo.



FONTE: Maystre e Bollinger (1999).

NOTA: Traduzido do original.

FIGURA 3.3 – OS TRÊS MUNDOS.

3.3.4 Atores

O termo atores é utilizado por Maystre e Bollinger (1999) para designar os participantes de um grupo de negociação. Nesta abordagem três categorias distintas de atores são identificadas:

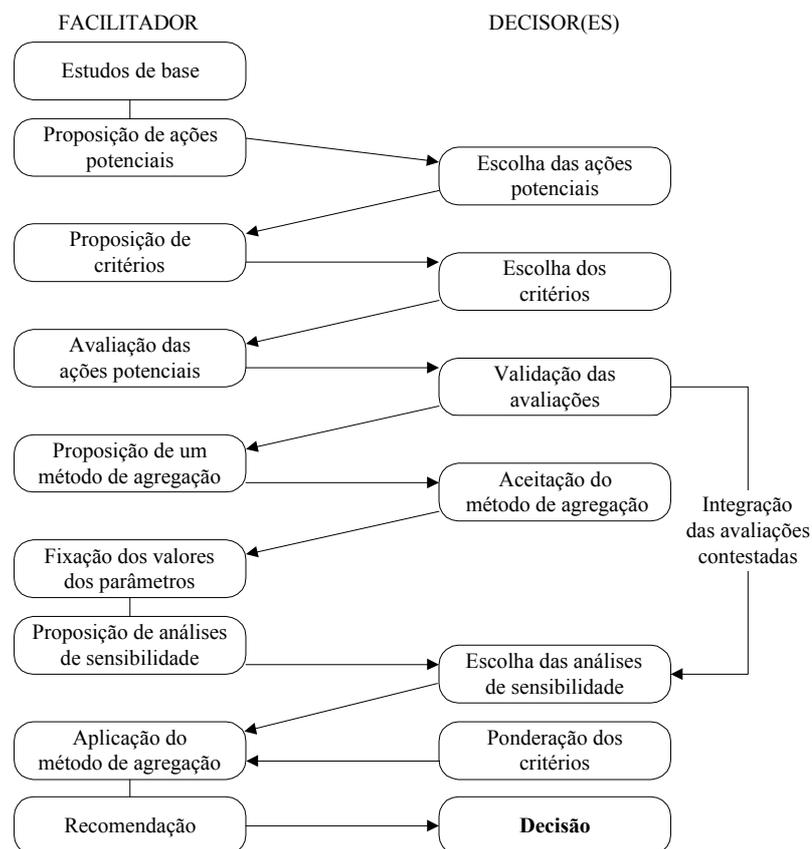
Membros do grupo de negociação: devem conhecer bem a questão que se faz objeto da negociação. É preferível que não sejam especialistas de um aspecto da questão proposta, ao contrário, é preferível que eles tenham uma visão mais abrangente permitindo-lhes compreender opiniões diferentes.

Especialistas: são encarregados pelo grupo de negociadores em coletar as informações necessárias para conduzir os estudos. Os especialistas devem ser capazes de avaliar a consistência dos dados brutos coletados e ao mesmo tempo explicitar e justificar as hipóteses utilizadas para o tratamento dos mesmos.

*Facilitador*⁴⁰: ajuda o grupo a formular e a estruturar a questão, bem como na definição e comparação de cenários e na estruturação de critérios. O facilitador ou homem de estudo deve guiar o procedimento de negociação e ao mesmo tempo ter uma neutralidade absoluta para relatar as preferências pesquisadas.

3.3.5 Processo

O apoio à decisão caracteriza-se por ser um processo desenvolvido por etapas. Quando este processo apresenta um grande número de decisores com posições divergentes este passa a ser um processo de negociação, exigindo um certo formalismo a fim de manter a estrutura do processo (MAYSTRE; PICTET e SIMOS, 1994). A figura 3.3 abaixo, apresenta as principais etapas do desenvolvimento de um processo de apoio à decisão:



FONTE: Maystre; Pictet e Simos (1994).

NOTA: adaptado e traduzido.

FIGURA 3.4 – ETAPAS DO PROCESSO DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO.

⁴⁰ Maystre e Bollinger (1999), da mesma forma que outros autores (MAYSTRE; PICTET e SIMOS, 1994; SIMOS, 1990) utilizam o termo homem de estudo ou analista (na língua francesa: *homme d'étude/analyste*) como sinônimo de facilitador.

Definição das ações potenciais

As ações podem ser definidas como os objetos sobre os quais serão procedidas as avaliações e comparações, tais elementos constituem as diversas opções de escolha no processo de decisão. As diferentes opções de gerenciamento de resíduos, áreas para disposição final, programas, políticas, são exemplos de ações a serem avaliadas.

A análise de todas as possibilidades de ação num processo de decisão muitas vezes não é possível tendo em vista o tempo e recursos financeiros envolvidos. Neste sentido Maystre; Pictet e Simos (1994) introduziram o termo ação potencial para aquelas ações previamente julgadas como possíveis por pelo menos um dos interventores ou presumidas como tal pelo homem de estudo tendo em vista apoiar a decisão. Alguns autores, a exemplo de Maystre e Bollinger (1999), utilizam o termo cenário como sinônimo para ações.

Construção de critérios

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 (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 seus valores. 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 em $R\$ \times m^{-2}$, $t \times km \times ano^{-1}$, número de habitantes atingidos, são exemplos da utilização de escalas cardinais em critérios.

Normalmente para a construção de critérios recorre-se a utilização de elementos estruturais denominados parâmetros e indicadores. Hierarquicamente os parâmetros, considerados por Maystre e Bollinger (1999) como sendo os dados mais diretos e simples (geralmente dados cardinais), estariam na base da estrutura de construção. Em nível

intermediário encontram-se os indicadores representando conjuntos de dados de natureza diferente agregados em uma característica mais sintética (geralmente informações ordinais) seguidos em um nível superior pelos critérios.

A experiência tem demonstrado (MAYSTRE e BOLLINGER, 1999) que 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 conhecimentos 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.

Avaliação das ações

Esta etapa corresponde ao julgamento de cada ação segundo os critérios estabelecidos Maystre; Pictet e Simos (1994). Normalmente esta etapa é formalizada através de uma matriz de avaliações ou tabela de performances, na qual as linhas correspondem as ações a avaliar e as colunas representam os respectivos critérios de avaliação previamente estabelecidos.

Um aspecto importante a ser considerado nesta etapa da análise multicritério, refere-se à performance de uma determinada ação com relação aos critérios de avaliação. De acordo com Maystre; Pictet e Simos (1994) a performance indica o sentido positivo, com o qual uma avaliação se eleva de acordo com o pesquisado.

A aceitação social e política de uma ação, os rendimentos de uma atividade ou a produção de energia proveniente de um processo, são exemplos de critérios cuja performance aumenta no mesmo sentido que o valor das ações. Ao contrário os resíduos produzidos por uma instalação ou os custos de investimento e exploração, representam critérios cuja performance diminui conforme aumenta o valor das ações avaliadas.

Determinação dos pesos dos critérios

Os pesos são representados quantitativamente através de números, cujo valor exprime a importância associada a cada critério. Atualmente a ponderação de critérios pode ser realizada por meio de diversas técnicas (hierarquização de critérios, notação, distribuição de pesos, taxa de substituição, regressão múltipla, jogos de cartas, etc.), para uma análise em maior profundidade recomenda-se os estudos de Simos (1990).

Procedimento de agregação

Uma vez a matriz de avaliação preenchida, o facilitador pode aplicar uma abordagem operacional de agregação dos critérios através de um método apropriado. Segundo Maystre; Pictet e Simos (1994) a agregação constitui uma operação que permite obter as informações sobre a preferência global entre as ações potenciais, a partir das informações sobre as preferências sobre os critérios. Simos (1990) descreve o procedimento de agregação como sendo a utilização de um algoritmo matemático, o qual permite o julgamento global do valor de cada ação.

Com relação a maneira de proceder a agregação dos critérios, dois métodos podem ser utilizados: 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.

Normalmente os métodos de agregação total são utilizados para agregação dos subcritérios (ou indicadores) na etapa intermediária de estruturação dos critérios. Os principais métodos de agregação são descritos a seguir.

Média Ponderada

A média ponderada constitui de longe uma das ciências mais divulgadas e seu emprego é perfeitamente justificado quando os dados tratados são de mesma natureza, especialmente medidas (MAYSTRE e BOLLINGER, 1999).

Basicamente, atribui-se pesos para cada critério e em seguida, realiza-se um somatório do produto do peso pela avaliação do critério respectivamente para cada ação. O somatório obtido é dividido pela soma dos pesos atribuídos (equação 4.1):

$$M = \frac{\sum(V_i \times p_i)}{\sum p_i} \quad (4.1)$$

onde,

P = Média ponderada, V_i = valor do critério ou característica i , p_i = peso do critério ou característica i .

Produto ponderado

A exemplo da média ponderada constitui uma regra de agregação total expressa pela equação (4.2) abaixo:

$$P = (\prod(V_i^{p_i}))^{\frac{1}{\sum p_i}} \quad (4.2)$$

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 média ponderada, enquanto a aplicação do produto ponderado sobre os mesmos dados acaba por reforçar os extremos, tais efeitos podem ser melhor visualizados no quadro 3.1.

QUADRO 3.1 – EXEMPLO DE AGREGAÇÃO ATRAVÉS DA MÉDIA E PRODUTO PONDERADO.

Ações	Critério 1	Critério 2	Critério 3	Média Ponderada	Produto Ponderado
	Peso: 20%	Peso: 20%	Peso: 60%		
A	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
B	0,05	0,95	0,5	0,50	0,36
C	0,01	0,8	0,8	0,64	0,33
D	1,00	0,00	1,00	0,80	0,00

A média ponderada apresenta ainda outra característica peculiar referente a sensibilidade a mudança de escala. Considerando duas ações A e B a serem avaliadas segundo dois critérios estabelecidos: Custos de implantação (R\$) e Geração de efluentes (m³/dia), obteriam-se os seguintes resultados através da aplicação da média ponderada (quadro 3.2):

QUADRO 3.2 – EXEMPLO DA APLICAÇÃO DA MÉDIA PONDERADA.

Ações	Custos de implantação (R\$)	Geração de efluentes (m ³ /dia)	Média Ponderada	Classificação
A	70.000	6	24.504	2º
B	60.000	13	21.008	1º
Peso	35%	65%		

Se os valores das ações referentes ao critério Geração de efluentes forem apresentados em litros por dia, a ação A passa ser preferível em relação a B, conforme demonstra o quadro 3.3 , abaixo:

QUADRO 3.3 – EXEMPLO DA SENSIBILIDADE DA MÉDIA PONDERADA À MUDANÇA DE ESCALA.

Ações	Custos de implantação (R\$)	Geração de efluentes (litros/dia)	Média Ponderada	Classificação
A	70.000	6.000	28.400	1º
B	60.000	13.000	29.450	2º
Peso	35%	65%		

Média ponderada modificada

Segundo Soares (1991), a média ponderada modificada associa as avaliações dos diferentes critérios a uma mesma escala entre zero e um (ou zero e cem), facilitando desta maneira a interpretação e agregação dos resultados e evitando os efeitos negativos da sensibilidade a mudança de escala aos quais estariam sujeitos se agregados através da média ponderada convencional.

QUADRO 3.4 – EXEMPLO DE MATRIZ DE AVALIAÇÃO.

	C ₁	C ₂	...	C _j
A ₁	E ₁ ¹	E ₁ ²	...	E ₁ ^j
A ₂	E ₂ ¹	E ₂ ²	...	E ₂ ^j
⋮	⋮	⋮	...	⋮
A _i	E _i ¹	E _i ²	...	E _i ^j
	P ₁	P ₂	...	P _j

Nota: C = Critério, P = peso do critério, A = ação, E = avaliação.

A partir do estabelecimento da matriz de avaliação (quadro 3.4), o método consiste em identificar para cada critério a ação de referência correspondente. A ação de referência corresponde a pior avaliação sobre um determinado critério, por exemplo, o maior valor de uma ação para um critério com performance negativa. Em seguida, calcula-se o desvio fracionário entre a avaliação de cada ação e a avaliação de referência (E_{ref}) através da equação (4.3):

$$Desvio(A_i, C_j) = \frac{E_i^j}{E_{ref}} \quad (4.3)$$

A avaliação global de cada ação é obtida pela soma ponderada dos desvios resultantes sobre todos os critérios. Desta maneira, busca-se comparativamente o menor valor da média ponderada dos desvios entre as ações (equação 4.4.), o qual indica a melhor opção.

$$Min \left[\left(\sum_{j=1}^m Desvio(A_i, C_j) \times P_j \right)_i \right] \quad (4.4)$$

Métodos ELECTRE

Os métodos da família ELECTRE⁴¹ representam os trabalhos conduzidos por diversos pesquisadores, ao longo de 25 anos de estudos. Estes métodos atendem a diversas problemáticas envolvidas no processo de apoio à decisão, relacionadas no quadro 3.5 a seguir.

QUADRO 3.5 – MÉTODOS ELECTRE E PROBLEMÁTICAS DE DECISÃO.

Problemática	Objetivo	Procedimento	Método
α	Apoio na escolha da(s) melhor(es) ações.	Seleção	ELECTRE I e IS
β	Apoio na triagem das ações segundo normas pré-estabelecidas.	Segmentação	ELECTRE TRI
γ	Apoio no ordenamento das ações segundo uma ordem de preferência decrescente.	Classificação	ELECTRE II, III e IV

FONTE: Maystre, Pictet e Simos (1994).

⁴¹ Na língua francesa: **EL**imination **Et** **Ch**oix Traduisant la **R**ealité (Tradução da realidade por eliminação e escolha).

Segundo Maystre; Pictet e Simos (1994), as principais aplicações concretas dos métodos ELECTRE são relacionadas aos problemas encontrados nas seguintes áreas: implantação (localização de usinas e universidades, traçado rodoviário, implantação de estações ferroviárias); desenvolvimento nacional ou regional (planejamento agrícola, gerenciamento hidráulico); publicidade (planejamento de mídia); pesquisa e desenvolvimento (projetos, desenvolvimento industrial); admissão (empresas, instituições de ensino) e fabricação (produto, organização).

3.4 CONCLUSÕES

O presente capítulo relacionou os principais fundamentos dos sistemas de apoio à decisão e da análise multicritério. Tais fundamentos contribuíram para a motivação necessária para o desenvolvimento das próximas etapas da pesquisa, uma vez que estes se adaptam particularmente bem ao contexto da problemática pesquisada.

No tocante a análise multicritério dois pontos merecem destaque para a seqüência deste trabalho. O primeiro ponto, refere-se a adequação em se utilizar uma abordagem descendente para a questão (recorrendo-se a dados qualitativos e quantitativos). Esta característica pode ser justificada em virtude do caráter multidisciplinar do processo de escolha de áreas, bem como, tendo em vista os recursos financeiros e de tempo disponíveis para esta fase de estudos.

O segundo ponto, refere-se aos resultados obtidos através de um processo de análise multicritério. Neste contexto, os diversos elementos utilizados no processo: a qualidade dos dados, a escolha e estruturação dos critérios, os valores de ponderação atribuídos aos critérios e ainda o método de agregação utilizado, influenciam de maneira significativa os resultados obtidos e como conseqüência o apoio à decisão obtido.

O princípio de desenvolvimento dos sistemas especialistas, por sua vez, apresenta grande aplicabilidade para a formalização e estruturação dos diversos conhecimentos envolvidos na escolha de áreas para aterros sanitários, bem como da incorporação de conhecimentos referentes a própria análise multicritério, principalmente quando analisado o perfil dos usuários potenciais existentes nos pequenos municípios. Deve-se ressaltar ainda,

que os sistemas desenvolvidos dentro desta abordagem, devem ser encarados como sistemas de apoio ou de preparação para à decisão e não como sistemas decisores.

Neste nível do estudo, dispõe-se de informações relacionadas à escolha de áreas para disposição final, bem como fundamentos para a modelagem de conhecimentos e apoio à decisão. O próximo capítulo terá como objetivo descrever a metodologia utilizada para o desenvolvimento do sistema proposto.

4 METODOLOGIA

O desenvolvimento do sistema proposto compreendeu um certo número de atores e etapas de trabalho. Entre os atores distinguem-se: as fontes de conhecimentos ou especialistas (responsáveis pela transferência e a validação dos conhecimentos do problema), o agente cognitivo (responsável pela extração, formalização e validação dos conhecimentos no sistema) e o técnico em informática (encarregado pela codificação e encadeamento dos conhecimentos).

As etapas envolvidas no desenvolvimento do sistema (aquisição de conhecimentos, estruturação dos conhecimentos, codificação e avaliação) são descritas a seguir:

4.1 AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTOS

Esta etapa realizada pelo agente cognitivo (autor deste trabalho), constituiu a maior parte do trabalho de realização do sistema proposto, com o objetivo de fornecer subsídios para representação dos conhecimentos através de modelos de resolução de problemas qualitativos (KRIVINE e DAVID, 1992). Grande parte da aquisição de conhecimentos foi baseada na análise de documentos levantados através de pesquisa bibliográfica e na reconstrução pessoal (interação realizador - especialista).

A aquisição dos conhecimentos necessários para o desenvolvimento foi conduzida segundo três temas principais, a saber:

- Tema I - Aterros Sanitários (Capítulo 2)
- Tema II - Escolha de áreas para aterros sanitários (Capítulo 2)
- Tema III - Sistemas de Apoio à Decisão (Capítulo 3)⁴²

4.2 ESTRUTURAÇÃO DOS CONHECIMENTOS

A estruturação dos conhecimentos ou modelagem foi realizada por refinamentos sucessivos em duas fases principais : a) construir um modelo⁴³ conceitual e b) instanciar⁴⁴ o modelo. A construção do modelo consistiu na identificação de três categorias de conhecimentos : a descrição do conhecimento estático do tema (parâmetros fornecidos); o papel destes parâmetros na resolução do problema (raciocínio⁴⁵) ; as etapas do raciocínio e a maneira de atingir os objetivos.

“Instanciar” o modelo conceitual, por sua vez, consistiu em “preenchê-lo”, ou incluir nele os conhecimentos necessários para atingir os objetivos da etapa de raciocínio. Assim, a modelagem de um conhecimento foi realizada progressivamente, pela decomposição de “objetivos a atingir”.

Uma vez o modelo conceitual estabelecido, buscou-se instanciá-lo. A aquisição de conhecimentos foi então guiada pelo modelo, o qual permitiu identificar os endereços onde o conhecimento apresentou deficiências. Especificamente para o sistema proposto, os conhecimentos isolados foram encadeados sob a forma de fluxograma, servindo como base de verificação da lógica do processo. Os resultados da estruturação dos conhecimentos são apresentados no capítulo 5.

⁴² Neste trabalho, além do domínio de conhecimentos referentes à resolução da problemática pesquisada, fez-se necessária a aquisição de conhecimentos referentes a própria gênese dos sistemas de apoio à decisão.

⁴³ Um modelo é a representação de um objeto, sistema ou idéia em alguma forma diferente da entidade real (QURESHI; HARRISON e WEGNER, 1999).

⁴⁴ Instanciar não é uma palavra da língua portuguesa, pois ela vem do inglês (to instantiate) que significa criar um representante de um modelo. Este vocábulo tende a ser cada vez mais utilizado em informática.

⁴⁵ Raciocinar é saber o que obter a partir do que já é conhecido. Um programa “raciocina” quando ele deve encontrar ou verificar novas informações não explicitamente representadas.

4.3 CODIFICAÇÃO

A terceira etapa metodológica consistiu na codificação dos conhecimentos adquiridos e modelados. Esta etapa realizada pelo técnico em informática juntamente com o agente cognitivo, consistiu na tradução e na estruturação dos modelos em uma linguagem apropriada ao ambiente informático adotado.

4.3.1 Tecnologia adotada

O desenvolvimento do sistema foi baseado em duas ferramentas principais. Para o desenvolvimento do software propriamente dito, optou-se pela programação em Visual Basic em virtude de sua funcionalidade e tradição no mercado. O desenvolvimento em Visual Basic permite ampla integração com banco de dados (Acess, SQL Server, entre outros), servidores internet (ISS) e com o sistema operacional Windows amplamente divulgado atualmente. O fator mais positivo dessa ferramenta a ser destacado é a sua característica de desenvolvimento componentizado (ActiveX), possibilitando a construção de uma estrutura aberta para reutilizações futuras em novos ambientes (WEB por exemplo) e para o possível crescimento do sistema.

Para o armazenamento de dados, optou-se pela estrutura segura e leve propiciada pelo Microsoft Access. O banco de dados em Access suporta bem o número de operação e usuários proposto pelo sistema. Outra característica positiva desta ferramenta, é o suporte a SQL e multi-usuários.

4.3.2 Etapas

A codificação dos conhecimentos compreendeu diversas etapas, caracterizadas pela constante interação entre o técnico em informática e o agente cognitivo a fim de atingir os objetivos propostos. As principais etapas são descritas a seguir:

Entendimento do problema: compreendeu na análise e entendimento do modelo com base na documentação produzida na etapa de estruturação de conhecimentos (fluxogramas).

Geração do modelo de prototipação: esta etapa de desenvolvimento consistiu na definição, modelagem e validação das interfaces e funcionalidades do sistema, em função do tipo de usuário, quantidade e tipo de dados e praticidade de uso.

Geração da Modelagem de dados e validação: consistiu na identificação, classificação e estruturação do conjunto de dados utilizados pelo sistema.

Implantação do Banco de Dados e validação: consistiu na definição e implantação da estrutura de armazenamento dos dados anteriormente modelados.

Implantação do código e consistência no banco de dados: consistiu na integração do protótipo inicial das telas de navegação com a estrutura de armazenamento de dados e regras de negócio (tradução dos fluxogramas em regras lógicas), verificando a persistência dos dados obtidos e armazenados pelo sistema.

Implantação do sistema: geração dos arquivos executáveis do sistema permitindo sua instalação e futura distribuição.

4.4 AVALIAÇÃO

Avaliar um sistema é uma ação que pode ser realizada sobre vários dos seus componentes: os resultados, o raciocínio, a base de conhecimentos, a interface usuário-máquina, etc.. Por esta razão, a avaliação de sistemas de apoio à decisões é objeto ainda de várias proposições metodológicas.

A avaliação do sistema, no contexto desta pesquisa, consistiu em uma avaliação técnica⁴⁶ realizada em duas etapas: a primeira realizada ainda na fase de estruturação dos conhecimentos (modelagem conceitual), consistiu em *analisar a sensibilidade* e verificar a coerência das avaliações emitidas pelo modelo. A segunda etapa, realizada durante e após a codificação do modelo, consistiu em *verificar tecnicamente* a correspondência entre o protótipo informatizado e o modelo conceitual estruturado.

As etapas referentes a análise de sensibilidade e verificação técnica são descritas na seqüência:

⁴⁶ A avaliação técnica corresponde a primeira etapa do protocolo preconizado por Adelman e Donnell (1986), consistindo em verificar ao longo do desenvolvimento se o sistema obedece às especificações do caderno de encargos (codificação e resultados).

4.4.1 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade foi conduzida sobre a etapa do modelo referente à avaliação das áreas potenciais, limitando-se⁴⁷ em verificar a coerência das avaliações e corrigir as deficiências encontradas ainda na fase de estruturação do modelo. A análise foi realizada em duas etapas: na primeira etapa, referente à avaliação da adequação de uma área, o valor dos parâmetros foi variado observando-se: o resultado final (valor agregado de 1,00 a 5,00) e sua classificação nas referências⁴⁸ de avaliação do sistema e por último os parâmetros correspondentes às referências alta ($C > 4,00$) e baixa ($C \leq 2,00$) da estrutura proposta, tendo em vista que estas representam as condições de limite ou contorno das avaliações. A segunda etapa, referente às avaliações comparativas entre áreas, consistiu na aplicação de uma série de exemplos hipotéticos sobre o modelo verificando a coerência dos resultados obtidos e do método de agregação utilizado. Os resultados finais da análise de sensibilidade são apresentados no capítulo 6.

4.4.2 Verificação técnica

A verificação técnica do protótipo informatizado, teve como objetivo verificar se os conteúdos programados correspondem ao modelo estruturado. Esta etapa da avaliação técnica do protótipo foi realizada juntamente com o técnico em informática, através do procedimento representado na figura 4.1 e no quadro 4.1, a seguir:

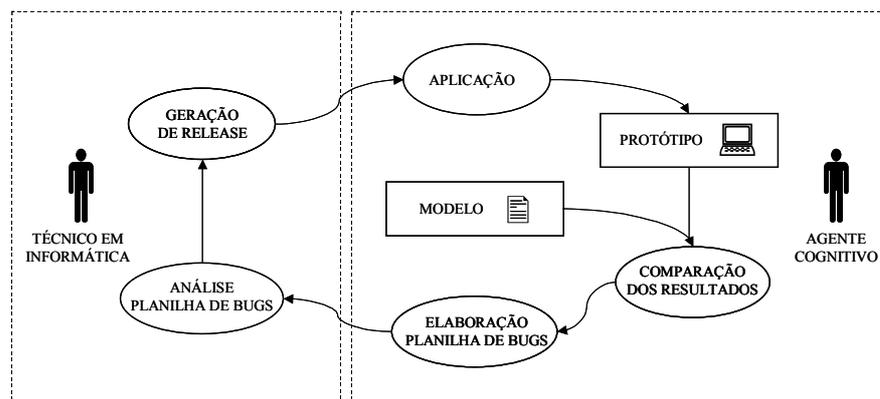


FIGURA 4.1 – PROCESSO DE VERIFICAÇÃO TÉCNICA DO PROTÓTIPO INFORMATIZADO.

⁴⁷ A análise de sensibilidade pode ser conduzida sob o contexto de verificar o domínio de variação de certos parâmetros que influenciará o resultado final da análise multicritério.

⁴⁸ Procedimento descrito na seção 5.2.3.5 *Procedimentos de avaliação*.

QUADRO 4.1 – EXEMPLO DA PLANILHA DE BUGS UTILIZADA NO PROCESSO DE VERIFICAÇÃO TÉCNICA.

Módulo	Descrição	Tipo	Situação	Autor	Corretor								
Informações Complementares	Resultado da pontuação do PCEC4.1 não esta conferindo com $PCEC4.1 = 1 + (D1 + D2 - 0,5) \times 0,1355$.		Corrigido	Giancarlo	Luciano								
Avaliação segundo critérios econômicos	Cec1, não tem pontuação nem avaliação.		Corrigido	Giancarlo	Luciano								
Apoio à implantação/ Projeção de resíduos	O valor máximo da da taxa de desvio deve ser o valor informado como meta (ex: 15% em 2006) e não 100%.		Corrigido	Giancarlo	Luciano								
Caracterização do Município/PPC	O frame: "A ppc foi obtida através de pesagens?" só deve ficar ativo após o usuário preencher o campo referente a ppc no frame anterior.		Pendente	Giancarlo	Luciano								
<p>Legenda:</p> <table> <tr> <td>Crítico</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Muito importante</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Importante</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sem importância</td> <td></td> </tr> </table>						Crítico		Muito importante		Importante		Sem importância	
Crítico													
Muito importante													
Importante													
Sem importância													

5 ESTRUTURAÇÃO DO MODELO

Neste capítulo são apresentadas a estruturação e formalização dos conhecimentos para o desenvolvimento de um sistema de apoio a decisões em escolha de áreas para aterros sanitários. Neste sentido, são descritas as duas principais etapas da gênese do sistema: a construção do modelo conceitual e a posterior instanciação deste a partir da definição dos parâmetros estáticos e representação dinâmica dos conhecimentos através de fluxogramas.

5.1 MODELO CONCEITUAL ESTABELECIDO

A solução proposta parte da possibilidade de incorporar o mesmo modelo de conhecimento utilizado pelos especialistas em um programa computacional, permitindo que os usuários “não especialistas” sejam encaminhados na resolução dos problemas através da aplicação correta do mesmo modelo (LUDVIGSEN, 1987). Com base nos conhecimentos adquiridos e nas necessidades dos usuários, foi estabelecida uma solução em termos de modelo conceitual para o sistema, apresentado na figura 5.1 abaixo:

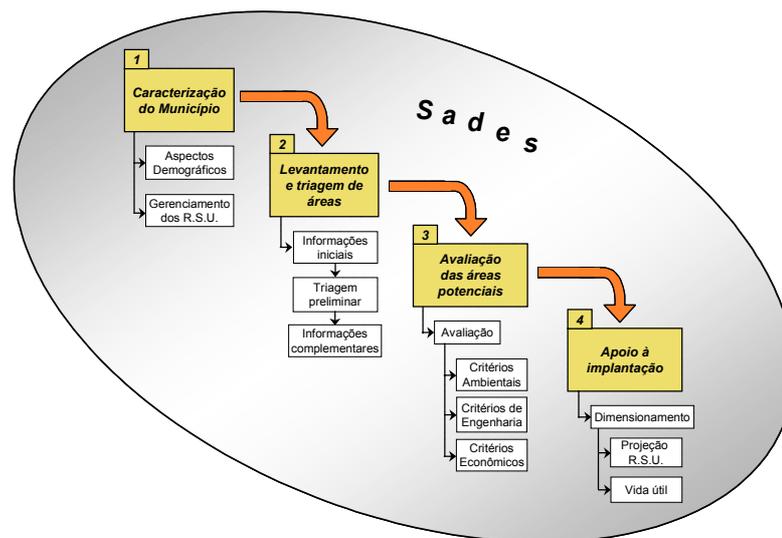


FIGURA 5.1 –MODELO CONCEITUAL ESTABELECIDO.

Etapa 1: Caracterização do município

Compreende a etapa inicial de cadastro dos dados referentes aos aspectos demográficos e gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (serviço de coleta, aspectos quantitativos, disposição final) no município. O conhecimento destes dados na etapa inicial do processo permite uma avaliação mais realista das necessidades do município além de servir de base para qualquer ação referente ao gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

A etapa de caracterização do município oferece ao usuário a possibilidade de cálculo ou estimativa de parâmetros (referentes aos aspectos demográficos e gerenciamento dos resíduos) através de um processo interativo com rotinas automatizadas. Desta maneira, além de informar diretamente o valor do parâmetro requerido, o usuário tem a opção de cálculo do mesmo a partir das informações medidas em campo ou ainda a opção de estimar alguns valores com base em referências nacionais para pequenos municípios.

Etapa 2: Levantamento e triagem de áreas

Uma vez levantadas às informações básicas a respeito do município inicia-se a etapa de seleção de áreas propriamente dita. Esta etapa do sistema compreende duas fases ou funções principais ao usuário: a avaliação preliminar das áreas pretendidas (com base em informações iniciais e critérios de triagem) e o cadastro das informações complementares para as áreas classificadas como potenciais. A exemplo da etapa anterior, o sistema fornece elementos de apoio para definição de parâmetros desconhecidos pelo usuário.

Etapa 3: Avaliação das áreas potenciais

Esta etapa possibilita a avaliação das áreas potenciais através do cruzamento das informações das áreas cadastradas na base de dados com os conhecimentos formalizados no modelo. Nesta etapa são disponibilizadas duas funções ao usuário: avaliar a performance de uma área isolada (adequação) ou proceder a uma avaliação comparativa (classificação) entre áreas. Tal procedimento é baseado em uma metodologia de estruturação multicritério desenvolvida com exclusividade para o modelo proposto, permitindo ao usuário a análise das alternativas locais segundo três grupos de critérios: ambientais (capacidade natural das

áreas em atenuar os possíveis impactos ambientais negativos); de engenharia (complexidade técnica envolvida e tempo incidentes sobre as diversas fases do aterro sanitário) e econômicos (principais custos variáveis com a escolha locacional, relacionados às fases de implantação e operação do aterro sanitário). Para a avaliação final o usuário deve informar sua preferência ou importância relativa intracritérios através de um sistema de ponderações.

Etapa 4: Apoio à implantação

A última etapa do sistema fornece elementos de apoio para o dimensionamento do aterro com base no cruzamento das informações referentes ao município, gerenciamento dos resíduos e características físicas das áreas escolhidas. O sistema informa automaticamente a vida útil dos locais selecionados (utilizada também como parâmetro de avaliação na etapa anterior) ou a projeção de resíduos para um período de tempo desejado.

5.2 INSTANCIÇÃO DO MODELO

A partir do estabelecimento de uma solução para o modelo conceitual, partiu-se para a etapa de instanciação. Desta maneira foram definidos os conhecimentos e os métodos necessários para atingir os objetivos propostos no modelo conceitual.

Esta etapa de estruturação dos conhecimentos foi caracterizada por diversos refinamentos do modelo, em virtude da aquisição e criação de novos conhecimentos e da correção das deficiências encontradas no mesmo.

A seguir são apresentados o detalhamento e hierarquização final dos parâmetros estáticos do sistema e a representação dinâmica dos conhecimentos formalizados na forma de fluxogramas de acordo com as funções previstas no modelo conceitual.

5.2.1 Etapa 1: Caracterização do Município

Os parâmetros estáticos finais definidos para a etapa de caracterização do município podem ser visualizados na figura 5.2, abaixo:

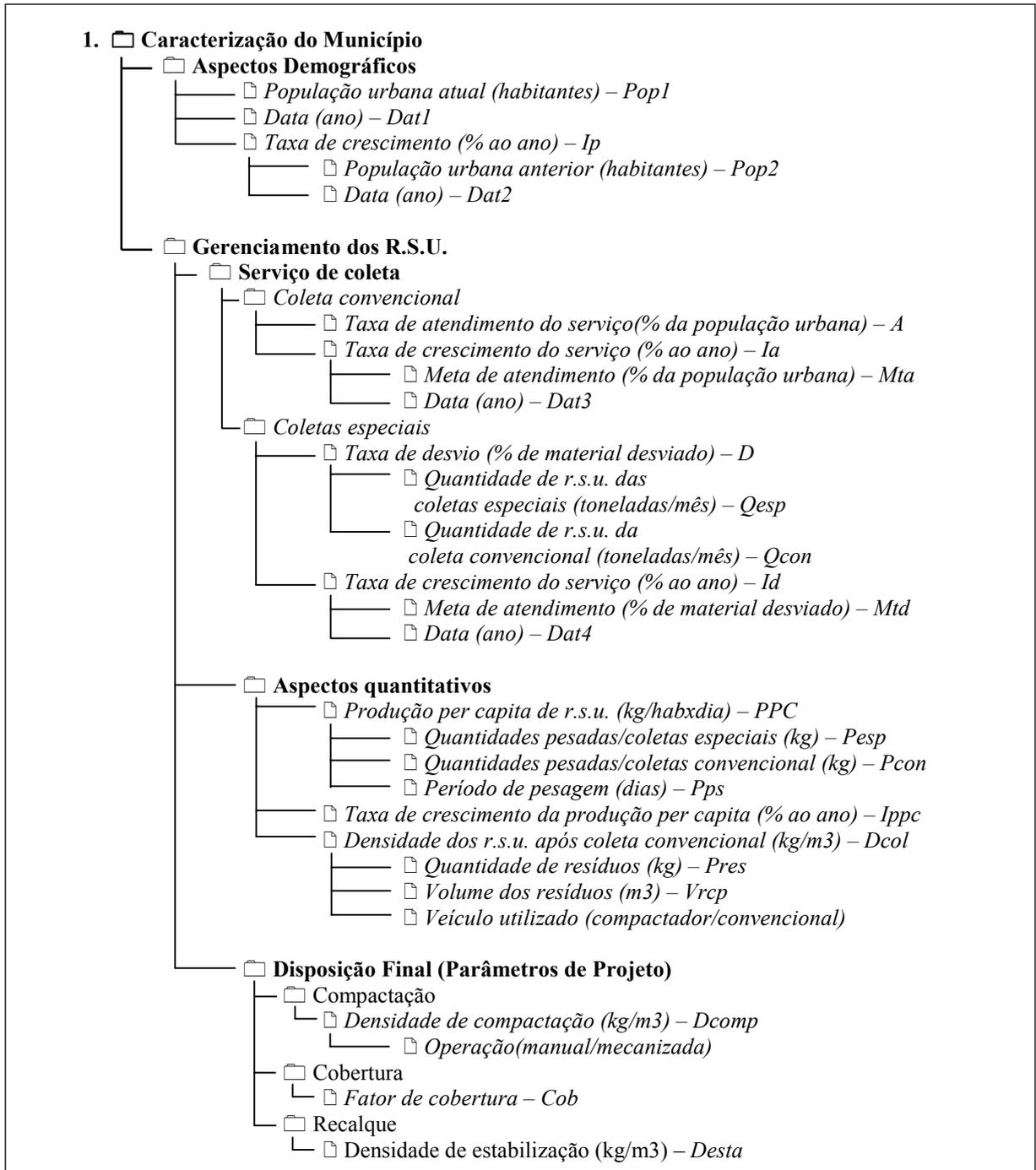


FIGURA 5.2 – PARÂMETROS DA ETAPA DE CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO.

Aspectos demográficos

Os parâmetros considerados para caracterização dos aspectos demográficos foram a população urbana atual do município e a taxa de crescimento populacional. Uma das maneiras de estimar o valor da taxa de crescimento populacional consiste em aplicar um modelo previsional sobre os dados das populações anteriores. O sistema permite a estimativa deste parâmetro através da equação (5.1) baseada no crescimento exponencial da população:

$$Ip = 1 - \left(\frac{Pop1}{Pop2} \right)^{\left(\frac{1}{Dat1 - Dat2} \right)} \quad (5.1)$$

Onde,

Ip = taxa de crescimento populacional (decimal), $Pop1$ = população atual (habitantes), $Pop2$ = população anterior (habitantes), $Dat1$ = data da população atual (ano), $Dat2$ = data da população anterior (ano).

Gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos

Serviço de coleta / Coleta convencional

Taxa de atendimento do serviço: o sistema considera a situação máxima de contorno correspondente a 100% da população atendida, para os casos que a taxa de atendimento da coleta convencional não for conhecida.

Taxa de crescimento do serviço: pode ser calculada através da informação das metas pretendidas quanto à expansão do serviço, para tanto o sistema utiliza o seguinte modelo exponencial de previsão:

$$Ia = 1 - \left(\frac{Mta}{A} \right)^{\left(\frac{1}{Dat3 - Dat1} \right)} \quad (5.2)$$

Onde,

Ia = taxa de crescimento do serviço de coleta convencional (decimal) , Mta = Meta de atendimento do serviço (% população atendida), A = taxa de atendimento da coleta convencional (% população atendida), $Dat3$ = data a ser alcançada a meta (ano).

Serviço de coleta / Coletas especiais

Taxa de desvio: durante a utilização do sistema a taxa de desvio pode ser calculada através da seguinte fórmula:

$$D = \frac{Q_{esp}}{(Q_{con} + Q_{esp})} \quad (5.3)$$

Onde,

D = taxa de desvio das coletas especiais (%), Q_{esp} = quantidade de resíduos provenientes das coletas especiais (ton/mês), Q_{con} = quantidade de resíduos provenientes da coleta convencional (ton/mês).

Taxa de crescimento do serviço: o sistema permite a estimativa do crescimento do serviço de coletas especiais através da equação (4) abaixo:

$$Id = 1 - \left(\frac{Mtd}{D} \right)^{\left(\frac{1}{Dat4 - Dat1} \right)} \quad (5.4)$$

Onde,

Id = taxa de crescimento do serviço de coletas especiais (decimal), Mtd = Meta de atendimento do serviço (% população atendida), D = taxa de desvio das coletas especiais (%), $Dat4$ = data a ser alcançada a meta (ano).

Aspectos quantitativos

Produção per capita de resíduos sólidos urbanos: durante a utilização do sistema a produção per capita de resíduos pode ser calculada através de medições em campo ou estimada através de referências nacionais para pequenos municípios. A expressão utilizada para o cálculo da produção per capita de resíduos é apresentada abaixo:

$$PPC = \frac{\left(\frac{P_{con}}{A} \right) + P_{esp}}{Pop1 \times Pps} \quad (5.5)$$

Onde,

PPC = Produção *per capita* de resíduos sólidos urbanos (kg/hab×dia) , $Pcon$ = Pesagem da coleta convencional (kg), $Pesp$ = Pesagem das coletas especiais (kg), Pps = período da pesagem (dias).

Para estimativa da produção *per capita* o sistema utiliza o valor de 0,4 kg/hab×dia, tendo em vista referência sugerida pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, para populações de até 100 mil habitantes (SÃO PAULO, 1998).

Taxa de crescimento da produção per capita: o sistema oferece ao usuário a possibilidade da utilização de um valor médio para a taxa de crescimento (2,5% ao ano) baseado nas referências indicadas por Pineda (1998) para países da América Latina.

Densidade dos r.s.u. após coleta convencional: para o sistema proposto a densidade pode ser calculada a partir de informações medidas em campo através da fórmula 5.6 abaixo:

$$Dcol = \frac{Pres}{Vrcp} \quad (5.6)$$

Onde,

$Dcol$ = Densidade dos resíduos sólidos urbanos após coleta (kg/m³) , $Pres$ = Pesagem dos resíduos (kg), $Vrcp$ = Volume do recipiente (m³).

O sistema oferece a opção de estimativa da densidade dos r.s.u. após a coleta convencional com base no tipo de caminhão utilizado. Para os resíduos coletados em caminhões sem compactação considerou-se o valor médio de 250 kg/m³, normalmente utilizado como referência para a densidade dos resíduos sem compactação (JARAMILLO, 1997). Para os resíduos coletados através de caminhões compactadores adotou-se o valor de 300 kg/m³, com base nas referências de densidade consideradas por Jaramillo (1997).

Disposição Final (Parâmetros de projeto)

Densidade de compactação: corresponde ao valor da densidade pretendida na operação de compactação dos resíduos. O valor da densidade de compactação pode ser estimado com base no tipo de operação pretendida para o aterro, desta forma o sistema utiliza como referência o valor de compactação de 450 kg/m^3 para aterros operados manualmente (JARAMILLO, 1997) e 800 kg/m^3 para aterros (média densidade) operados com o auxílio de equipamentos mecanizados (PINEDA, 1998).

Fator de cobertura: corresponde ao volume de material inerte adicionado aos resíduos compactados ao final de uma jornada de trabalho para fechamento das células. Os valores percentuais de material de cobertura variam na faixa de 20 a 25% do volume de resíduos (JARAMILLO, 1997). O sistema pré-estabelece um fator de cobertura de 0,2 (20%) possibilitando a alteração do mesmo caso seja solicitado pelo usuário.

Densidade de estabilização: ao longo do tempo as células do aterro sanitário apresentam uma diminuição do volume inicial aterrado em função do processo de estabilização dos resíduos. O recalque produzido em virtude deste fenômeno representa em termos de engenharia um ganho de volume. O recalque das células de um aterro sanitário depende de vários fatores entre os quais destaca-se a densidade de compactação dos resíduos. Basicamente, quanto menor for a densidade de compactação inicial dos resíduos maior será o recalque ao qual a célula estará sujeita. Desta maneira a fim de considerar uma estimativa da influência do recalque na previsão futura da vida útil dos locais foi estabelecido um valor de densidade de estabilização para os aterros com valores de densidade de compactação baixos (aterros operados manualmente). O sistema considera uma densidade final de 600 kg/m^3 para as situações em que a densidade de compactação não atinja este valor de referência. O valor adotado é utilizado por Jaramillo (1997) como referência a densidade dos resíduos estabilizados. Para os demais casos em que a densidade de compactação for superior ao valor de referência, utiliza-se o próprio valor da compactação como valor da densidade final de estabilização, admitindo-se como baixos os ganhos de volume em função do recalque.

As figuras 5.3 a 5.8, na seqüência, apresentam o encadeamento dinâmico dos parâmetros referentes à etapa de caracterização do município na forma de fluxogramas:

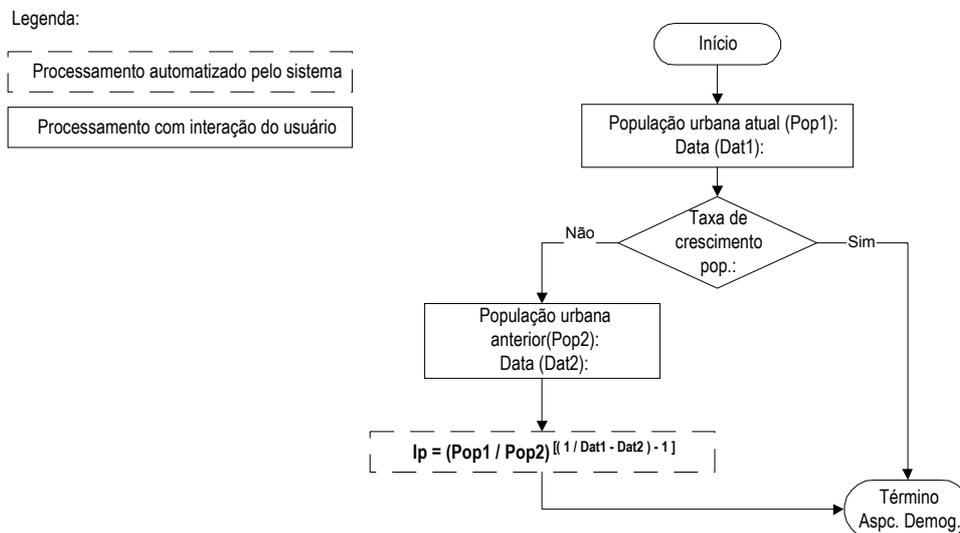


FIGURA 5.3 – CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS DEMOGRÁFICOS.

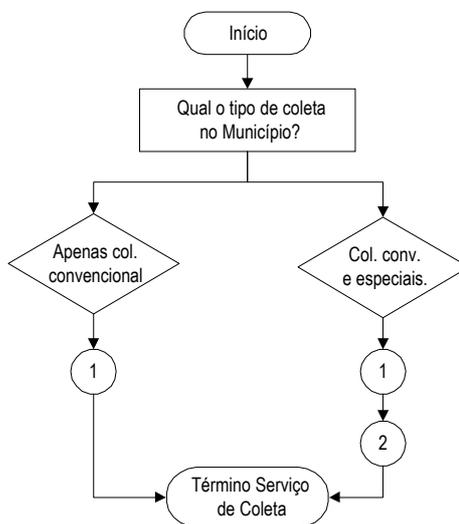


FIGURA 5.4 – CARACTERIZAÇÃO DO SERVIÇO DE COLETA (PARTE I DE II).

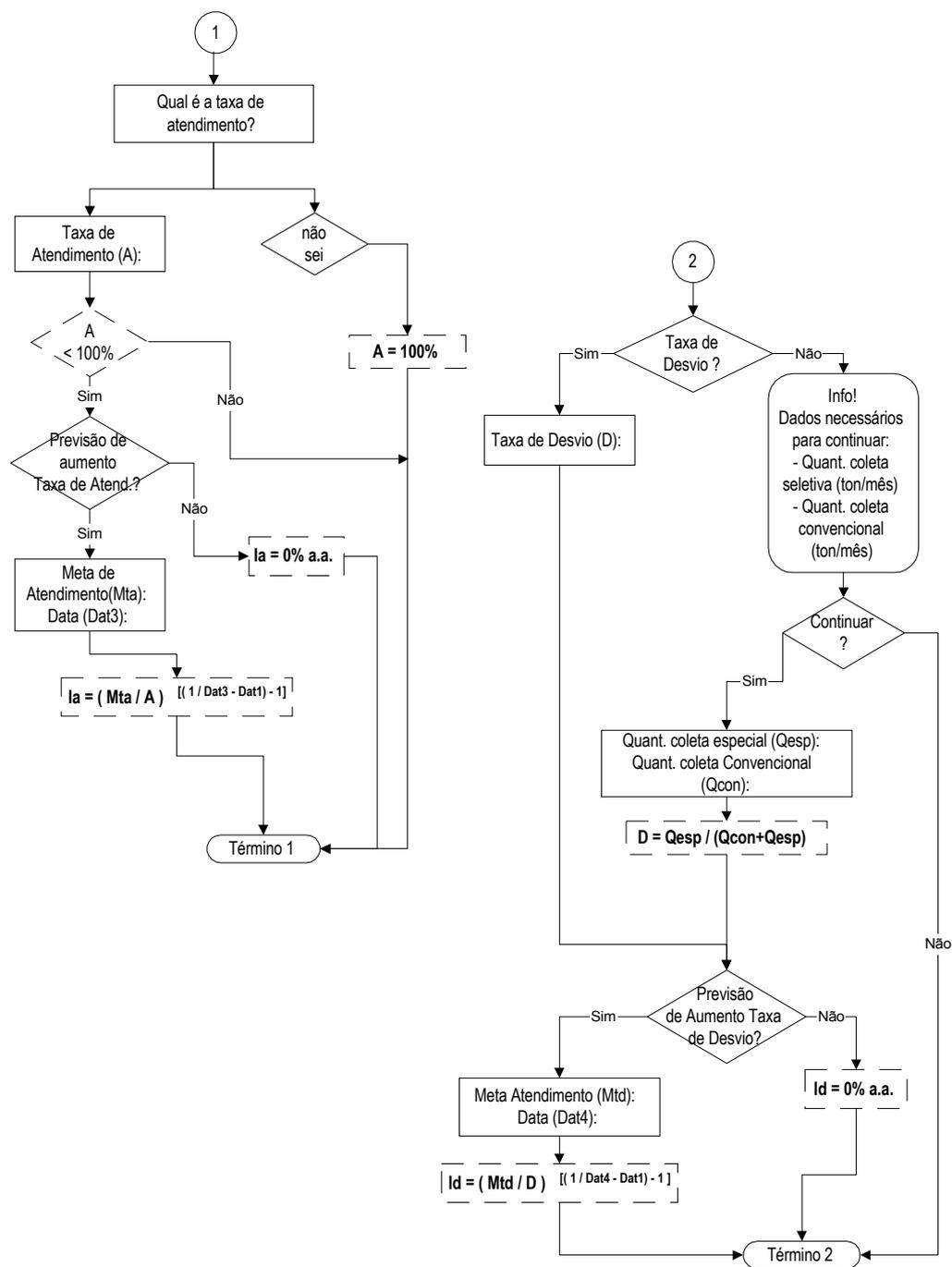


FIGURA 5.5 – CARACTERIZAÇÃO DO SERVIÇO DE COLETA (PARTE II DE II).

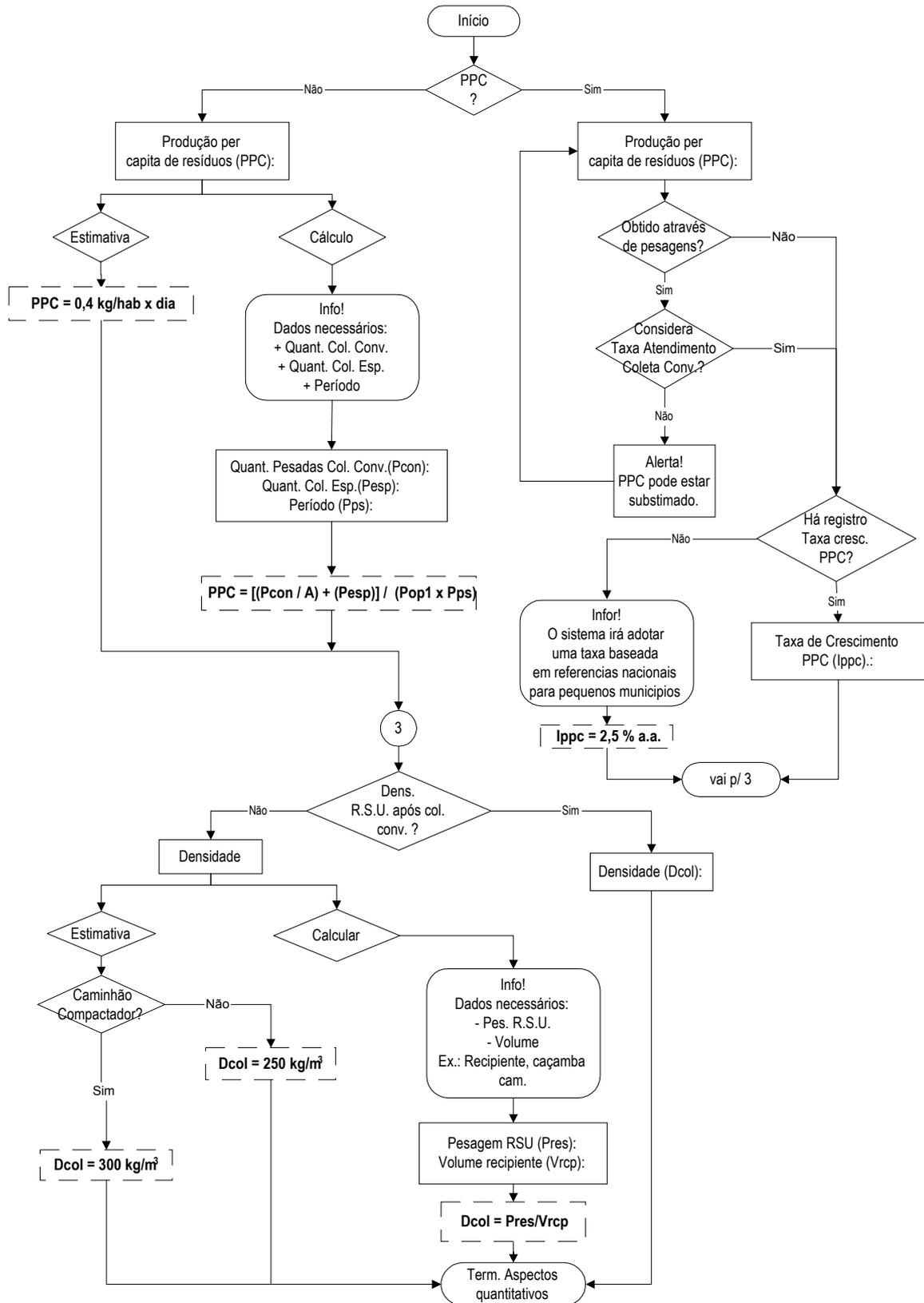


FIGURA 5.6 – CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO PER CAPITA DE RESÍDUOS E DENSIDADE.

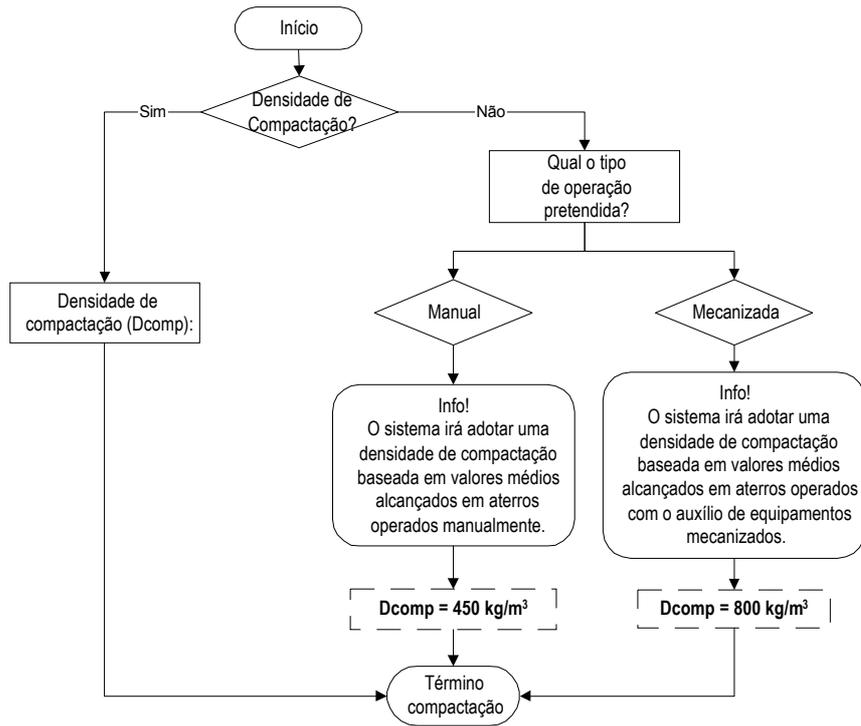


FIGURA 5.7 – CARACTERIZAÇÃO DA DENSIDADE DE COMPACTAÇÃO.

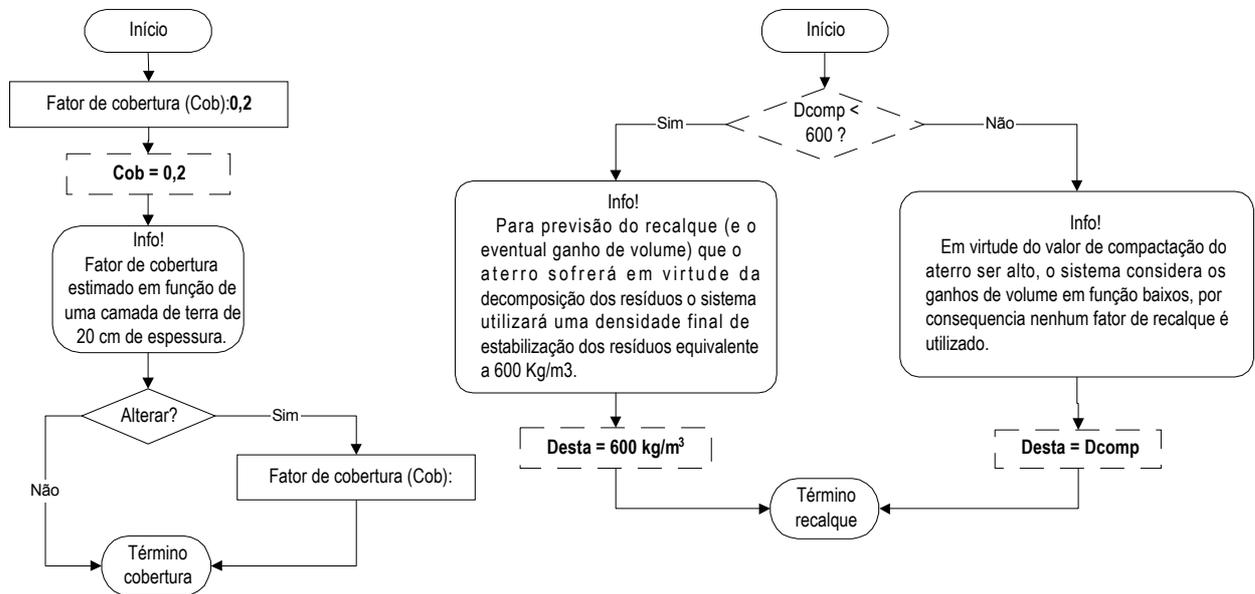


FIGURA 5.8 – CARACTERIZAÇÃO DO FATOR DE COBERTURA E DENSIDADE DE ESTABILIZAÇÃO.

5.2.2 Etapa 2: Levantamento e triagem de áreas

5.2.2.1 Informações Iniciais

A figura 5.9 apresenta a estruturação das informações iniciais definidas para etapa de levantamento e triagem de áreas:

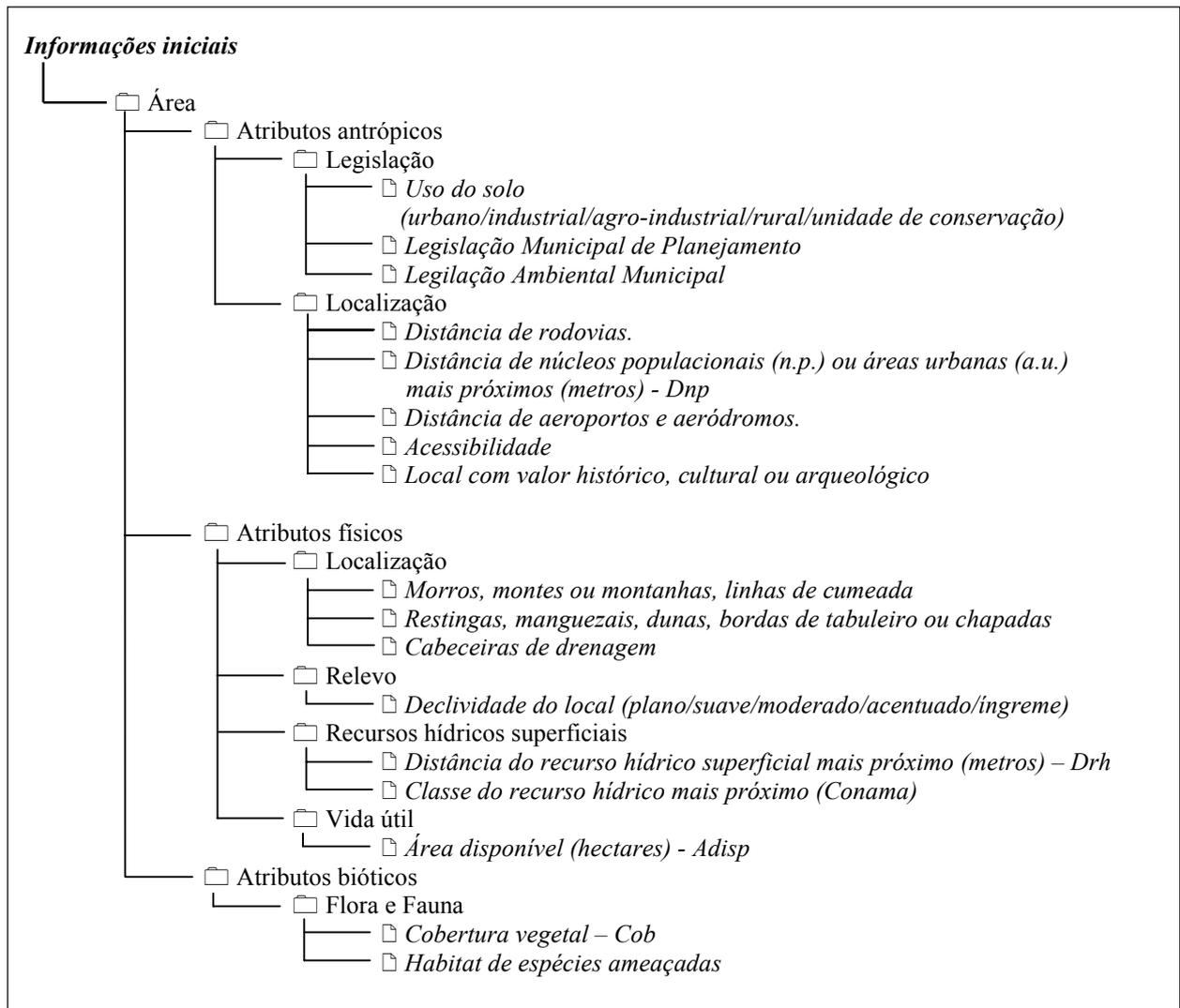


FIGURA 5.9 – INFORMAÇÕES INICIAIS DA ETAPA DE LEVANTAMENTO E TRIAGEM DE ÁREAS.

Atributos antrópicos

Legislação

Uso do solo: para a avaliação do uso do solo das áreas foram adotadas as classes descritas no quadro 5.1 , adaptadas de Brollo (2001). Para fins de triagem preliminar, as áreas com uso do solo urbano ou unidades de conservação são classificadas como não recomendadas pelo sistema.

QUADRO 5.1 – DESCRIÇÃO DAS CLASSES DE AVALIAÇÃO DO USO DE SOLO.

Classificação do uso	Descrição
Uso urbano	Incluem-se áreas com uso urbano-industrial já instalado ou com possibilidade de expansão, com as seguintes características: alta densidade de edificações em estágio consolidado ou em estágio de consolidação; baixa densidade de edificações e alto índice de arborização (área de expansão urbana); áreas não edificadas, cujo entorno é ocupado por áreas urbanas ou por grandes equipamentos (vazios urbanos).
Uso industrial	Incluem-se áreas com predomínio de grandes equipamentos de forma concentrada, tais como indústrias, galpões, armazéns, estufas, aeroportos.
Uso agro-industrial	Ocorrem pequenas propriedades de uso agro-industrial, caracterizadas pela presença esparsa de galpões, armazéns, estufas.
Uso rural	Predomina o uso rural, sendo ocupadas por agricultura, pastagem, reflorestamento e campo antrópico. As edificações ocorrem de forma pontual e esparsa. Há possibilidade de reorganização do uso do solo.
Unidades de conservação	segundo a Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000, as unidades de conservação correspondem ao espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção. As unidades de conservação podem ser de Proteção Integral: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural, Refúgio de Vida Silvestre. Ou ainda de Uso Sustentável: Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva da Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

FONTE: Brollo (2001).

NOTA: adaptado.

Legislação municipal ambiental e de planejamento: as áreas que não estiverem de acordo com a legislação de planejamento do município e ou com a legislação ambiental são classificadas como não recomendadas na etapa de triagem preliminar.

Localização

Distância de rodovias: as áreas localizadas a distâncias inferiores a 100 metros do eixo de rodovias são classificadas como não recomendadas na etapa de triagem preliminar. O valor adotado é utilizado como referência em Gomes et al. (2000), Waquil et al. (2000), Souza (1999), Vieira (1999) para escolha de áreas para aterros sanitários.

Distância de núcleos populacionais⁴⁹ ou áreas urbanas: o sistema avalia como não recomendadas as áreas pretendidas localizadas a distâncias inferiores 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. O valor adotado também é referenciado na bibliografia através dos seguintes autores: Cunha e Parzanese (1993) citados por Guimarães⁵⁰ (2000), Souza (1999), Vieira (1999), Waquil et al. (2000).

Distância de aeroportos e aeródromos: o sistema avalia como não recomendadas as áreas localizadas num raio inferior a 20 km de aeroportos e 13 km de aeródromos. Este critério está de acordo com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA, N.º004 de 09 de outubro de 1995.

Acessibilidade: para fins de avaliação preliminar o sistema classifica como não recomendadas as áreas que não são acessíveis por estradas e que não permitem a construção de vias para acesso as mesmas. Nesta etapa de análise, o sistema considera uma distância limite para avaliação das áreas, a fim de evitar a condução de estudos sobre áreas fora de alcance operacional e econômico do município. O limite adotado corresponde a distância de 60 km do centro gerador de resíduos, tal parâmetro justifica-se na medida que o tempo necessário para operações de descarga de resíduos e os custos decorrentes neste locais, alcançariam valores significativos⁵¹.

⁴⁹ Para fins de avaliação considera-se a definição de núcleos populacionais proposta pela NBR 13896 (ABNT, 1997): localidade sem a categoria de sede administrativa, mas com moradias, geralmente em torno de igreja ou capela, com pequeno comércio.

⁵⁰ CUNHA, M. A.; PARZANESE, G. A. C. Proposta metodológica para definição de critérios geológicos-geotécnicos para a escolha de locais de disposição de resíduos industriais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7., 1993, Poços de Caldas. **Anais ...** Poços de Caldas: ABGE, 1993. p. 161-167.

⁵¹ Considerando uma velocidade média de descarga dos caminhões de coleta de 20 km/h (IPT, 2000), obtém-se um tempo total estimado para descarga de resíduos (para a distância de 60 km) de aproximadamente 6 horas. Do ponto de vista operacional, Jaramillo (1997) recomenda 30 minutos de acesso para locais (ida e volta), do ponto de vista econômico são recomendadas distâncias de aproximadamente 20 km do centro gerador de resíduos IPT (2000).

Locais com valor histórico, cultural ou arqueológico: estas áreas são consideradas pelo sistema com não recomendadas para efeito de triagem preliminar.

Atributos físicos

Localização

Morros, montes ou montanhas, linhas de cumeada, restingas, manguezais, dunas, bordas de tabuleiro ou chapadas: este parâmetro de avaliação vem ao encontro do cumprimento da resolução CONAMA N.º 004, de 18 de setembro de 1985. No quadro 5.2 são descritas as localizações correspondentes as florestas e demais formas de vegetação consideradas reservas ecológicas pela resolução. Para efeito de triagem preliminar estes locais não são recomendados pelo sistema.

QUADRO 5.2 – RESERVAS ECOLÓGICAS (CONAMA N°004, DE 18 DE SETEMBRO DE 1985).

Localização	Descrição
No topo de morros, montes e montanhas	Em áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços), da altura mínima da elevação em relação a base.
Nas linhas de cumeada	Em área delimitada a partir da curva de nível correspondente a 2/3 da altura, em relação à base, do pico mais baixo da cumeada, ficando-se a curva de nível para cada segmento da linha de cumeada equivalente a 1000 (mil) metros.
Nas restingas	Em faixa mínima de 300(trezentos) metros a contar da linha de preamar máxima.
Nos manguezais	Em toda a sua extensão.
Nas dunas	Como vegetação fixadora.
Nas bordas de tabuleiros ou chapadas	Em faixa com largura mínima de 100 (cem) metros.

FONTE: Resolução CONAMA N°004, de 18 de setembro de 1985.

NOTA: Dados trabalhados pelo autor.

Cabeceiras de drenagem: o sistema classifica como não recomendadas as áreas pretendidas caracterizadas como cabeceiras de drenagem.

Relevo

Declividade do local: para avaliação deste parâmetro foram adotadas as classes de declividades referenciadas por Waquil et. al. (2000). O sistema avalia como não recomendadas as áreas com declividades superiores a 30% na etapa de triagem preliminar, tendo em vista que estas áreas são mais susceptíveis a processos erosivos e apresentam maior complexidade para execução das obras de engenharia. O limite adotado também esta de acordo com as considerações técnicas da NBR 13896 (ABNT, 1997). A declividade

posteriormente é utilizada na etapa de avaliações de áreas como parâmetro para os critérios: vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais, vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos, susceptibilidade à erosão e simplicidade para implantação do aterro.

QUADRO 5.3 – CLASSES DE DECLIVIDADE.

Declividade	Gradiente %	Ângulo (°)	Talude (Horiz:Vert)
Plano	(0 – 2%)	(0 – 1,14°)	(10 : 0) – (10 : 0,2)
Suave	(>2 – 10%)	(>1,14 – 5,71°)	> (10 : 0,2) – (10 : 1)
Moderado	(>10 – 20%)	(>5,71 – 11,3°)	> (10 : 1) – (10 : 2)
Acentuado	(>20 – 30%)	(>11,3 – 16,7°)	> (10 : 2) – (10 : 3)
Íngreme	(> 30%)	(> 16,7°)	> (10 : 3)

FONTE: Waquil et. al.(2000)

NOTA: Colunas Ângulo e Talude, acrescentadas pelo autor.

Recursos hídricos superficiais

Distância do recurso hídrico superficial mais próximo: neste trabalho são definidos como recursos hídricos os cursos d'água, os lagos e lagoas, os banhados, as áreas alagadiças e inundáveis e as nascentes e olhos d'água. Para fins de avaliação devem ser considerados os recursos hídricos da bacia hidrográfica na qual esta inserida a área pretendida. O sistema avalia como não recomendadas às áreas situadas a distâncias inferiores a 200 metros de recursos hídricos. A adoção da distância de 200 metros está em conformidade com a norma NBR 13896 (ABNT, 1997), sendo ainda utilizada como critério limitante na Portaria N.º 124/80 do Ministério do Interior. O limite adotado também é utilizado como referência nos seguintes trabalhos: Gomes et al. (2000), Lima (1999), Fiuza (1999), IPT (2000), Waquil et al. (2000), Cunha e Parzanese (1993) citados por Guimarães (2000), Vieira (1999), Souza (1999).

Classe do recurso hídrico mais próximo: é utilizada como um dos parâmetros de avaliação da vulnerabilidade dos recursos hídricos e como informação necessária para o cadastro inicial da área. A adoção deste parâmetro está em conformidade com a norma NBR 8419 (ABNT, 1984) a qual recomenda a avaliação da bacia e sub-bacia hidrográfica onde será localizado o aterro sanitário. Neste sentido, tendo em vista os usos preponderantes previstos para os recursos hídricos de classe I (Resolução CONAMA, N.º20, de 18 de junho de 1986), as áreas próximas a estes recursos (no contexto da bacia ou sub-bacia hidrográfica) são avaliada em caráter preliminar como não recomendadas. Nestes casos, o sistema recomenda a consulta ao órgão de controle de poluição responsável a respeito da decisão da utilização da mesma. As legislações ambientais estaduais costumam ser mais restritivas a locação de empreendimentos

próximos aos recursos hídricos de classe I, a exemplo da legislação ambiental do estado de Santa Catarina (Artigo 11 do Decreto Nº 14.250, de 5 de Junho de 1981.) a qual proíbe o lançamento de efluentes mesmo tratados nestes corpos d'água.

Vida útil

Área disponível: a avaliação preliminar da área superficial disponível para implantação do aterro está relacionada a eliminação de locais com pequena capacidade de receber resíduos. Para fins de avaliação preliminar o sistema não recomenda a utilização de locais com áreas iguais ou inferiores a um hectare, os quais do ponto de vista operacional teriam rapidamente esgotada sua capacidade em receber resíduos. Este limite também é referenciado por SOUZA (1999) na avaliação de áreas destinadas para disposição final de resíduos sólidos na região metropolitana de Porto Alegre, através de um sistema de apoio à decisão em ambiente espacial.

Atributos bióticos

Flora e fauna

Cobertura vegetal: para avaliação da cobertura vegetal da área foram considerados o tipo de vegetação (arbustiva ou rasteira) e o respectivo estágio de regeneração. Para avaliação deste parâmetro recomenda-se a consulta da legislação ambiental específica do estado, com relação às disposições sobre as autorizações florestais (definições de estágios sucessionais, reservas legais e lista de espécies ameaçadas de extinção, bem como autorizações de exploração, manejo e desmate). Posteriormente, a remoção da cobertura vegetal é utilizada na etapa de avaliação como parâmetro os seguintes critérios: alteração da flora, simplicidade para implantação do aterro e custos para adequação do local. Para fins de triagem preliminar, as áreas com cobertura vegetal arbustiva em estágio avançado de regeneração são classificadas como não recomendadas, nestes casos recomenda-se a consulta ao órgão de controle ambiental da região a respeito da decisão da utilização da mesma.

5.2.2.2 *Triagem preliminar*

A etapa de triagem preliminar é realizada pela comparação dos dados informados pelo usuário com os parâmetros de triagem definidos na modelagem do sistema. Esta etapa tem como objetivo evitar que sejam conduzidos estudos mais detalhados em áreas inadequadas, e o conseqüente desperdício de tempo e recursos envolvidos. Desta maneira, as áreas que não atenderem os parâmetros mínimos desta etapa são classificadas como *não recomendadas*, do mesmo modo as áreas que atenderem aos parâmetros são classificadas como *potenciais*, sendo solicitadas informações complementares para cadastro.

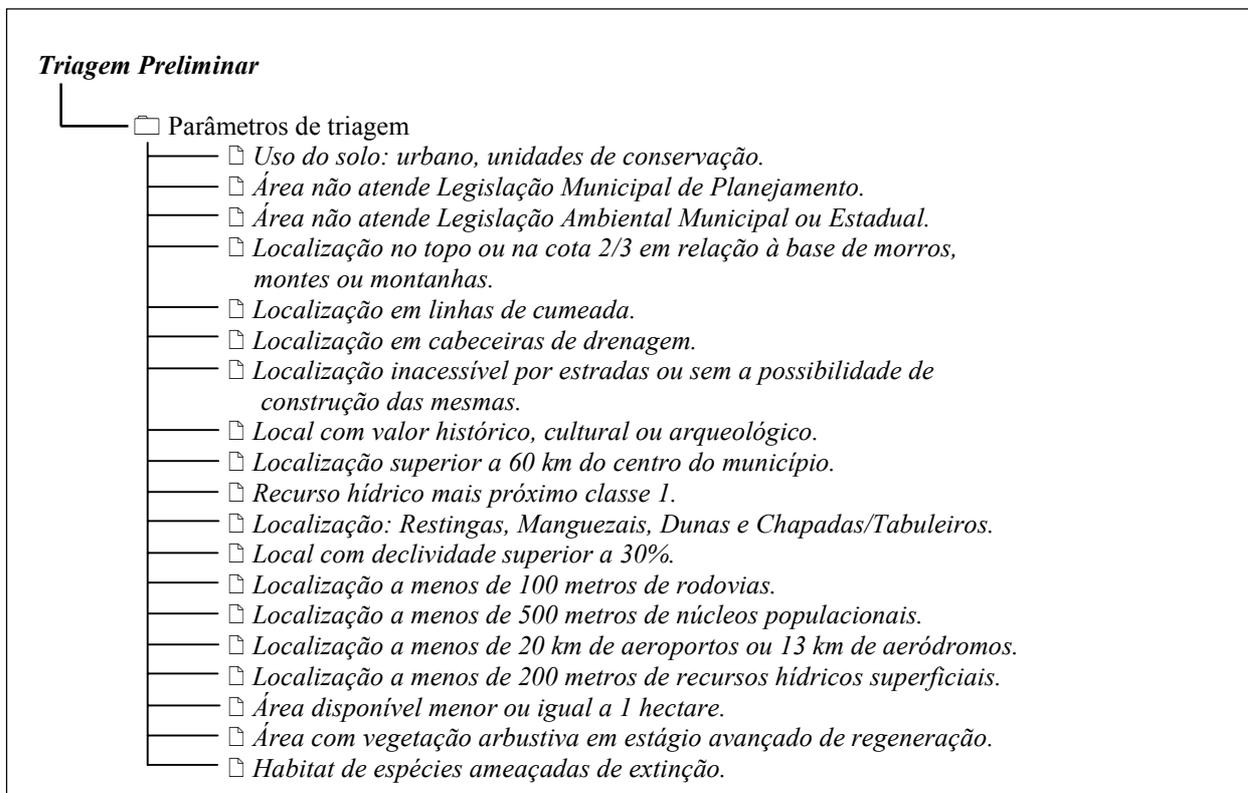


FIGURA 5.10 – PARÂMETROS UTILIZADOS NA ETAPA DE TRIAGEM PRELIMINAR.

Na seqüência, as figuras 5.11 a 5.13 apresentam a representação dinâmica dos conhecimentos referentes ao cadastro das informações iniciais e triagem preliminar de áreas, na forma de fluxogramas.

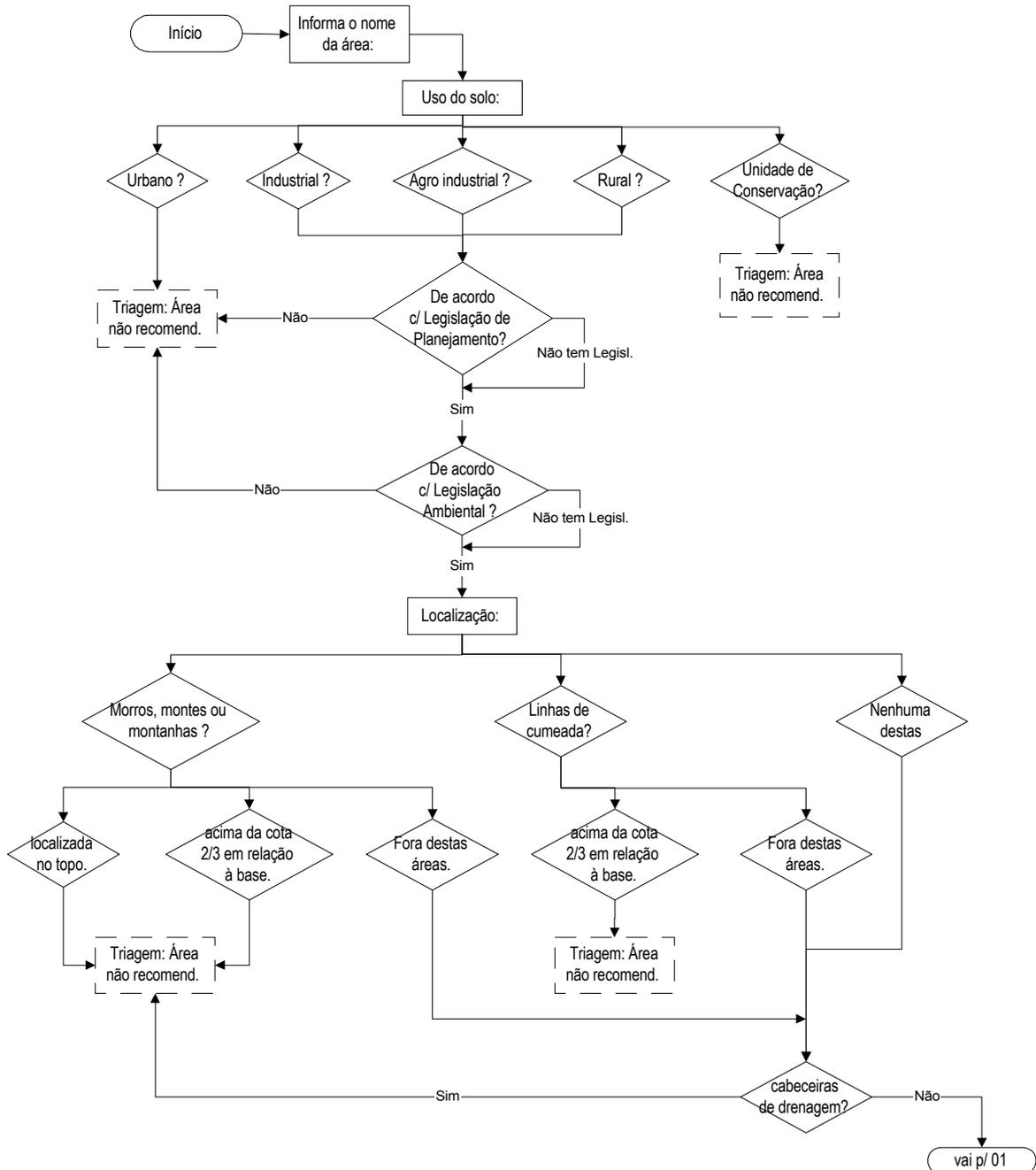
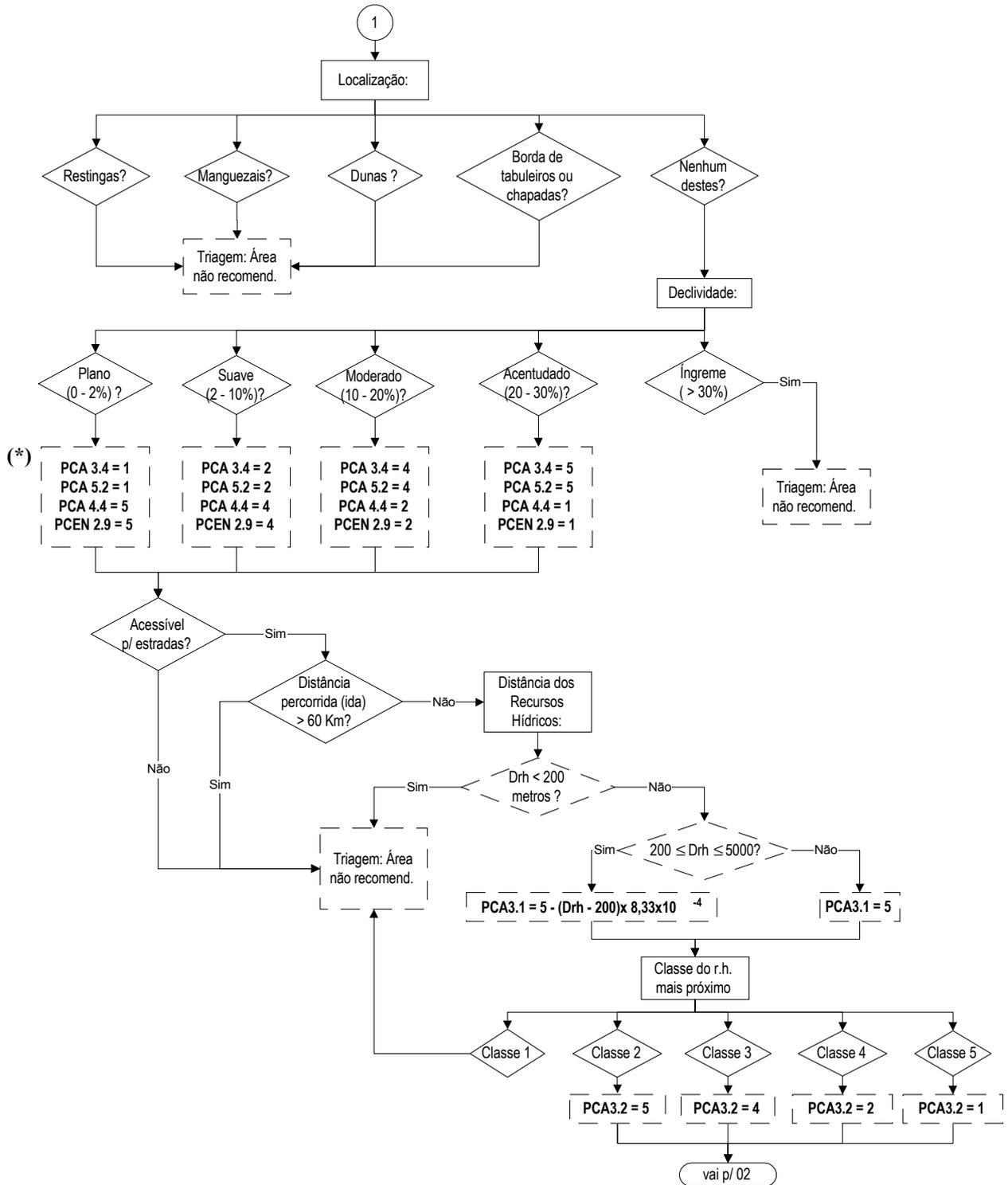


FIGURA 5.11 – CADASTRO DAS INFORMAÇÕES INICIAIS E TRIAGEM PRELIMINAR DE ÁREAS (PARTE I DE III).



Nota: (*) Procedimento descrito posteriormente na seção 5.2.3.1 Estruturação dos critérios e agregação dos parâmetros.

FIGURA 5.12 – CADASTRO DAS INFORMAÇÕES INICIAIS E TRIAGEM PRELIMINAR DE ÁREAS (PARTE II DE III).

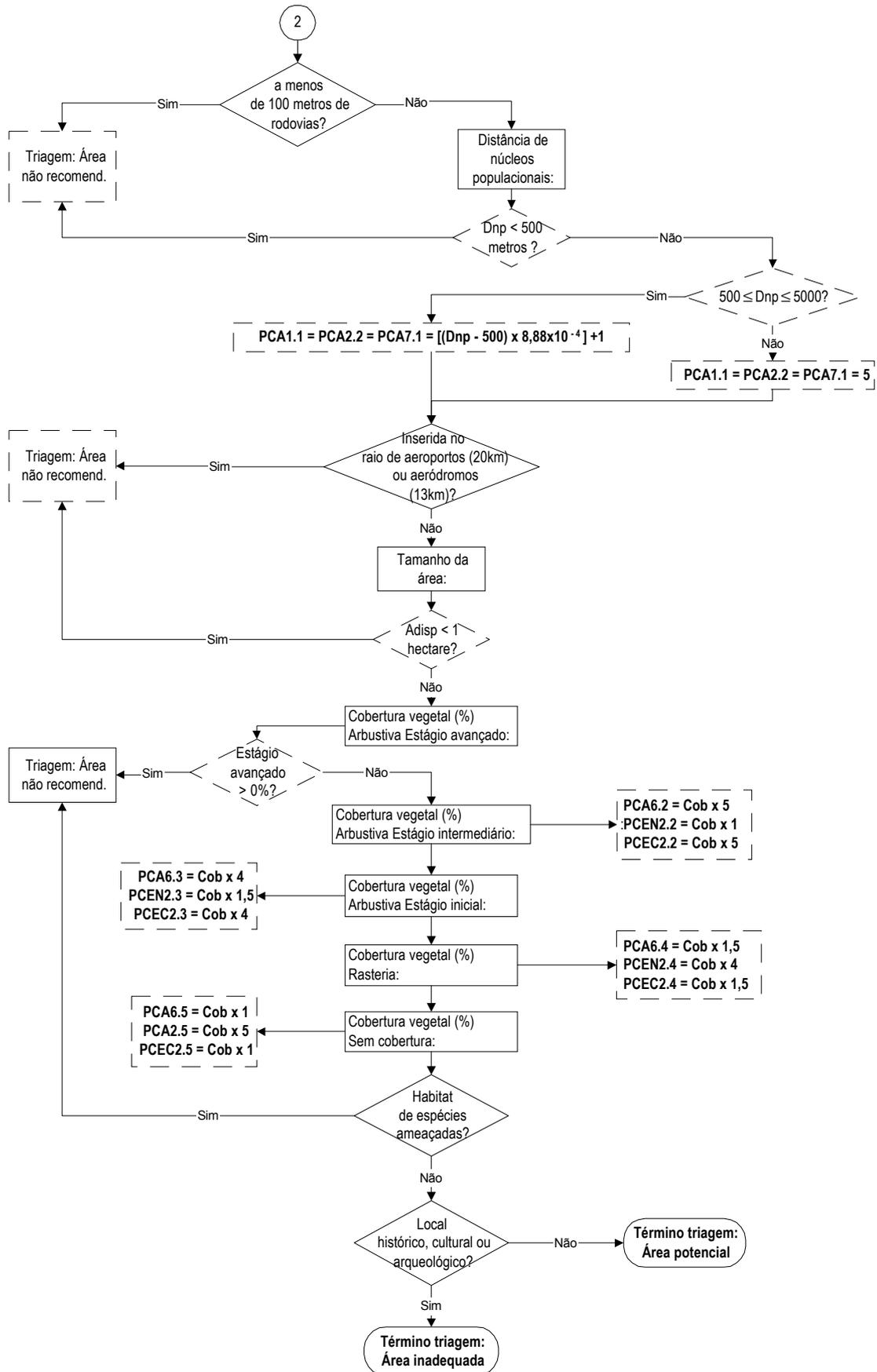


FIGURA 5.13 – CADASTRO DAS INFORMAÇÕES INICIAIS E TRIAGEM PRELIMINAR DE ÁREAS (PARTE III DE III).

5.2.2.3 Informações Complementares

As figuras 5.14 e 5.15 , apresentam as informações complementares solicitadas para o cadastro das áreas potenciais:

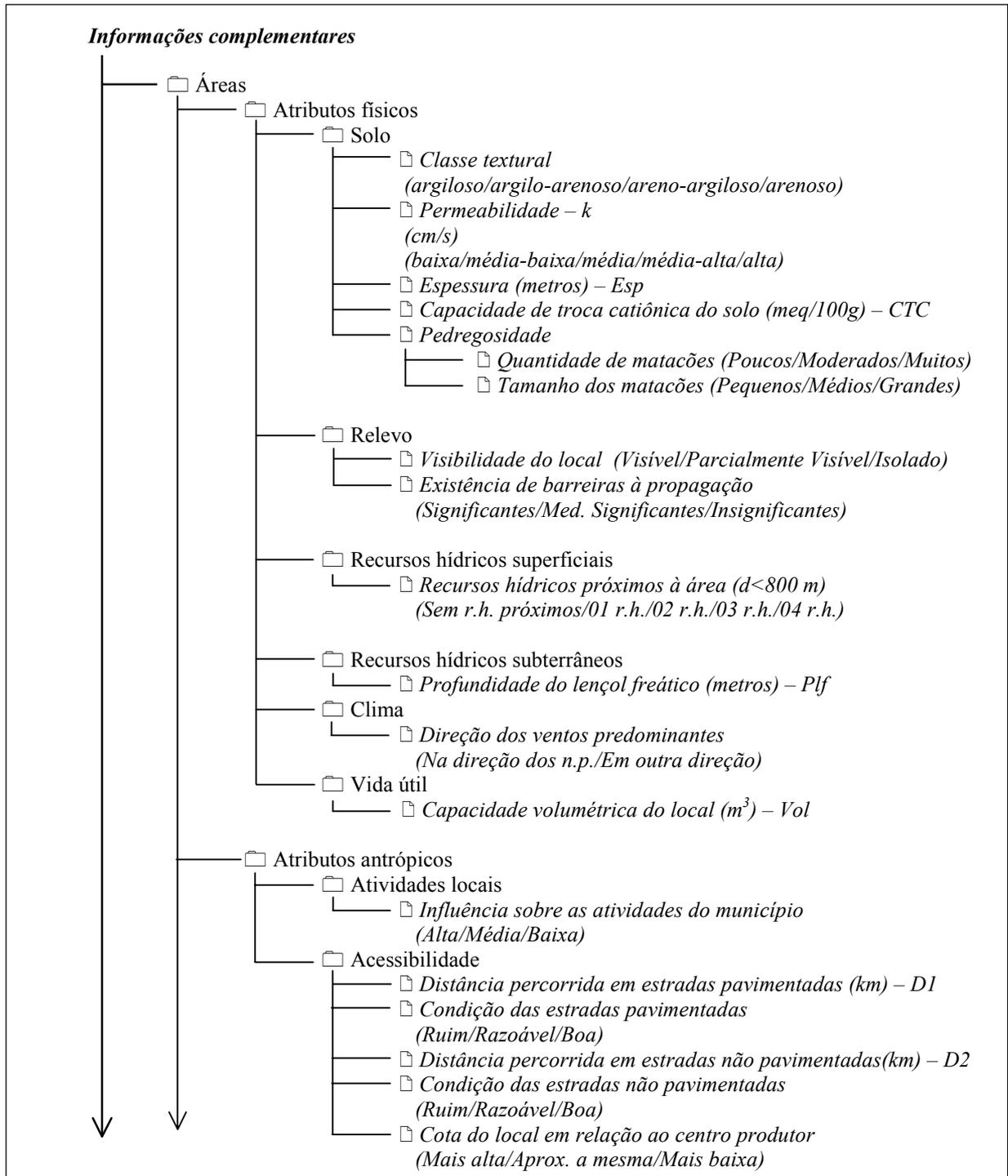


FIGURA 5.14 – INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DA ETAPA DE LEVANTAMENTO E TRIAGEM DE ÁREAS (PARTE I DE II).

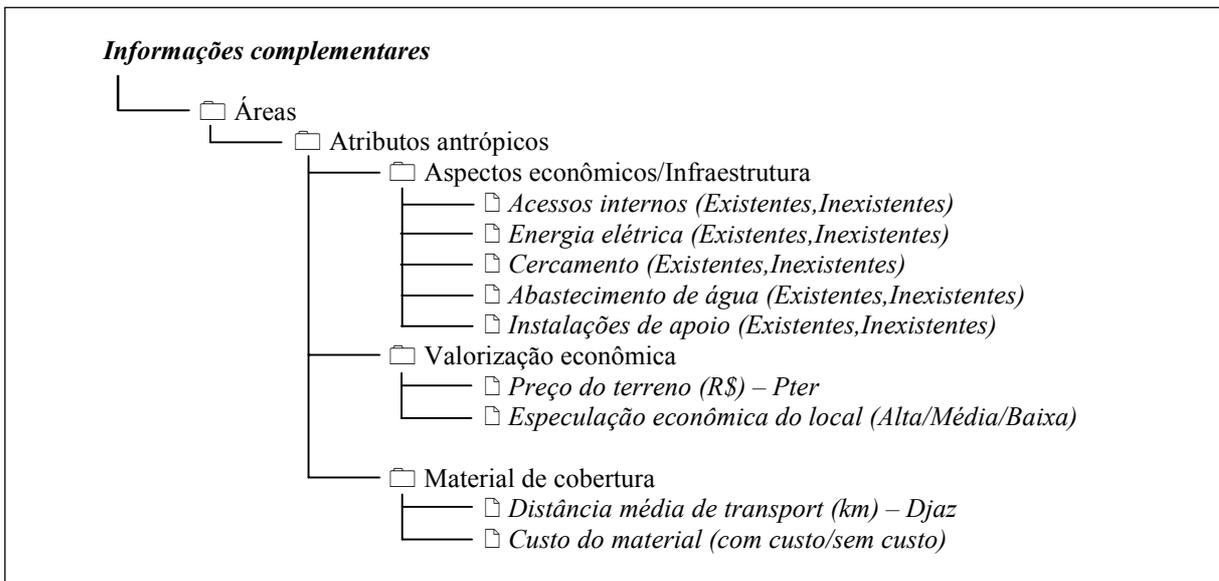


FIGURA 5.15 – INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DA ETAPA DE LEVANTAMENTO E TRIAGEM DE ÁREAS (PARTE II DE II).

Atributos físicos

Solo

Classe textural: para a avaliação da classe textural predominante do solo do local foram adotadas quatro classes texturais (argilosa, argilo-arenosa, areno-argilosa e arenosa). O sistema permite a avaliação da classe textural a partir de informações mais simples obtidas através da análise tátil do solo, considerando a sensação obtida (atrimento ou pegajosidade e plasticidade) ao esfregar um pouco de solo úmido entre os dedos (WAQUIL et al., 2000). A classe textural é utilizada na etapa de avaliação como parâmetro para os critérios susceptibilidade à erosão e simplicidade para implantação do aterro.

Permeabilidade: na falta de informações quantitativas⁵² referentes a permeabilidade, o sistema procede a caracterização desta através da avaliação da estrutura e porosidade do solo. A avaliação da estrutura do solo baseia-se na classificação proposta por Waquil et. al (2000) em compacta (lisa e sólida) e não compacta (rugosa e granulada).

A avaliação porosidade⁵³ foi considerada através de três classes ordinais (baixa, média e alta). O sistema oferece ainda a possibilidade de caracterização da porosidade através da

⁵² Coeficiente de permeabilidade (cm/s).

⁵³ Volume de solo ocupado pela água e ar (LEMOS e SANTOS, 1996).

metodologia adaptada de Lemos e Santos (1996) a qual considera a avaliação do tamanho e quantidade de macroporos existentes no solo.

Na avaliação do tamanho dos poros considera-se como pequenos aqueles com diâmetros inferiores a 2 mm ; médios os poros com diâmetros entre 2 a 5 mm e grandes os poros com diâmetros superiores a 5 mm. A quantidade de poros é avaliada segundo três classes ordinais (alta, média e baixa). Para caracterização destas recomenda-se o trabalho de Lemos e Santos (1996). A permeabilidade do solo é utilizada na etapa de avaliação como parâmetro para os seguintes critérios: vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos e custos para adequação do local.

Espessura: para fins de avaliação do sistema a espessura considerada corresponde ao horizonte B segundo a classificação pedológica, ou ao horizonte laterítico segundo os perfis de intemperismo da classificação geotécnica. A espessura do solo é utilizada posteriormente como um dos parâmetros de avaliação da vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos e simplicidade para implantação do aterro.

Capacidade de troca catiônica do solo: é considerada em termos quantitativos (meq/100g) como um dos parâmetros para avaliação da susceptibilidade dos recursos hídricos subterrâneos.

Pedregosidade: no contexto do presente estudo a pedregosidade é avaliada em função da quantidade e tamanho dos matacões existentes. Segundo a NBR6502 (ABNT, 1980) os matacões são pedaços de rocha com diâmetro médio superior a 25 centímetros e inferior a 1 metro.

Para identificação da quantidade de matacões estabeleceu-se uma escala de avaliação baseada nas classes de pedregosidade definidas por Lemos e Santos (1996). Desta maneira foram consideradas as seguintes classes em função da percentagem ocupada na superfície do terreno pelos matacões: poucos (< 3% da superfície do terreno), moderados (de 3 a 15% da superfície do terreno) e muitos (> 15% da superfície do terreno).

Com relação ao tamanho dos matacões foram adotadas as seguintes classes em função do diâmetro aproximado dos mesmos: pequenos (< 30 cm), médios (de 30 a 60 cm) e grandes (> 60 cm). A pedregosidade é utilizada posteriormente como um dos parâmetros de avaliação da simplicidade para implantação do aterro.

Relevo

Visibilidade do local: para avaliação da visibilidade do local considerou-se a possibilidade de avistar o local escolhido a partir do ponto de observação mais próximo (núcleos populacionais ou estradas) classificando o mesmo em: visível (facilmente observado), parcialmente visível (observado com restrições) e isolado (dificilmente observado).

Existência de barreiras à propagação de poluentes atmosféricos e ruídos: para avaliação da existência de barreiras à propagação de poluentes e ruídos (conformação topográfica e/ou camadas espessas de cobertura vegetal) foram adotadas as seguintes classes: significantes, medianamente insignificantes e insignificantes.

Recursos hídricos superficiais

Recursos hídricos próximos à área: para avaliação deste parâmetro considera-se os recursos hídricos de primeira ordem (aqueles que não recebem afluentes) localizados a distâncias inferiores a 800 metros do local.

Recursos hídricos subterrâneos

Profundidade do lençol freático: é utilizada como parâmetro para avaliação dos seguintes critérios: vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos, simplicidade para implantação do aterro e custos para adequação do local.

Clima

Direção dos ventos predominantes: para fins de avaliação os ventos predominantes classificam-se em: na direção dos núcleos populacionais ou em outra direção, sendo utilizado como um dos parâmetros de avaliação para o critério atenuação da poluição atmosférica.

Vida útil

Capacidade volumétrica do local: tendo em vista a profundidade dos estudos requeridos nesta fase do processo de seleção de áreas, e os recursos envolvidos para executar levantamentos topográficos recomenda-se a utilização de técnicas mais simplificadas para estimativas da capacidade volumétrica do local, para tanto recomenda-se os estudos de Jaramillo (1997).

Atributos antrópicos

Atividades locais

Influência sobre as atividades do município: o estabelecimento deste parâmetro qualitativo de avaliação visa caracterizar a importância da área pretendida para as atividades do município: agricultura, pecuária, turismo, lazer, cultura, patrimônio histórico, etc. A escala estabelecida classifica a influência como alta, média ou baixa.

Acessibilidade

Tempo de descarga estimado: a localização do aterro em relação ao centro urbano influenciará de maneira significativa a etapa de operação do mesmo em termos econômicos e logísticos. Neste contexto, o tempo necessário para operação de descarga dos resíduos do centro urbano até o local pretendido é utilizado como parâmetro de avaliação da acessibilidade do local.

A avaliação do tempo de descarga foi considerada segundo três elementos a saber: a distância percorrida em estradas pavimentadas e não pavimentadas, a condição de tráfego das mesmas e o tempo necessário para as operações no aterro.

Para estimativa do tempo total utilizou-se como referência as velocidades médias de um caminhão entre o setor de coleta e o ponto de descarga segundo IPT e CEMPRE (2000), as quais foram relacionadas com o tipo e condição de conservação das estradas conforme quadro 5.4 abaixo:

QUADRO 5.4 – REFERÊNCIAS DE VELOCIDADE UTILIZADAS PARA AVALIAÇÃO DO TEMPO DE DESCARGA.

Tipo	Condição de Conservação	Velocidade adotada (km/h)
Pavimentada	Boa	35
	Razoável	30
	Ruim	25
Não – pavimentada	Boa	25
	Razoável	20
	Ruim	15

O tempo total é o resultado da aplicação das velocidades do quadro 5.4 sobre as distâncias percorridas (ida e volta), acrescentando-se a este o tempo de operação dos caminhões no aterro (30 min).

Cota do local em relação ao centro produtor: para caracterização deste parâmetro foram consideradas as seguintes classes de avaliação: mais alta (mais aclives do que declives no trajeto de ida), aproximadamente a mesma (mesma proporção entre aclives e declives) e mais baixa (mais declives do que aclives no trajeto de ida). A cota do centro produtor de resíduos é utilizada como parâmetro de avaliação dos custos com transporte de resíduos.

Aspectos econômicos

Infraestrutura: a fim de melhor caracterizar as áreas pretendidas quanto aos custos estimados para adequação do local foi considerada a existência ou não dos seguintes elementos de infraestrutura: acessos internos (estradas para circulação interna no local), cercamento (elementos para isolamento da área), água (fonte de abastecimento natural ou da rede pública), instalações de apoio (edificações para alojamento das funções administrativas e equipamentos) e energia elétrica (rede de fornecimento). Estes elementos são utilizados posteriormente como parâmetros de avaliação dos custos necessários para adequação do local.

Valorização econômica

Os parâmetros considerados para avaliação da valorização econômica do local foram o preço do terreno (R\$) e a especulação econômica do local. Para a avaliação da especulação econômica (utilizada como parâmetro para o critério desvalorização da terra) foram consideradas três classes: alta (áreas agrícolas produtivas ou áreas de expansão urbana), média (áreas com algum interesse econômico) e baixa (áreas degradadas ou áreas exploradas).

Material de cobertura

Para caracterização das diferenças locais segundo os custos com material de cobertura foram considerados dois parâmetros de avaliação: distância média de transporte até a jazida (km/h) e custos do material (com custo/ sem custo).

As figuras 5.16 a 5.19 na seqüência, apresentam os conhecimentos referentes ao cadastro das informações complementares encadeados na forma de fluxogramas:

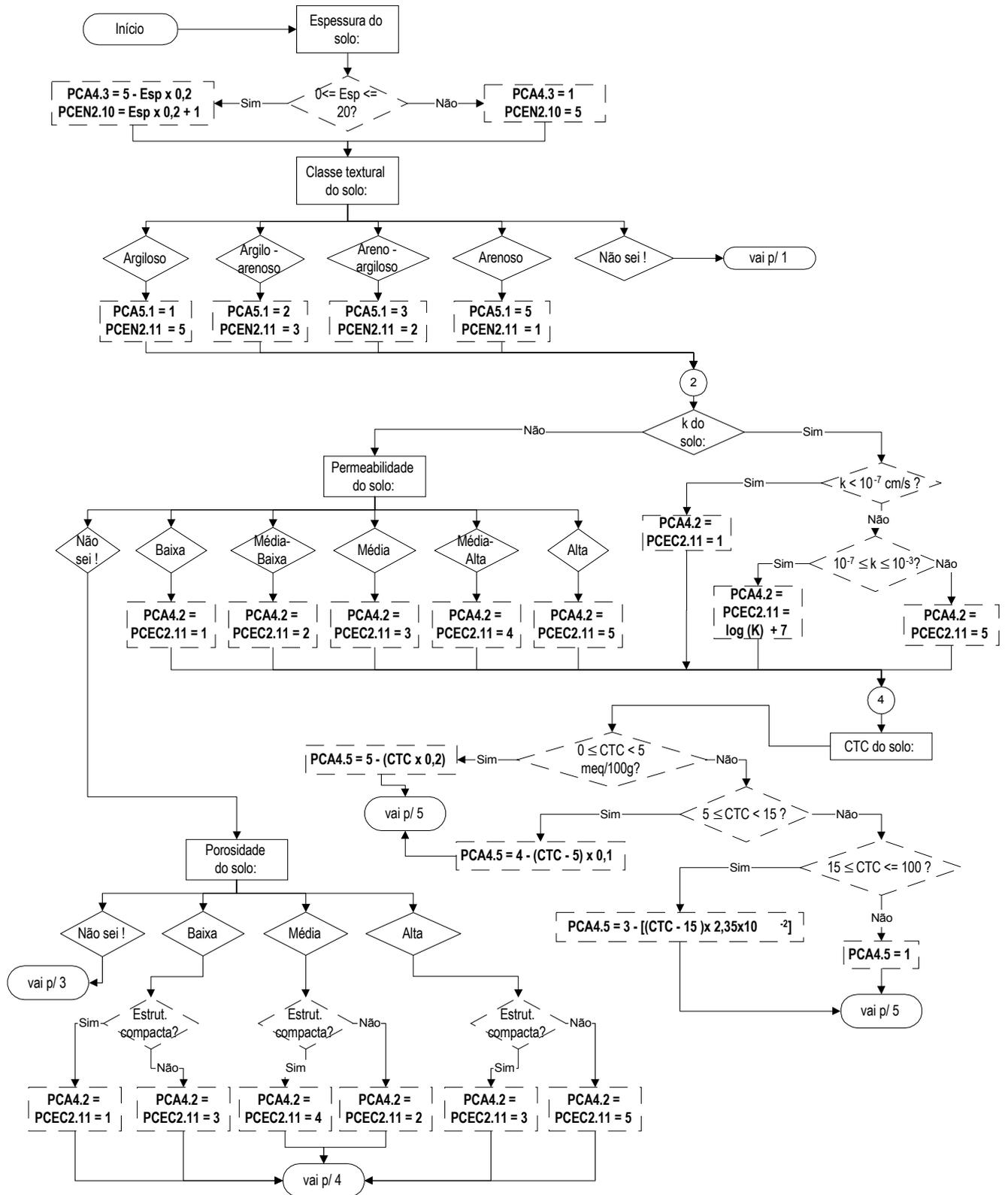


FIGURA 5.16 – CADASTRO DAS INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES (PARTE I DE IV).

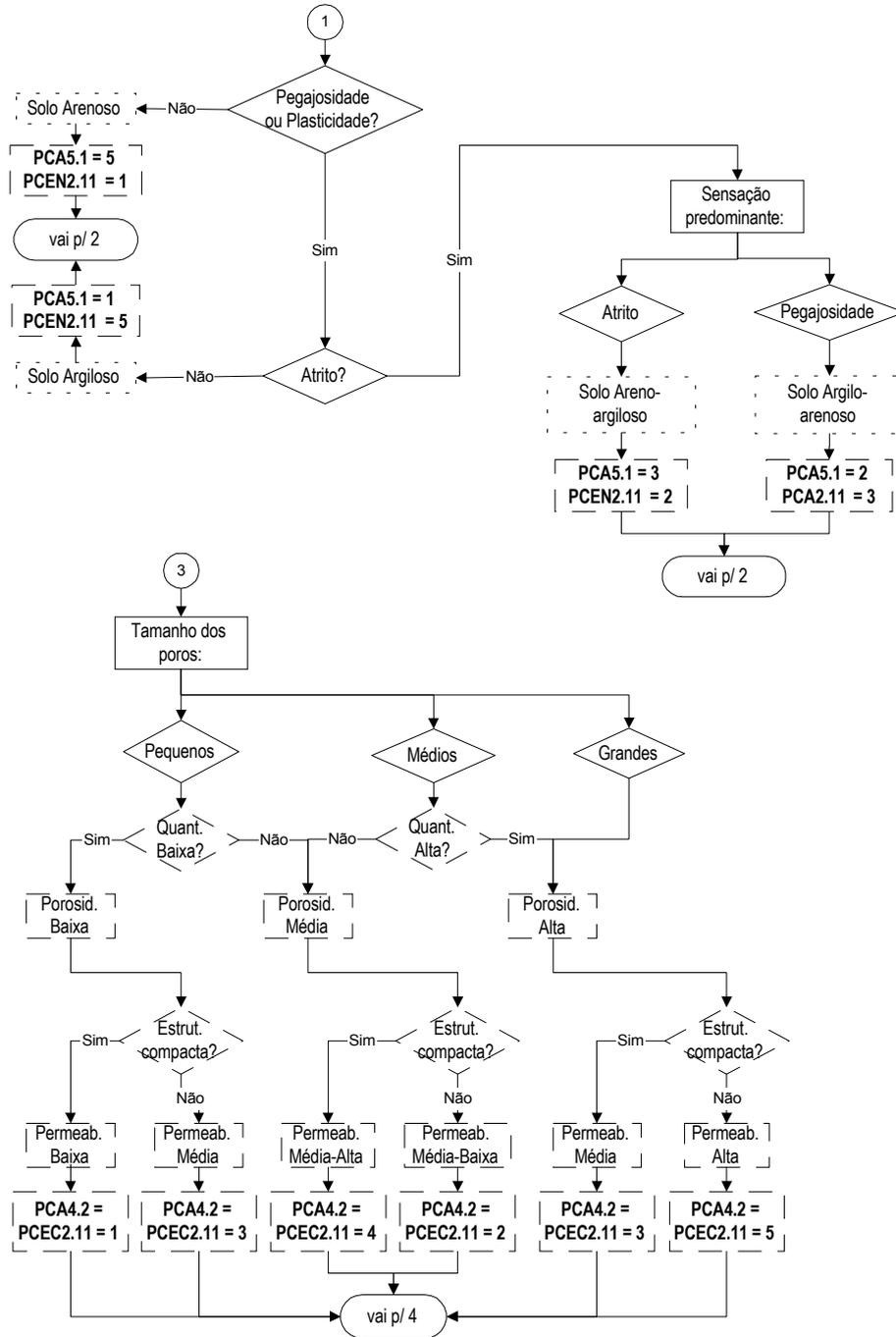


FIGURA 5.17 – CADASTRO DAS INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES (PARTE II DE IV).

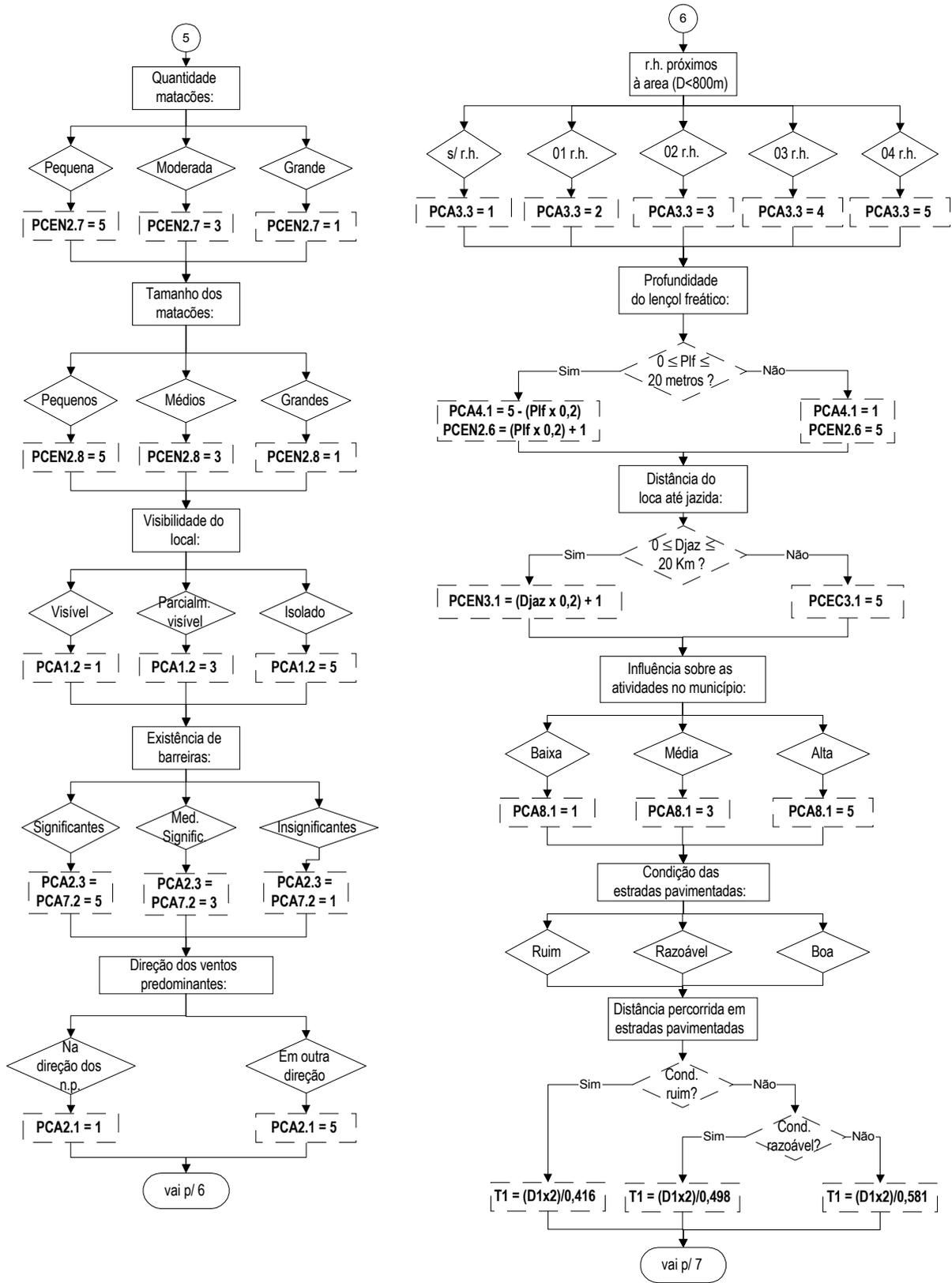


FIGURA 5.18 – CADASTRO DAS INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES (PARTE III DE IV).

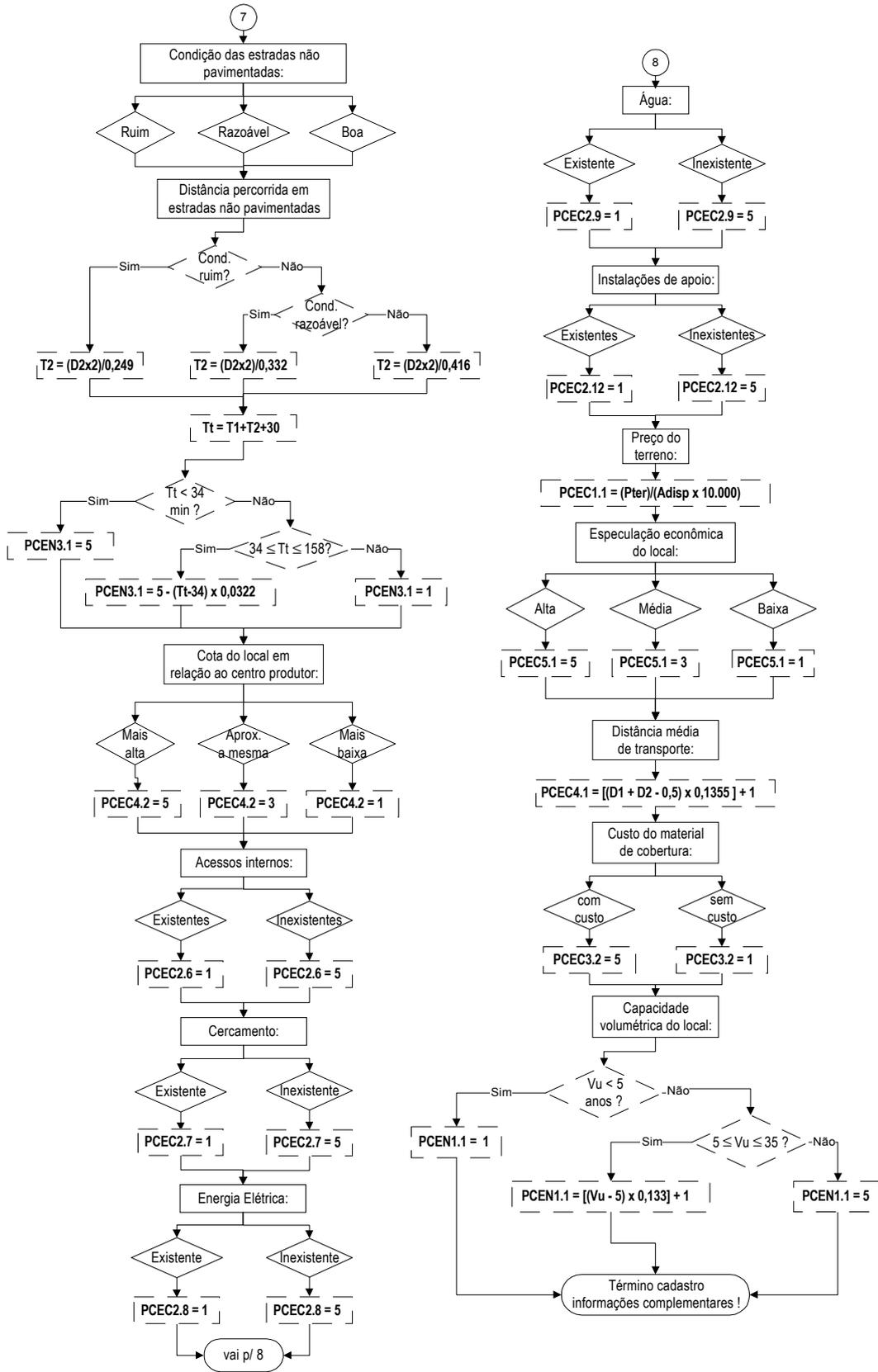


FIGURA 5.19 – CADASTRO DAS INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES (PARTE IV DE IV).

5.2.3 Etapa 3: Avaliação das áreas potenciais

5.2.3.1 Estruturação dos critérios e agregação dos parâmetros

Os critérios de avaliação desta etapa, foram estabelecidos a partir de uma série de objetivos considerados essenciais para uma boa escolha locacional. Cada critério foi estruturado segundo um ou mais parâmetros de avaliação que por sua vez são formados pelo conjunto de informações iniciais e complementares solicitadas ao usuário a respeito de cada área.

A estrutura utilizada para agregação dos parâmetros e critérios é apresentada na figura 5.20 abaixo:

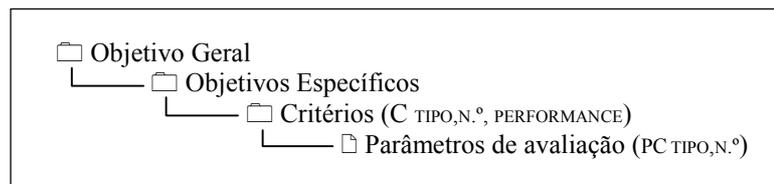


FIGURA 5.20 –ESTRUTURA DE AGREGAÇÃO DOS PARÂMETROS, CRITÉRIOS E OBJETIVOS.

Na estrutura proposta da figura 5.20, os critérios são identificados pela letra maiúscula C, seguida das notações A (ambiental), EN (engenharia) ou EC (econômico) para identificação do tipo de critério, seguida do número do critério e da notação da performance do critério (+) crescente e (-) decrescente. Desta forma, a notação CA3-, indica o critério ambiental n.º 3 com performance decrescente.

Seguindo o mesmo princípio, os parâmetros são identificados pelas letras PC, seguidas da notação do tipo de critério (A , EN ou EC) e pelo número de identificação. O número de identificação do parâmetro é composto de dois algarismos: o primeiro indica o número do critério e o segundo o número do parâmetro na estrutura. Desta maneira, a notação PCA3.2, indica o parâmetro n.º 2 do critério ambiental n.º 3.

QUADRO 5.5 – NOTAÇÃO UTILIZADA PARA ESTRUTURAÇÃO DOS CRITÉRIOS.

Variável	Descrição
C	Critério de avaliação
PC	Parâmetro de avaliação
PSC	Peso do critério
PSPC	Peso do parâmetro
A (ambiental) EN (engenharia) EC (econômico)	Identificação do tipo de critério ou parâmetro

Os parâmetros informados pelo usuário 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 (ver Apêndice A) ou pela pontuação direta das classes do parâmetro (Ex: existente = 1, inexistente = 5). Esta transformação, além de permitir uma uniformização das unidades, possibilita a criação de uma escala de referência interna no sistema a qual será a base da avaliação da adequação de uma área, descrita nas próximas seções.

O valor numérico do critério por sua vez, é obtido através da aplicação da média ponderada (equação 5.7) como procedimento de agregação total sobre as pontuações dos parâmetros. Para cada parâmetro foi atribuído um peso de acordo com sua importância na estruturação do critério. A utilização da média ponderada para agregação dos parâmetros justifica-se uma vez que os efeitos da compensação são utilizados em favor da segurança nos critérios com performance negativa e nos demais casos os resultados obtidos permitiram uma melhor modelagem quando comparado com os obtidos através da aplicação do produto ponderado.

$$C_i = \sum_{j=1}^j (PC_{i,j} \times PSPC_{i,j}) \quad (5.7)$$

Nas seções seguintes são apresentadas as estruturas estabelecidas para avaliação das áreas potenciais segundo critérios ambientais, critérios de engenharia e critérios econômicos.

5.2.3.2 Estrutura de avaliação segundo critérios ambientais

Objetivo Geral

Escolha da alternativa locacional que favoreça a atenuação dos possíveis impactos negativos aos meios físico, biótico e antrópico decorrentes das etapas de implantação e operação do aterro sanitário.

Objetivos específicos, critérios e parâmetros de avaliação

Menor impacto visual: a partir deste objetivo, foi estabelecido o critério atenuação do impacto visual negativo. Nesta abordagem as áreas pretendidas são avaliadas em função de sua capacidade natural em minimizar os possíveis impactos visuais negativos (decorrentes da modificação da paisagem local) em virtude de sua distância em relação aos núcleos populacionais ou áreas urbanas mais próximas e de sua visibilidade.

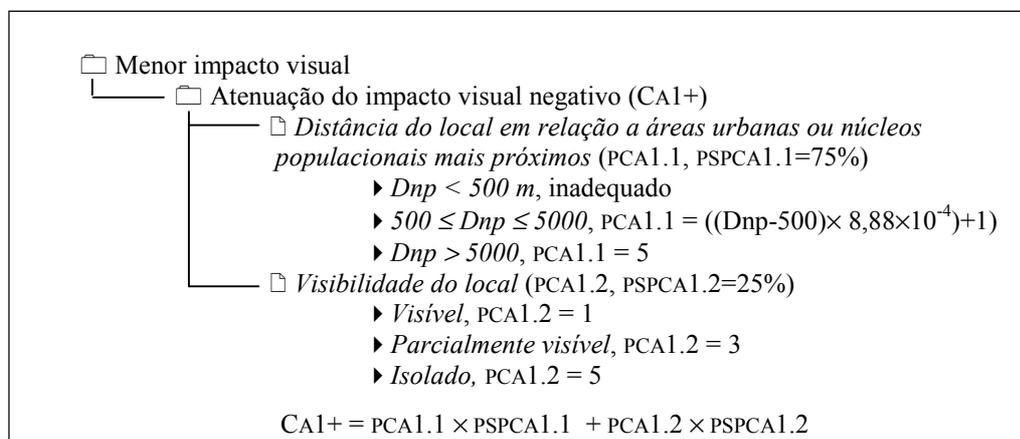


FIGURA 5.21 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO ATENUAÇÃO DO IMPACTO VISUAL NEGATIVO (CA1+).

Menor poluição atmosférica: a avaliação da capacidade natural do local em minimizar os efeitos das emissões atmosféricas do aterro sanitário foi considerado através do critério atenuação da poluição atmosférica. Para estruturação do critério foram considerados os seguintes parâmetros de avaliação: localização da área em relação aos ventos predominantes, distância em relação aos núcleos populacionais e áreas urbanas mais próximas e existência de barreiras à propagação de poluentes.

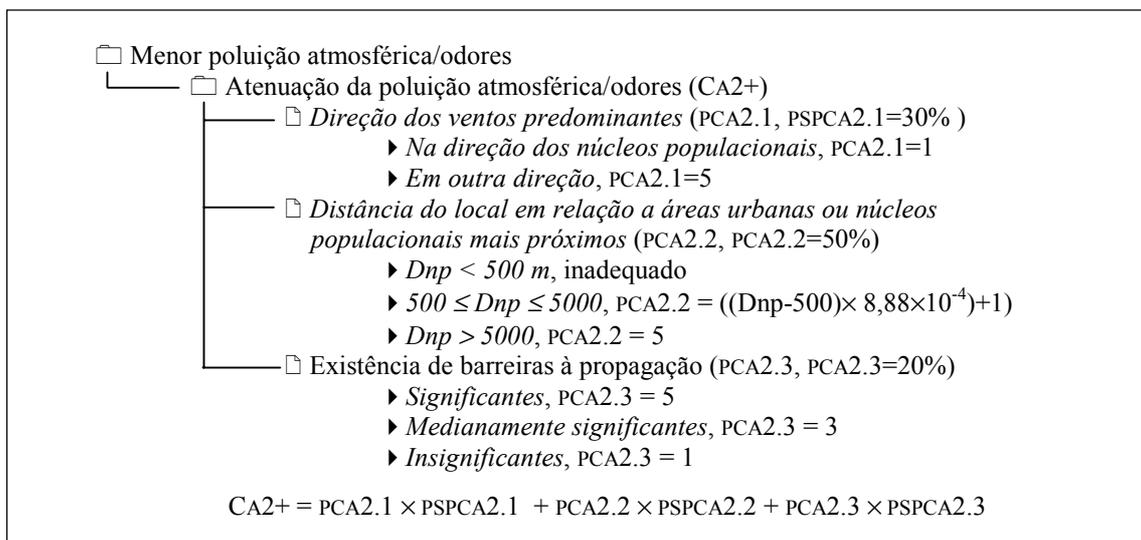


FIGURA 5.22 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO ATENUAÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA/ODORES (CA2+).

Preservação dos recursos hídricos superficiais: um dos objetivos principais da implantação de um aterro sanitário é a menor alteração da qualidade dos recursos hídricos situados no seu entorno. Neste sentido, considerou-se a vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais à poluição como critério de avaliação para as alternativas locais. A estruturação do critério levou em conta os seguintes parâmetros de avaliação: distância do recurso hídrico superficial mais próximo, classe do recurso hídrico superficial mais próximo, número de recursos hídricos superficiais próximos à área e declividade do local.

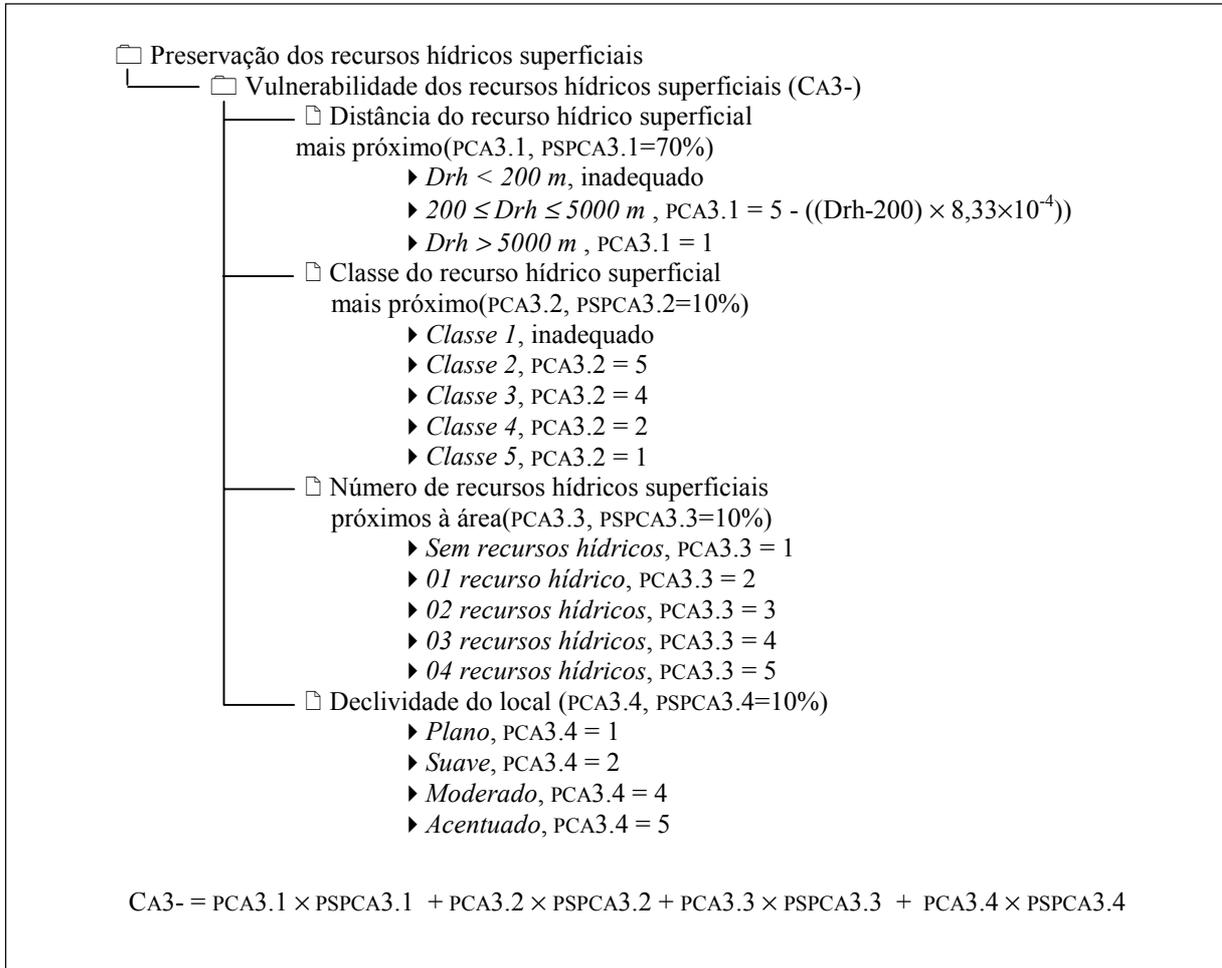


FIGURA 5.23 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO VULNERABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS (CA3-).

Preservação dos recursos hídricos subterrâneos: o risco de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos de uma área por líquidos lixiviados está diretamente relacionado às características encontradas no seu subsolo. Neste sentido a avaliação deste aspecto na escolha locacional foi considerada através do critério vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos, avaliado em função dos seguintes parâmetros: profundidade do lençol freático, permeabilidade do solo, espessura do local, declividade do local e capacidade de troca catiônica do solo.

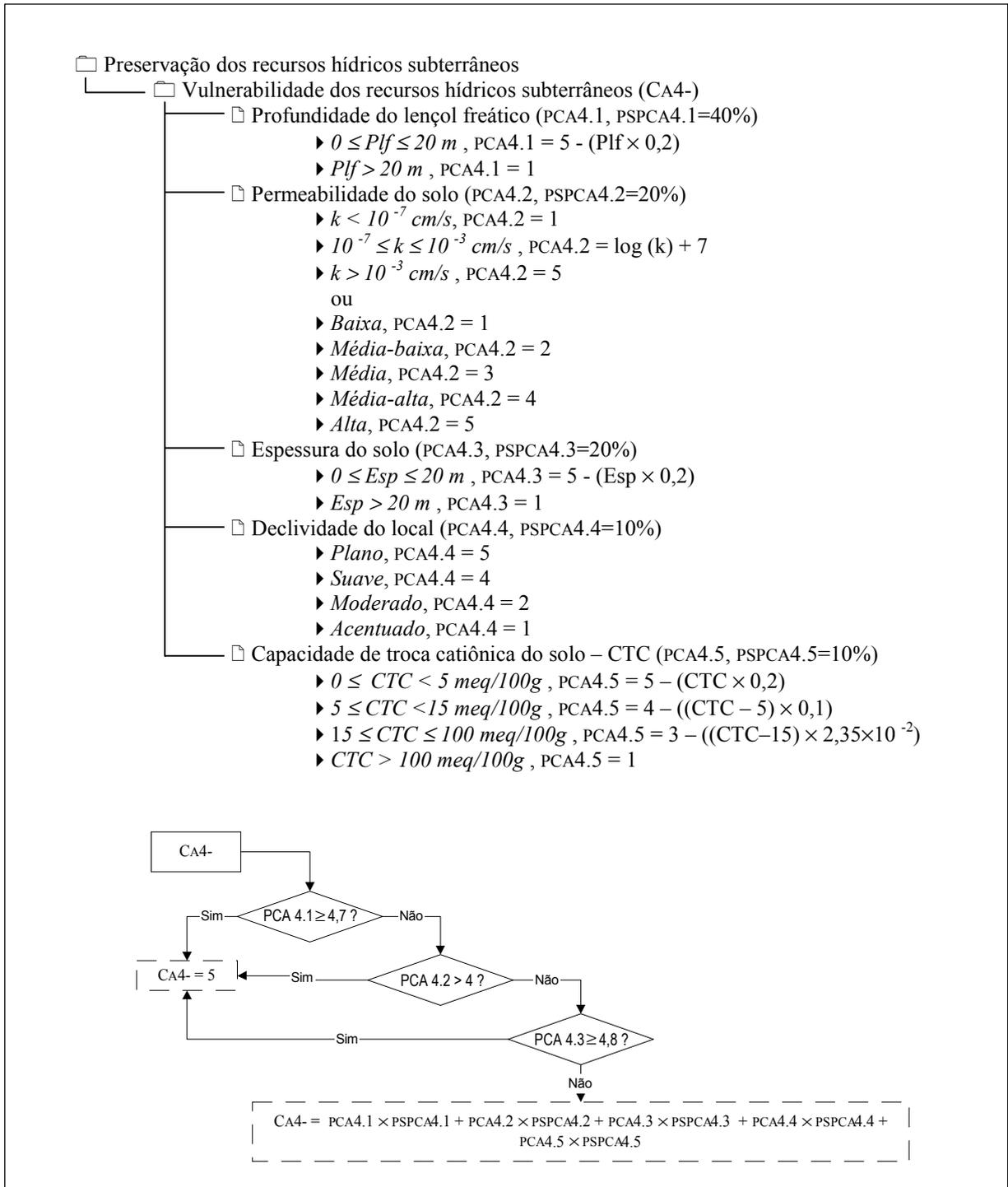


FIGURA 5.24 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO VULNERABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS (CA4-).

Preservação do solo: os trabalhos necessários para implantação e operação de um aterro sanitário podem vir a contribuir para o desequilíbrio das condições de estabilidade natural dos solos e por consequência aumentar os processos erosivos aos quais uma área está sujeita. A fim de avaliar a fragilidade das áreas pretendidas em relação aos processos erosivos, foi estabelecido o critério susceptibilidade à erosão, avaliado em função da classe textural do solo predominante e declividade do local.

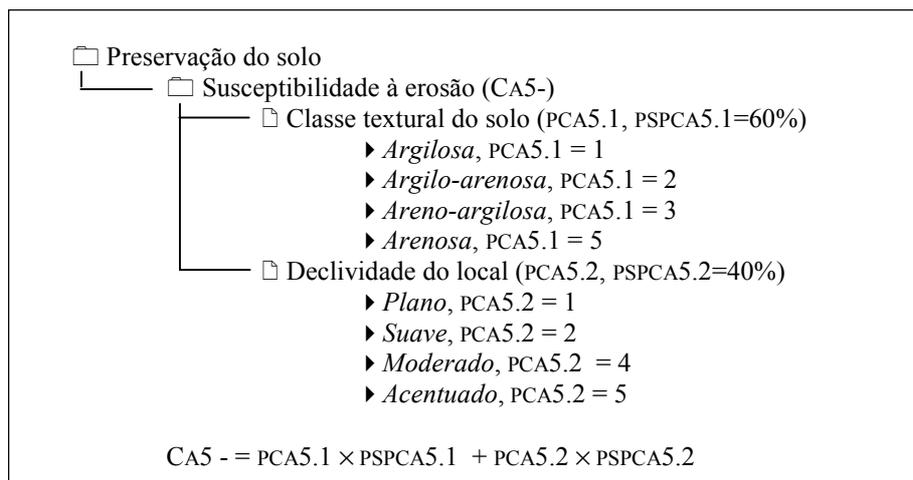


FIGURA 5.25 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO SUSCEPTIBILIDADE À EROSÃO (CA5-).

Preservação da vegetação: a implantação do aterro sanitário deve causar o mínimo impacto possível sobre a flora regional, buscando ao máximo a preservação das vegetações primárias com alto grau de regeneração. O aspecto da preservação da vegetação na escolha locacional foi considerado através do critério *alteração da flora*, cuja avaliação é feita em virtude da cobertura vegetal do local pretendido.

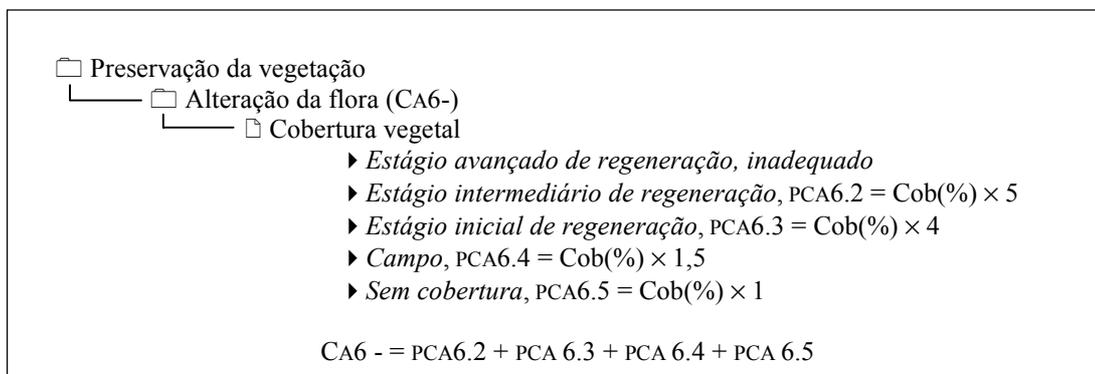


FIGURA 5.26 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO ALTERAÇÃO DA FLORA (CA6-).

Menor poluição sonora: a minimização da poluição sonora em virtude da distância em relação as áreas urbanas ou núcleos populacionais mais próximos e da existência de barreiras à propagação foi considerada através do critério atenuação da poluição atmosférica.

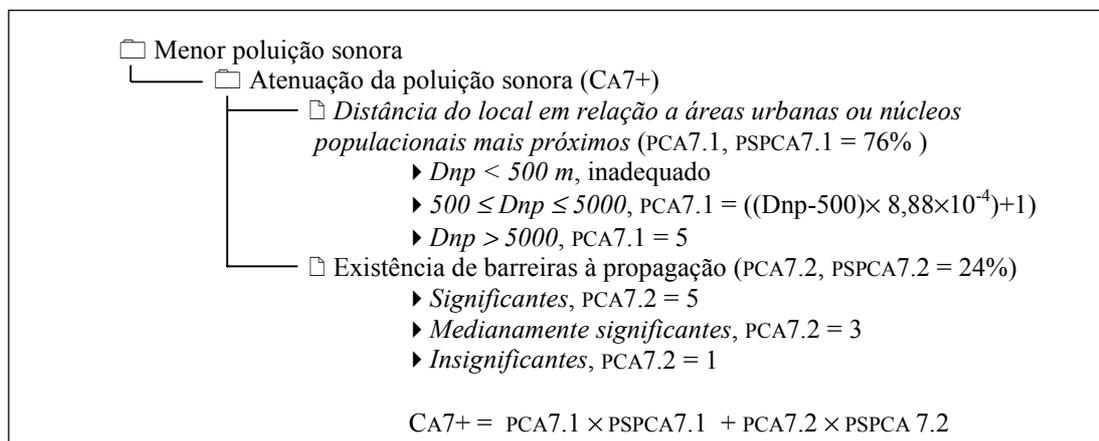


FIGURA 5.27 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO ATENUAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA (CA7+).

Menor alteração das atividades e características locais: a inserção do aterro sanitário não deve interferir negativamente nas atividades e características antrópicas do município (agricultura, pecuária, lazer, cultura, patrimônio histórico, arqueológico, etc.). Este aspecto foi considerado na escolha locacional através do critério alteração das atividades e características locais, avaliado em virtude da influência (importância) da área para o município.

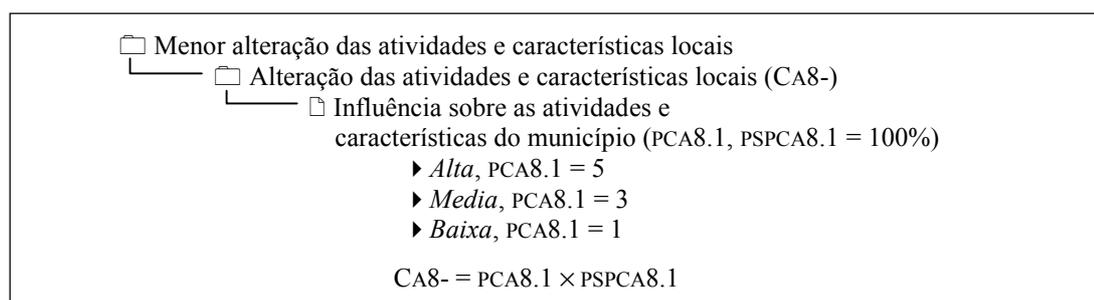


FIGURA 5.28 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO ALTERAÇÃO DAS ATIVIDADES LOCAIS(CA8-).

QUADRO 5.6 – RESUMO DA ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO SEGUNDO CRITÉRIOS AMBIENTAIS.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CRITÉRIOS	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO LOCACIONAL
Menor impacto visual em virtude da alteração da paisagem local	Atenuação do impacto visual negativo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Distância do local em relação a áreas urbanas ou núcleos populacionais mais próximos ▪ Visibilidade do local
Menor poluição atmosférica em virtude da propagação de gases na direção dos núcleos populacionais.	Atenuação da poluição atmosférica/odores	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Direção dos ventos predominantes ▪ Distância do local em relação a áreas urbanas ou núcleos populacionais mais próximos ▪ Existência de barreiras à propagação
Preservação dos recursos hídricos superficiais	Vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Distância do recurso hídrico superficial mais próximo ▪ Classe do recurso hídrico superficial mais próximo ▪ Número de recursos hídricos superficiais próximos à área ▪ Declividade do local
Preservação dos recursos hídricos subterrâneos	Vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Profundidade do lençol freático ▪ Permeabilidade do solo ▪ Espessura do solo ▪ Declividade do local ▪ Capacidade de troca catiônica do solo
Preservação do solo	Susceptibilidade à erosão	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Classe textural ▪ Declividade do local
Preservação da vegetação	Alteração da flora	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cobertura vegetal
Menor poluição sonora em virtude da operação do aterro	Atenuação da poluição sonora	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Distância do local em relação a áreas urbanas ou núcleos populacionais mais próximos ▪ Existência de barreiras à propagação
Menor alteração das atividades e características locais	Alteração das atividades e características locais	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Influência sobre as atividades e características do município

5.2.3.3 Estrutura de avaliação segundo critérios de engenharia

Objetivo Geral

Escolha da alternativa locacional cujo arranjo e característica dos atributos (físicos, bióticos e antrópicos) ofereçam menor complexidade técnica em termos de concepção, implantação e operação do aterro sanitário.

Objetivos específicos, critérios e parâmetros de avaliação

Maior horizonte de projeto: a escolha de locais para implantação de aterros sanitários deve favorecer os locais que permitam um maior horizonte de projeto e conseqüente tempo de operação. A avaliação desta característica locacional foi considerada através do critério capacidade em receber resíduos, função da vida útil do local.

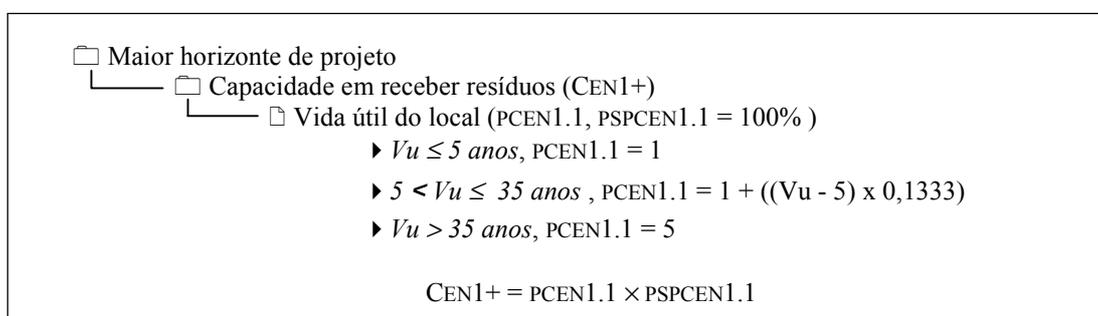


FIGURA 5.29 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO CAPACIDADE EM RECEBER RESÍDUOS (CEN1+).

Maior simplicidade para implantação do aterro: a complexidade de concepção e implantação de um aterro sanitário deve ser compatível com os recursos técnicos (humanos e materiais) disponíveis na comunidade atendida. Com o objetivo de avaliar as áreas em função da complexidade exigida para implantação e posterior operação do aterro, foi estabelecido o critério simplicidade para implantação do aterro. Neste sentido as áreas são avaliadas em função da mensuração dos seguintes parâmetros: remoção da cobertura vegetal, profundidade do lençol freático, pedregosidade, declividade do local, espessura e classe textural do solo.

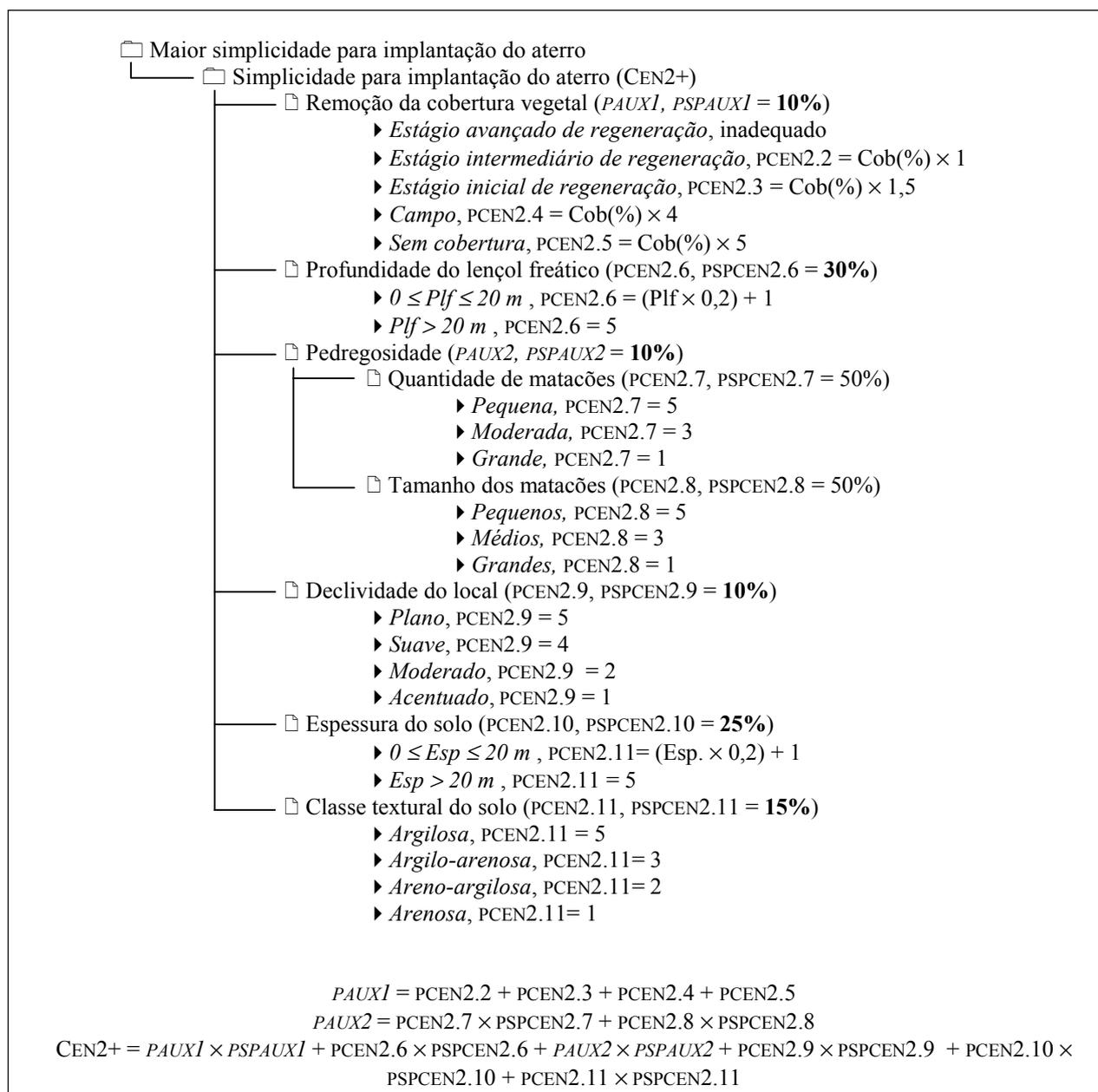


FIGURA 5.30 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO SIMPLICIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRAMENTO (CEN2+).

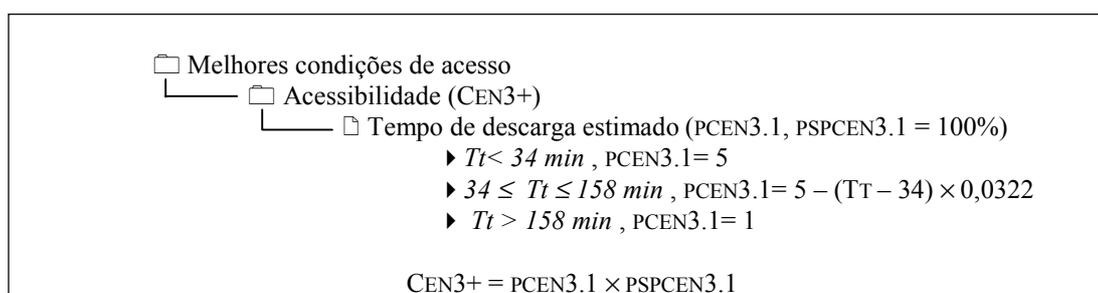


FIGURA 5.31 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO ACESSIBILIDADE (CEN3+).

Melhores condições de acesso: a localização da área e os respectivos acessos não devem representar um obstáculo técnico para implantação e operação do aterro. Neste sentido a acessibilidade foi considerada como um critério para avaliação locacional em função do tempo estimado para descarga dos resíduos (figura 5.31).

QUADRO 5.7 – RESUMO DA ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO SEGUNDO CRITÉRIOS DE ENGENHARIA.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CRITÉRIOS	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO LOCACIONAL
Maior horizonte de projeto	Capacidade em receber resíduos	▪ Vida útil do local
Maior simplicidade para implantação do aterro	Simplicidade para implantação do aterro	▪ Remoção da cobertura vegetal ▪ Profundidade do lençol freático ▪ Pedregosidade ▪ Declividade do local ▪ Espessura do solo ▪ Classe textural do solo
Melhores condições de acesso	Acessibilidade	▪ Tempo de descarga estimado

5.2.3.4 Estrutura de avaliação segundo critérios econômicos

Objetivo Geral

Escolha da alternativa locacional cujo arranjo e característica dos atributos (físicos, bióticos e antrópicos) impliquem em menores custos nas etapas de implantação e operação do aterro sanitário para o município.

Objetivos específicos, critérios e parâmetros de avaliação

Menores custos com aquisição do terreno: a aquisição do terreno constitui um dos principais custos de investimento variável em função da escolha locacional, justificando desta maneira a avaliação deste critério no processo decisório.

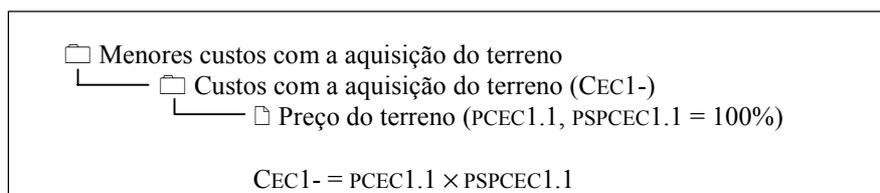


FIGURA 5.32 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO ACESSIBILIDADE (CEN3+).

Menores custos para adequação do local: um dos objetivos da escolha locacional do ponto de vista econômico consiste na escolha de locais cuja necessidade de adequação através de obras de engenharia sejam mínimas em virtude de suas características naturais e infra-estrutura existente. A mensuração do critério custos para adequação do local, é realizada através do desmembramento do critério em parâmetros quantitativos e qualitativos de avaliação, descritos na figura 5.33 abaixo:

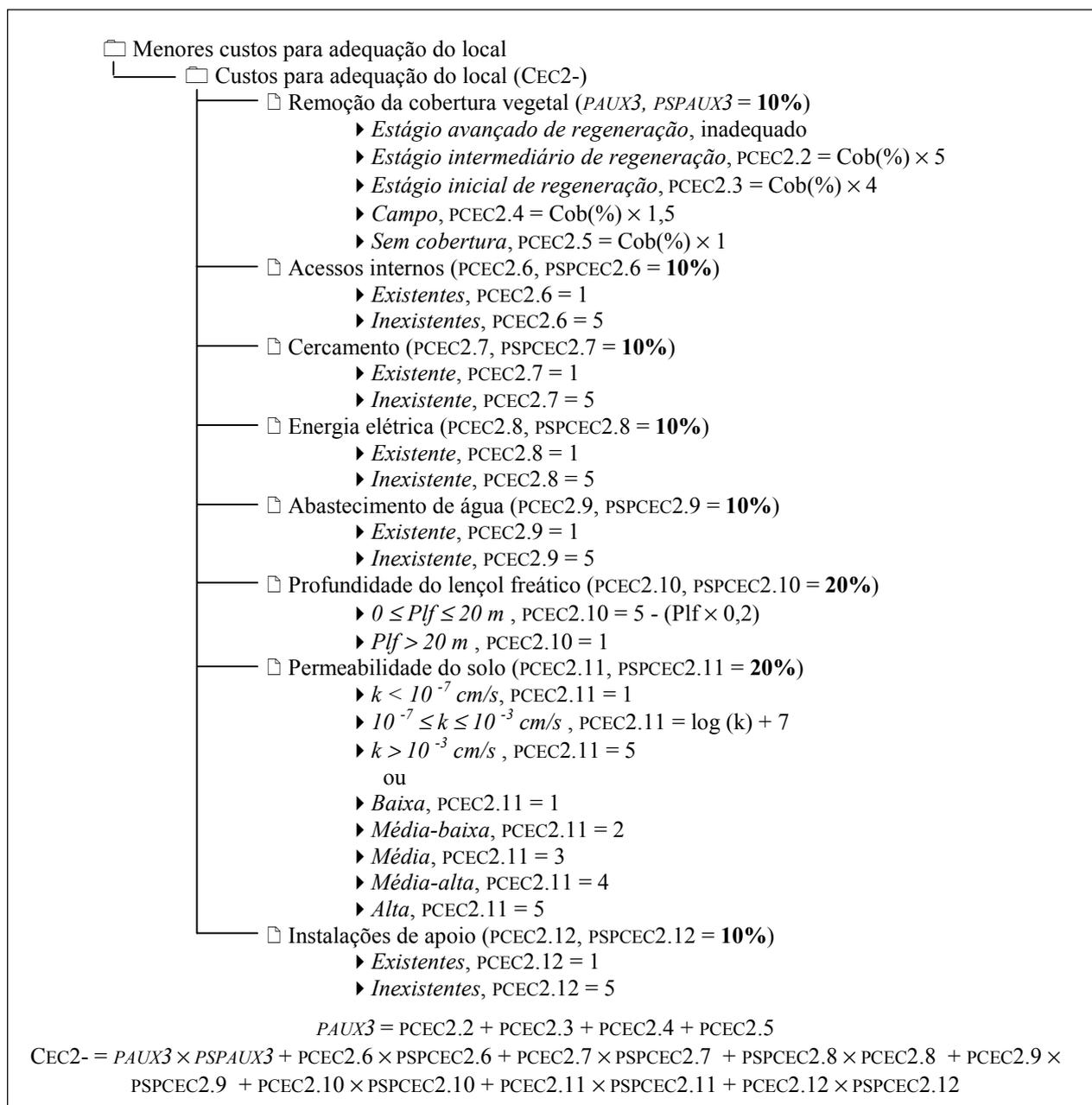


FIGURA 5.33 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO CUSTOS PARA ADEQUAÇÃO DO LOCAL (CEC2-).

Menores custos com material de cobertura: os gastos com transporte e aquisição do material de cobertura constituem um dos principais custos de operação do aterro sanitário variável em função da escolha locacional. Com o objetivo de avaliar os locais com relação a este aspecto econômico foi estabelecido o critério *custos com material de cobertura*, o qual é composto dos parâmetros distância do local até jazidas e custo do material.

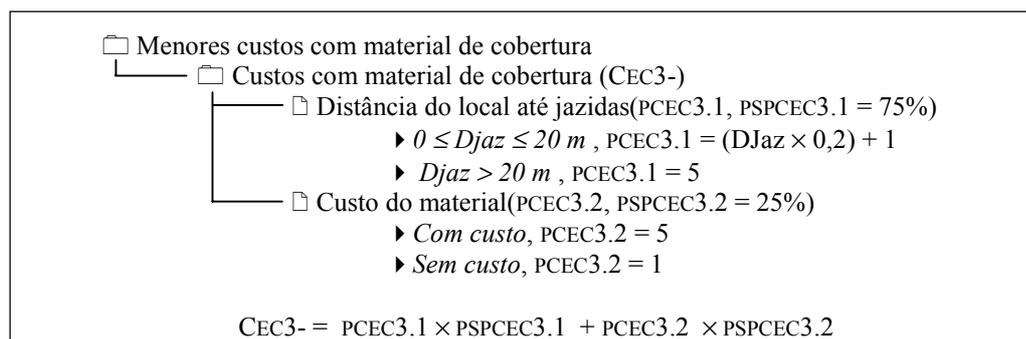


FIGURA 5.34 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO CUSTOS COM MATERIAL DE COBERTURA (CEC3-).

Menores custos com transporte de resíduos: a localização da área em relação ao centro produtor tem influência direta sobre os aspectos econômicos do serviço de coleta de resíduos no município, desta maneira a avaliação dos *custos com transporte de resíduos* foi estabelecida em função da distância percorrida do centro produtor até o local e da cota do local em relação ao centro produtor.

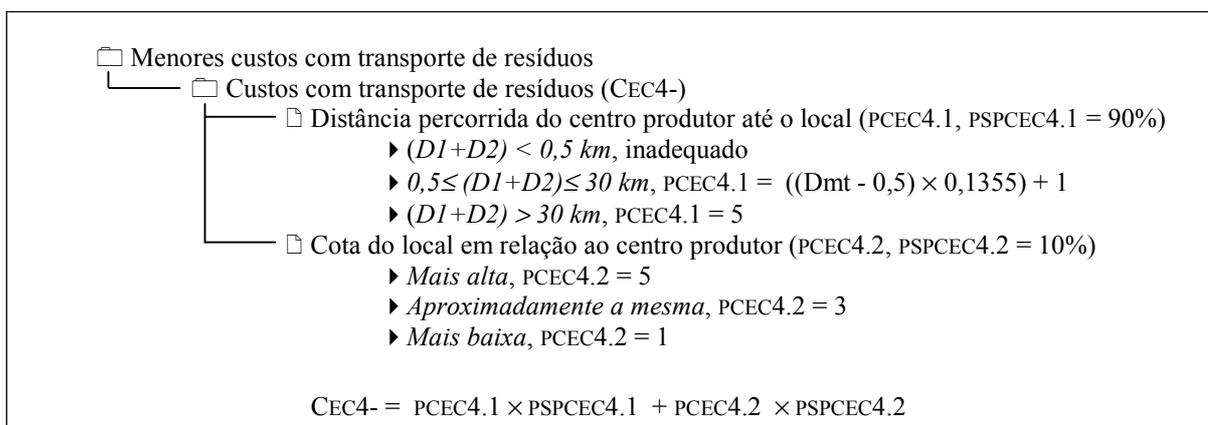


FIGURA 5.35 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO CUSTOS COM TRANSPORTE DE RESÍDUOS (CEC4-).

Menor desvalorização da terra: este objetivo prioriza a escolha por locais com baixa especulação econômica (áreas degradadas, áreas de exploração abandonadas, etc.). A fim de avaliar a possível desvalorização de um local em virtude da implantação do aterro foi considerado o parâmetro qualitativo especulação econômica⁵⁴ do local.

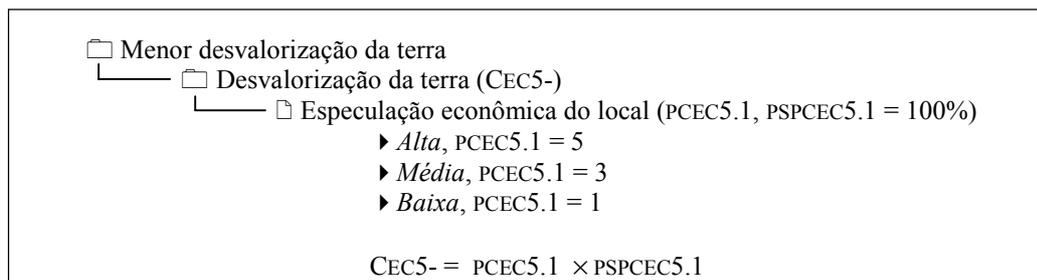


FIGURA 5.36 – ESTRUTURA DO CRITÉRIO CUSTOS COM MATERIAL DE COBERTURA (CEC5-).

QUADRO 5.8 – RESUMO DA ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO SEGUNDO CRITÉRIOS ECONÔMICOS.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CRITÉRIOS	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO LOCACIONAL
Menores custos com a aquisição do terreno	Custos com a aquisição do terreno	▪ Preço do terreno
Menores custos para adequação do local	Custos para adequação do local	▪ Remoção da cobertura vegetal ▪ Acessos internos ▪ Cercamento ▪ Energia elétrica ▪ Abastecimento de água ▪ Profundidade do lençol freático ▪ Permeabilidade do solo ▪ Instalações de apoio
Menores custos com material de cobertura	Custos com material de cobertura	▪ Distância do local até jazidas ▪ Custo do material
Menores custos com transporte de resíduos	Custos com o transporte de resíduos	▪ Distância do centro produtor até o local ▪ Cota do local em relação ao centro produtor
Menor desvalorização da terra	Desvalorização da terra	▪ Especulação econômica do local

⁵⁴ Os custos de aquisição podem não ser sempre proporcionais à especulação econômica de um local, a exemplo de um terreno de propriedade da própria prefeitura localizado em área de grande interesse econômico.

5.2.3.5 Procedimentos de avaliação

A etapa de avaliação das áreas potenciais consiste no cruzamento dos dados informados pelo usuário (armazenados na base de dados) com os conhecimentos de avaliação multicritério estruturados. Neste sentido, o sistema permite a realização de dois tipos de avaliações multicritério sobre as áreas potenciais: a avaliação da adequação de uma área ou avaliação comparativa entre áreas a fim de selecionar a melhor alternativa.

Avaliação da adequação de uma área

A avaliação da adequação de uma área consiste em verificar a adequação da área com relação aos critérios estabelecidos, sendo realizada em duas etapas. No primeiro momento procede-se uma avaliação específica para cada critério baseado na comparação do valor agregado (C)⁵⁵ com as escalas de referências estabelecidas no sistema, representadas nas figuras 5.37 e 5.38:

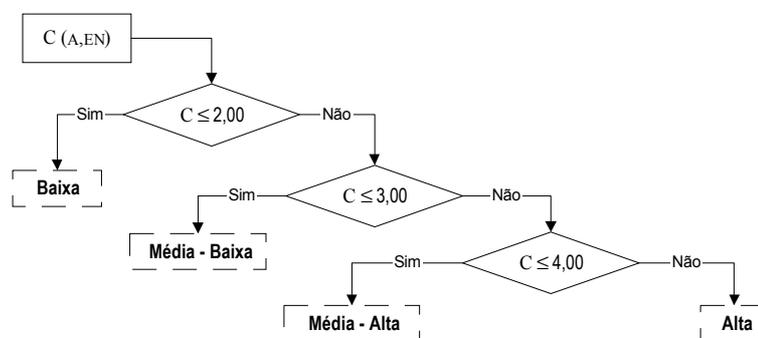


FIGURA 5.37 – REFERÊNCIAS UTILIZADAS PARA AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS AMBIENTAIS E DE ENGENHARIA.

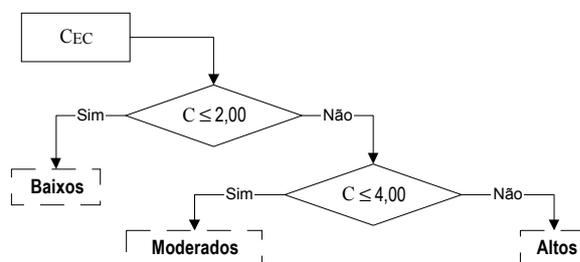


FIGURA 5.38 – REFERÊNCIAS UTILIZADAS PARA AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS ECONÔMICOS.

⁵⁵ Procedimento descrito na seção 5.2.3.1 Estruturação dos critérios e agregação dos parâmetros.

Após a avaliação individual dos critérios, procede-se uma avaliação final⁵⁶ da área com base na comparação do valor agregado final dos critérios (CF) com a escala de referência representada na figura 5.39. No caso específico da agregação dos critérios (equações 5.8 e 5.9), optou-se pela utilização do produto ponderado uma vez que os resultados obtidos demonstraram ser mais conservativos quando comparados com os obtidos através da aplicação da média ponderada.

$$CFA = CA1^{PSCA1} \times CA2^{PSCA2} \times (6 - CA3)^{PSCA3} \times (6 - CA4)^{PSCA4} \times (6 - CA5)^{PSCA5} \times (6 - CA6)^{PSCA6} \times CA7^{PSCA7} \times CA8^{PSCA8} \quad (5.8)$$

$$CFEN = CEN1^{PSCEN1} \times CEN2^{PSCEN2} \times CEN3^{PSCEN3} \quad (5.9)$$

Na equação 5.8 a performance dos critérios é uniformizada tendo em vista o método de agregação utilizado, desta maneira os valores dos critérios CA3, CA4, CA5, CA6 são invertidos⁵⁷ conforme demonstra a equação.

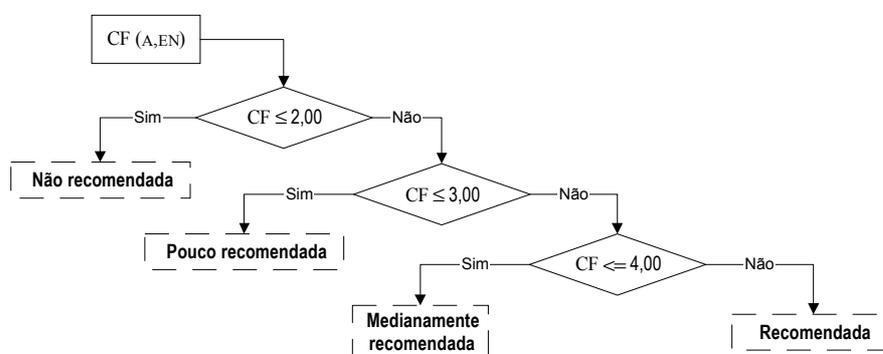


FIGURA 5.39 – REFERÊNCIAS UTILIZADAS PARA AVALIAÇÃO DAS ÁREAS SEGUNDO CRITÉRIOS AMBIENTAIS E DE ENGENHARIA.

⁵⁶ A avaliação final da área sobre critérios econômicos fica a cargo do usuário do sistema, uma vez que a modelagem do sistema não abrange a avaliação do preço do terreno.

⁵⁷ O valor agregado dos critérios varia de 1 a 5, neste sentido a inversão realizada corresponde a expressão: $y = 6 - x$.

Avaliação comparativa entre áreas

Esta função permite ao usuário realizar avaliações comparativas entre áreas segundo um grupo de critérios definido (ambientais, de engenharia ou econômicos), ou ainda proceder a uma avaliação geral envolvendo todos os critérios. O método de agregação selecionado para agregação dos critérios, correspondeu à média ponderada modificada, tendo em vista a maior estabilidade apresentado aos possíveis efeitos da mudança de escala de critérios⁵⁸.

A primeira etapa da avaliação comparativa entre áreas consiste na definição dos critérios de avaliação e das ações (áreas) a avaliar, estes elementos formarão a matriz de avaliações. O quadro 5.9 abaixo, apresenta a notação utilizada para representação da matriz de avaliações.

QUADRO 5.9 – NOTAÇÃO UTILIZADA PARA MATRIZ DE AVALIAÇÕES.

	C_1	C_2	..	C_j
A_1	$C_{1,1}$	$C_{2,1}$..	$C_{j,1}$
A_2	$C_{2,1}$	$C_{2,2}$..	$C_{j,2}$
\vdots	\vdots	\vdots	..	\vdots
A_n	$C_{1,N}$	$C_{2,N}$..	$C_{j,N}$
	PSC_1	PSC_2	..	PSC_j

Nota: A_n (ações/áreas), C_j (critérios),
 $C_{j,n}$ (valor do critério j em relação a área n) e PSC_j (peso do critério j).

Uma vez definida a matriz de avaliações, solicita-se ao usuário a ponderação dos respectivos critérios. Nesta etapa, o sistema apresenta uma função de apoio ao usuário para estimativa da importância relativa entre critérios. Nesta função, o usuário atribui notas de importância (numa escala de 1 a 10) aos critérios. A ponderação correspondente a cada critério (PSC) neste caso, equivale ao valor obtido pela divisão da nota do critério (IC) pelo somatório de todas as notas (ICT).

Na seqüência as figuras 5.40 e 5.41 apresentam os fluxogramas correspondentes as etapas de composição da matriz de avaliação e ponderação dos critérios da etapa de avaliação comparativa entre áreas.

⁵⁸ Descrito em *Procedimento de agregação* na seção 3.3.5 *Processo*.

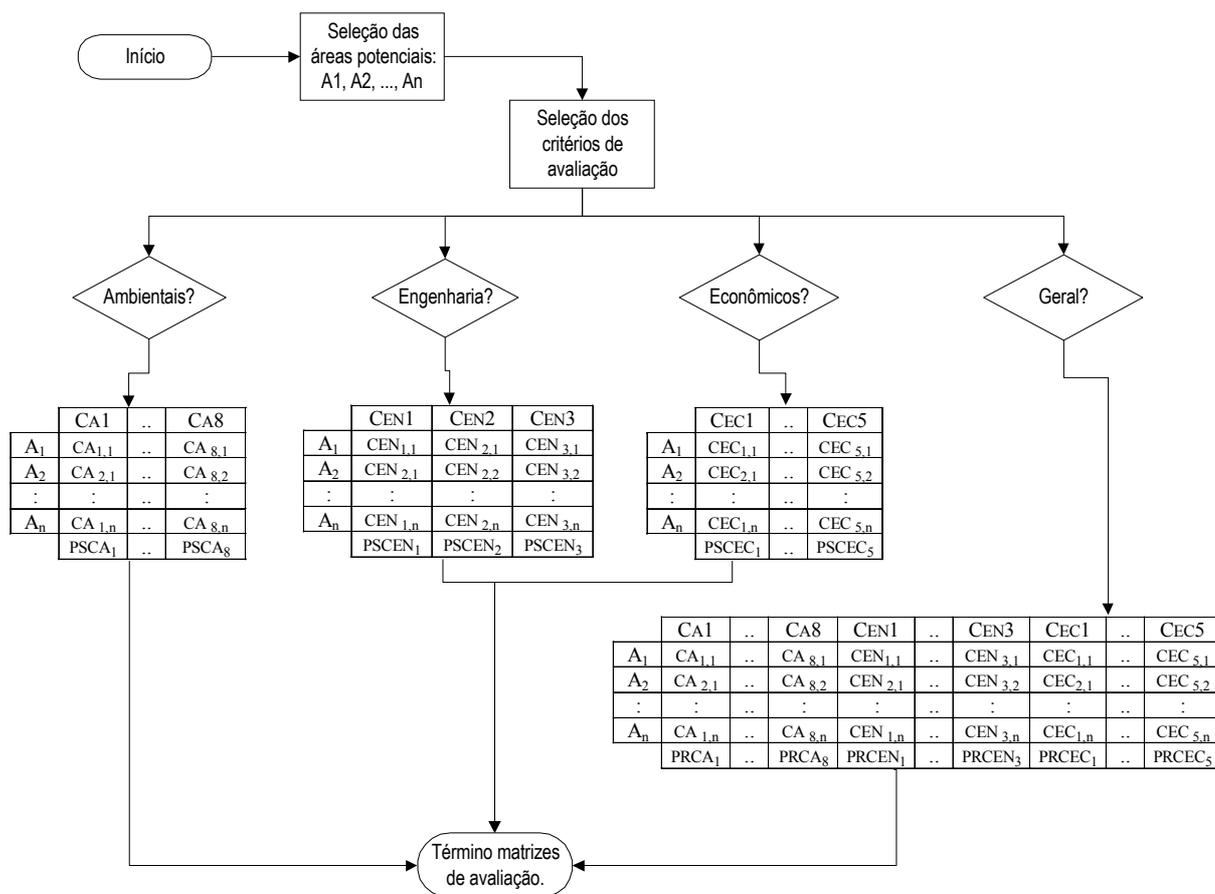


FIGURA 5.40 – FLUXOGRAMA REFERENTE A COMPOSIÇÃO DA MATRIZ DE AVALIAÇÃO.

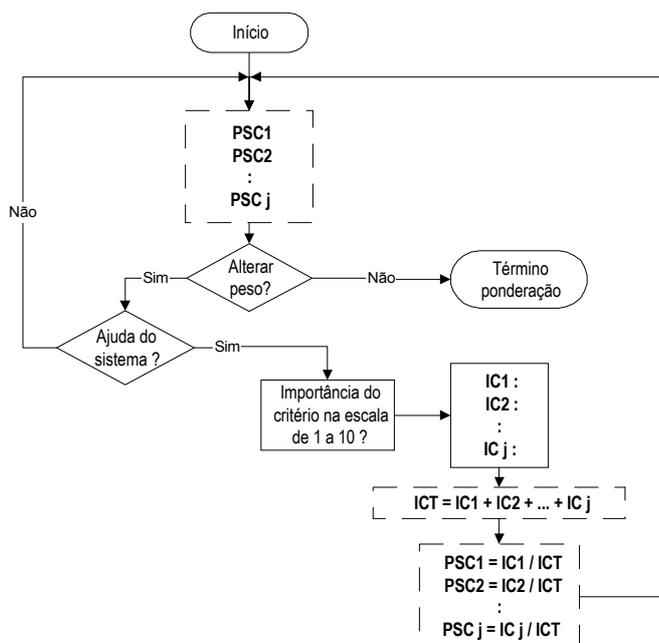


FIGURA 5.41 – FLUXOGRAMA REFERENTE A PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS.

No caso do usuário escolher a avaliação geral (todos os critérios), o modelo solicita a definição da importância relativa dos grupos de critérios na tomada de decisão: ambientais (PGCA), de engenharia (PGCEN) e econômicos (PGCEC). Desta maneira, os pesos dos critérios (anteriormente definidos) são recalculados em função da importância relativa definida para o grupo de critérios, conforme as equações 5.10 e 5.11 abaixo:

$$PGCA + PGCEN + PGCEC = 1 \quad (5.10)$$

$$PRC_j = PSC_j \times PGC \quad (5.11)$$

Onde,

PGC = Peso do grupo de critérios, PRC = Peso relativo do critério.

A última etapa da avaliação comparativa entre áreas, consiste na aplicação do método de agregação e apresentação dos resultados, representados na figura 5.42 a seguir:

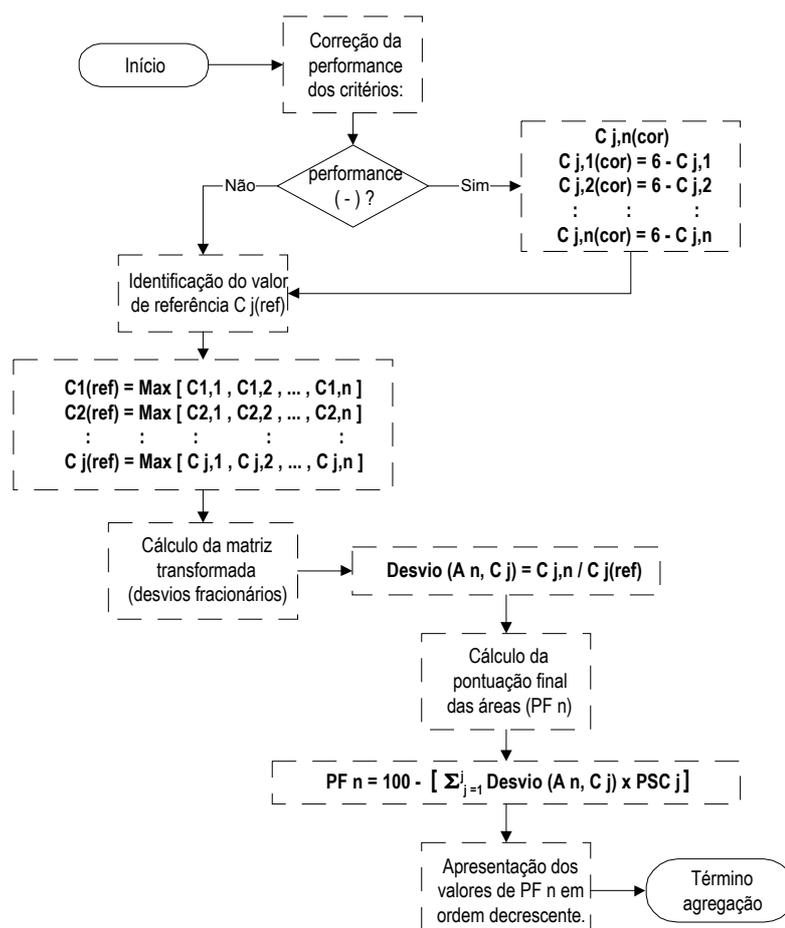


FIGURA 5.42 – FLUXOGRAMA REFERENTE A AGREGAÇÃO DOS CRITÉRIOS.

5.2.4 *Etapa 4: Apoio à implantação*

Cálculo da projeção dos resíduos sólidos urbanos e vida útil

A projeção dos resíduos sólidos urbanos constitui uma informação de apoio para o gerenciamento dos resíduos sólidos no município. Para o cálculo da projeção dos resíduos sólidos, o sistema utiliza os dados solicitados ao usuário na etapa de caracterização do município: população (Pop1), taxa de crescimento populacional (Ip), produção *per capita* de resíduos (PPC), taxa de crescimento da produção per capita (Ippc), taxa de desvio das coletas especiais (D), taxa de crescimento das coletas especiais (Id), taxa de atendimento das coletas especiais (A), taxa de crescimento da coleta convencional (Ia), densidade dos r.s.u após coleta (Dcol), densidade de compactação (Dcomp), fator de cobertura (Cob) e densidade de estabilização (Desta).

Desta maneira a projeção dos resíduos sólidos urbanos é calculada através da aplicação de um procedimento iterativo (quadro 5.10) sobre os dados anteriormente citados. O número de iterações do processo corresponde ao número de anos da projeção (n) informado pelo usuário.

A vida útil por sua vez, é calculada com base na projeção de resíduos e na capacidade volumétrica do local (*Vol*) informada na etapa de cadastro das informações complementares, através do procedimento representado no quadro 5.11 na seqüência . O número de iterações necessárias para igualar o valor da projeção de resíduos com o valor da capacidade volumétrica do local, corresponderá a vida útil (em anos) do local selecionado pelo usuário.

QUADRO 5.10 – MATRIZ ITERATIVA PARA CÁLCULO DA PROJEÇÃO DE RESÍDUOS.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Ano	População (hab)	P.P.C. (Kg/habxdia)	R.S.U. (Kg/dia)	Tx. desvio col. espec. (%)	R.S.U. p/ Col. Conv. (Kg/dia)	Tx. atend. col. conv. (%)	R.S.U. p/ Disp. Final (Kg/dia)	R.S.U. p/ Disp. Final (Kg/ano)	R.S.U. (m3/ano)	R.S.U. compactado (m3/ano)	Material Cobertura (m3/ano)	R.S.U. Estabiliz. (m3/ano)	R.S.U. Final (m3/ano)	R.S.U. Acumulado (m3/ano)	
1	0	Pop1	PPC	B1×C1	D	D1-(D1×E1)	A	F1×G1	H1×365	I1×(1/Dcol)	I1×(1/Dcomp)	K1×Cob	SE (Dcomp≤600) ENTÃO (I1×(1/Desta)) SE NÃO(K1)	L1+M1	
2	1	Pop1×(1+ Ip) ^{A2}	PPC×(1+ Ippc) ^{A2}	B2×C2	D×(1+ Id) ^{A2}	D2-(D1×E2)	A×(1+ Ia) ^{A2}	F2×G2	H2×365	I2×(1/Dcol)	I2×(1/Dcomp)	K2×Cob	SE (Dcomp≤600) ENTÃO (I1×(1/Desta)) SE NÃO(K1)	L2+M2	N2
3	2	Pop1×(1+ Ip) ^{A3}	PPC×(1+ Ippc) ^{A3}	B3×C3	D×(1+ Id) ^{A3}	D3-(D1×E3)	A×(1+ Ia) ^{A3}	F3×G3	H3×365	I3×(1/Dcol)	I3×(1/Dcomp)	K3×Cob	SE (Dcomp≤600) ENTÃO (I1×(1/Desta)) SE NÃO(K1)	L3+M3	O2+N3
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
j	n	Pop1×(1+ Ip) ^{Aj}	PPC×(1+ Ippc) ^{Aj}	Bj×Cj	D×(1+ Id) ^{Aj}	Dj-(D1×Ej)	A×(1+ Ia) ^{Aj}	Fj×Gj	Hj×365	Ij×(1/Dcol)	Ij×(1/Dcomp)	Kj×Cob	SE (Dcomp≤600) ENTÃO (I1×(1/Desta)) SE NÃO(K1)	Lj+Mj	O(j-1)+Nj

(1) n = número de anos da projeção definidos pelo usuário.

(2) Pop1, Ip, PPC, Ippc, D, Id, A, Ia, Dcol, Dcomp, Cob, Desta = parâmetros armazenados na base de dados (Seção 5.3.1 Caracterização do Município).

(3) Referências em vermelho indicam o valor correspondente a célula da matriz, ex. A2 (coluna A, linha 2) = 1.

QUADRO 5.11 – MATRIZ ITERATIVA PARA CÁLCULO DA VIDA ÚTIL.

	A	B ... M	N	O	P	Q
Ano	...	R.S.U. Final (m3/ano)	R.S.U. Acumulado (m3/ano)	Volume Disponível (m3/ano)	Vida útil (anos)	
1	0	...	L1+M1	--	Vol	--
2	1	...	L2+M2	N2	SE (O2 ≤ P1) ENTÃO (P1 - O2) SE NÃO(para rotina)	SE (P2 = verdadeiro) ENTÃO (A2) SE NÃO(A1)
:	:	...	:	:	:	:
j	M	...	Lj+Mj	O(j-1)+Nj	SE (Oj ≤ P1) ENTÃO (P1 - Oj) SE NÃO(para rotina)	SE (Pj = verdadeiro) ENTÃO (Aj) SE NÃO(A(j-1))

6 CODIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MODELO

Neste capítulo são apresentados os resultados das últimas etapas do desenvolvimento do sistema de apoio à decisão em escolha de áreas. Na primeira seção, referente a codificação do modelo anteriormente estruturado, são apresentados os resultados obtidos no ambiente informático adotado. Na seção seguinte, são apresentados os resultados das avaliações técnicas realizadas sobre o modelo estruturado.

6.1 PROTÓTIPO INFORMATIZADO

As figuras 6.1 a 6.10 na seqüência, apresentam as principais funções do protótipo *SADES* (*Sistema de Apoio à Decisão em Escolha de áreas para aterros sanitários*), resultado da etapa de codificação de conhecimentos.

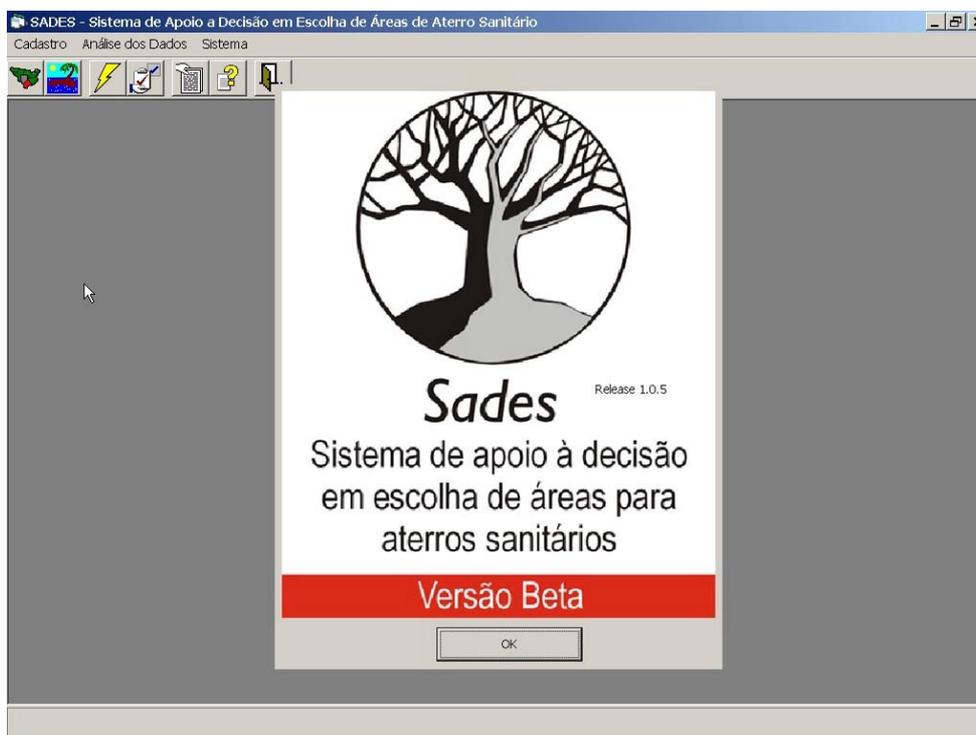


FIGURA 6.1 – TELA DE ABERTURA E MENU COM FUNÇÕES PRINCIPAIS.

Etapa 1: Caracterização do Município

Caracterização Município - Cadastro

Aspectos Demográficos | **Gerenc. dos Resíduos Sólidos Urbanos**

Serviço de Coleta | **Aspectos Quantitativos** | Disposição Final

Produção per capita | Densidade dos Resíduos Sólidos Urbanos

A produção per capita de resíduo é conhecida?
 Sim Não
 Produção per capita (Kg/habitante x dia):

A produção per capita foi obtida através de pesagens?
 Sim Não

Foi considerada a taxa de atendimento do serviço de coleta convencional?
 Sim Não

A prefeitura tem registro do crescimento da produção per capita nos últimos anos?
 Sim Não Crescimento Ano(%):

Para a Produção per capita:
 Adotar um valor com base em médias nacionais (menos preciso)
 Calcular um valor com base em dados do município (mais preciso)

Dados da Pesagem
 Coleta convencional(Kg):
 Coleta Especiais(Kg):
 Período da Pesagem (dias):

Atenção! O sistema irá calcular a produção per capita de resíduos com base nos seguintes dados obtidos através de medições em campo (Pesagem): Massa de resíduos da coleta convencional(kg), massa de resíduos das coletas especiais(kg) e o período de duração da pesagem (dias). O sistema irá considerar automaticamente a taxa de atendimento da coleta convencional.

Salvar Fechar

FIGURA 6.2 – INTERFACE REFERENTE A ETAPA DE CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO.

Etapa 2: Levantamento e triagem de áreas

Levantamento e Triagem de Áreas

Áreas cadastradas

Código	Nome	Status
56	Campo dos padres	Não Recomendada
250	Cerro Azul	Potencial
26	Fazenda Grande	Não Recomendada
48	Lajeado cinza	Potencial
1	Ribeirão das Pedras	Potencial

Excluir Nova área Editar Fechar

FIGURA 6.3 – FUNÇÕES RELACIONADAS A ETAPA DE LEVANTAMENTO E TRIAGEM DE ÁREAS.

Levantamento e Triagem de Áreas - Cadastro

Informações Iniciais | **Informações Complementares**

Atributos Físicos | Atributos Antrópicos

Solo 1/2 | **Solo 2/2** | Recursos Hídricos/Relevo/Clima

O valor do coeficiente de permeabilidade do solo (K) é conhecido?
 Sim Não cm/s

A permeabilidade predominante do solo pode ser classificada como:
 Alta Média Baixa
 Média-alta Média-baixa Não sei

A estrutura do solo pode ser classificada como compacta:
 Sim Não

A porosidade do solo pode ser classificada como:
 Alta Média Baixa Não sei

A quantidade de poros do solo pode ser considerada:
 Alta Média Baixa

Os poros do solo pode ser considerados:
 Grandes Médios Pequenos

O sistema avaliará a permeabilidade do solo com base nas sua estrutura e porosidade.

Avaliar | Salvar | Fechar

FIGURA 6.4 – INTERFACE REFERENTE AO CADASTRO DAS INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES DA ETAPA DE LEVANTAMENTO E TRIAGEM DE ÁREAS.

Análise da Área

RESULTADO DA TRIAGEM PRELIMINAR

Área Não Recomendada:

- Por estar localizada a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação em relação à base de um monte, morro ou montanha (Resolução CONAMA Nº 004, de 18 de setembro de 1985).
- Por ter declividade superior a 30 % (NBR 13896/1997 - Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação).

OK

FIGURA 6.5 – EXEMPLO DE AVALIAÇÃO PRELIMINAR DE UMA ÁREA.

Etapa 3: Avaliação das áreas potenciais

Avaliação de Áreas Potenciais - Área: Cerro Azul

Avaliação segundo:

Critérios ambientais Critérios de engenharia Critérios Econômicos

deCritério	Parâmetro	Valor Informado	Pontuação	Peso(%)
+ Alteração das atividades locais (-)				
+ Atenuação da poluição atmosférica/odores (+)				
- Atenuação da poluição sonora (+)				
	Distância do local em relação a áreas urbanas ou núcleos populacionais mais próximos (metros)	900	1,35	76
	Existência de barreiras à dispersão de poluentes	Média significância	3	24
- Atenuação do impacto visual negativo (+)				
	Distância do local em relação a áreas urbanas ou núcleos populacionais mais próximos (metros)	900	1,35	75
	Visibilidade do local	Parcialmente Visível	3	25
- Susceptibilidade à erosão (-)				
	Classe textural do solo	Argiloso	1	60
	Declividade do local	Suave	2	40
- Vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos (-)				
	Profundidade do lençol freático (metros)	10	3	40
	Permeabilidade do solo (cm/s)	0.001	4	20
	Espessura do solo (metros)	10	3	20
	Declividade do local	Suave	4	10
	Capacidade de troca catiônica do solo (cm/s)	20	2,88	10
- Vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais (-)				
	Distância do recurso hídrico superficial mais próximo (metros)	600	4,66	70

Área: Pontuação: **2,63** Avaliação: **POUCO RECOMENDADA**

Critério: **Susceptibilidade à erosão (-)**
 Pontuação: **1,4** Peso (%): **9** Avaliação: **BAIXA**

Imprimir ... Fechar

FIGURA 6.6 – EXEMPLO DE AVALIAÇÃO DA ADEQUAÇÃO DE UMA ÁREA EMITIDA PELO SISTEMA.

Avaliação de Áreas (Inclusão de novos pesos)

Critérios Ambientais (%) Critérios Engenharia (%) Critérios Econômicos (%)

CA1 - Atenuação impacto visual negativo: 12,5

CA2 - Atenuação poluição atmosférica: 12,5

CA3 - Vulnerabilidade dos r.h. superficiais: 12,5

CA4 - Vulnerabilidade dos r.h. subterrâneos: 12,5

CA5 - Susceptibilidade a erosão: 12,5

CA6 - Alteração da flora: 12,5

CA7 - Atenuação poluição sonora: 12,5

CA8 - Alteração das atividades locais: 12,5

Estimar pesos com ajuda do sistema

Definir importância de cada critério

Fechar

FIGURA 6.7 – INTERFACE DE ENTRADA DA PONDERAÇÃO DE CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO ENTRE ÁREAS.

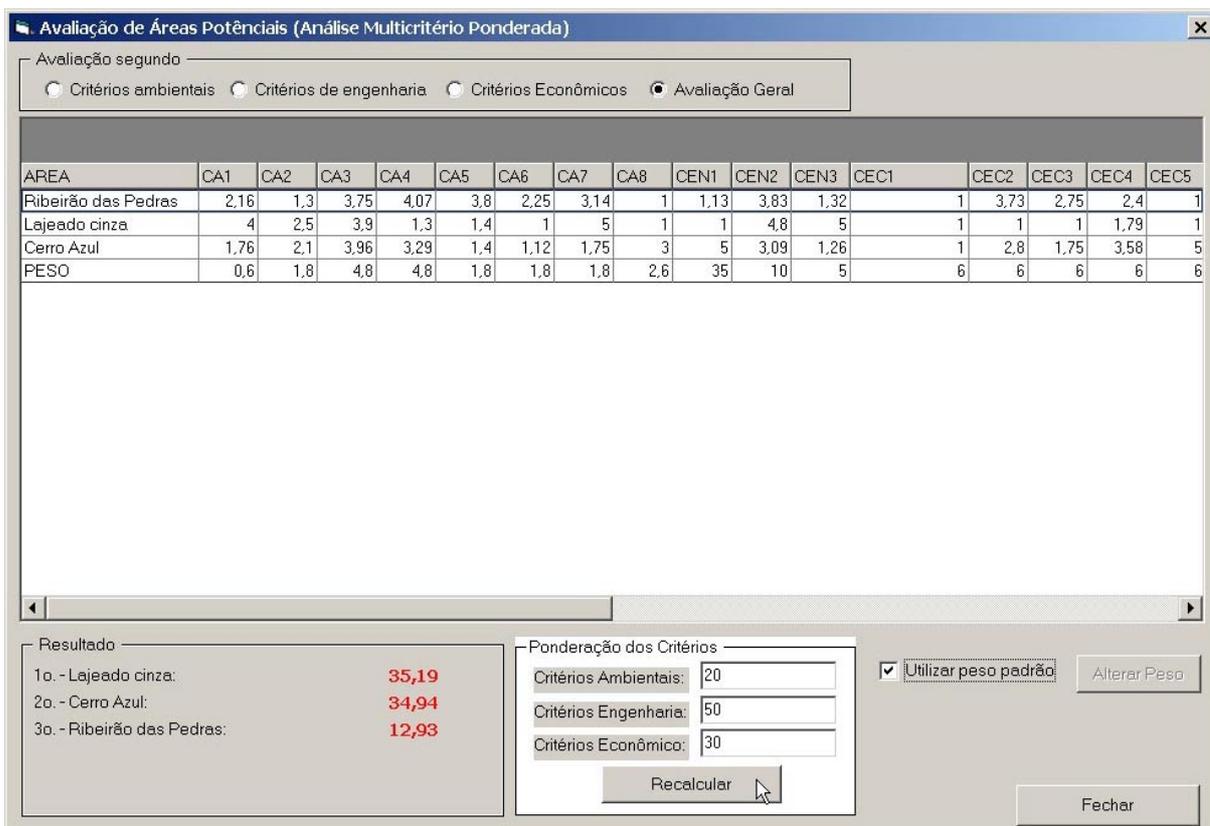


FIGURA 6.8 – EXEMPLO DOS RESULTADOS DE UMA AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE ÁREAS.

Etapa 4: Apoio à implantação

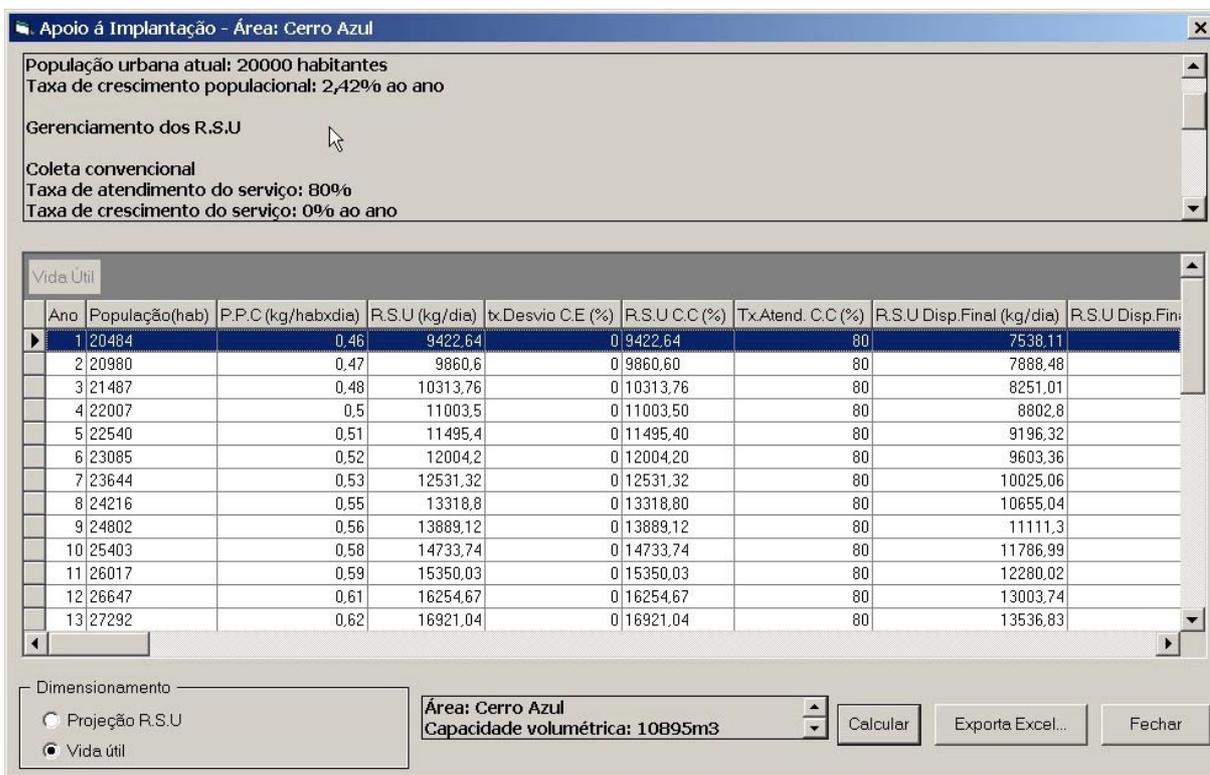


FIGURA 6.9 – EXEMPLO DE RESULTADO REFERENTE AO CÁLCULO DA VIDA ÚTIL PARA UMA ÁREA POTENCIAL.

Aspectos Quantitativos	Disposição Final	Administração
Média nacional produção per capta		
Taxa crescimento produção per capta referência nacional (%)		
Densidade R.S.U com base no caminhão compactador (kg/m3):		
Densidade R.S.U com base no caminhão caçamba		

FIGURA 6.10 – INTERFACE DE ACESSO AOS PARÂMETROS DO SISTEMA.

6.2 AVALIAÇÃO

A avaliação técnica realizada sobre o sistema consistiu de duas etapas principais: (a) verificar a sensibilidade e coerência das respostas emitidas pelo modelo e (b) verificar tecnicamente a correspondência entre o protótipo informatizado e o modelo conceitual estruturado. Os resultados referentes a primeira etapa da avaliação são apresentados na seção 6.2.1. O procedimento de verificação técnica, por sua vez, foi conduzido até a obtenção do *release*⁵⁹ 1.0.6 do sistema.

6.2.1 Análise de sensibilidade

Os resultados finais da análise de sensibilidade conduzida sobre as etapas de avaliação da adequação de uma área e avaliação comparativa entre áreas, são apresentados na seqüência.

⁵⁹ Versão de um produto.

6.2.1.1 Avaliação da adequação de uma área

Atenuação do impacto visual negativo (CA1+): o modelo considera a atenuação do impacto visual negativo, diretamente proporcional à distância da área em relação aos núcleos populacionais ou áreas urbanas e inversamente proporcional a visibilidade do local. De acordo com os resultados do quadro 6.1, a atenuação do impacto visual negativo é avaliada como baixa para as áreas que reúnam características de proximidade aos núcleos populacionais e boa visibilidade. Os limites considerados pelo modelo são conservativos quando comparados à distância crítica⁶⁰ de 1300 m considerada por Pires (1992), a partir da qual se perdem os detalhes de visibilidade.

QUADRO 6.1 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO ATENUAÇÃO DO IMPACTO VISUAL NEGATIVO.

Avaliação	Parâmetros (Visibilidade / Distância em relação aos n.p. ou a.u. mais próximos)
Baixa	(Parcialmente visível / < 1250 metros) (Visível / < 2000 metros)
Alta	(Visível / > 5000 metros) (Parcialmente visível / > 4250 metros) (Isoladas / > 3500 metros)

Atenuação da poluição atmosférica/odores (CA2+): de acordo com a estrutura do critério, quanto maior for a distância da área em relação aos núcleos populacionais ou áreas urbanas, bem como a existência de barreiras à propagação de poluentes e a direção dos ventos predominantes não coincidir com a direção do município, maior será a atenuação da poluição atmosférica/odores. Neste sentido, o modelo considera a atenuação da poluição atmosférica como baixa para as áreas cujos ventos predominante estejam na direção do município e localizadas a distâncias próximas dos núcleos populacionais ou áreas urbanas, conforme os resultados do quadro 6.2.

⁶⁰ Esta distância depende ainda da cor, contraste, tamanho dos objetos e condições atmosféricas.

QUADRO 6.2 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO ATENUAÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA/ODORES.

Avaliação	Parâmetros (Direção dos ventos predominantes / Existência de barreiras à propagação de poluentes / Distância em relação aos n.p. ou a.u. mais próximos)
Baixa	(Ventos na direção / Insignificativas / < 2800 metros) (Ventos na direção / Medianamente significativas / < 1900 metros) (Ventos na direção / Significativas / < 1000 metros)
Alta	(Ventos em outra direção / Significativas / > 2800 metros) (Ventos em outra direção / Medianamente significativas / > 3600 metros) (Ventos em outra direção / Insignificativas / > 4600 metros)

A possibilidade de que os gases emitidos pelo aterro venham a se tornar elementos de impacto para as populações residentes próximas ao aterro varia consideravelmente segundo diversos fatores entre eles: o tamanho do aterro, a periculosidade dos resíduos, as características físicas do entorno da área, etc. Entretanto, na literatura reconhece-se uma faixa de distância, na qual os possíveis efeitos ambientais do aterro sobre a população seriam mais significativos.

Neste sentido Furuseth e Johnson⁶¹ citados por Okeke e Armour (2000) indicam que as principais reclamações provêm dos moradores residindo a distâncias inferiores a 800 metros. O Ministério do Meio Ambiente de Ontário⁶² (apud OKEKE e ARMOUR, 2000), por sua vez, considera os efeitos ambientais mais significativos para as populações residentes a distâncias inferiores a 500 metros do aterro. Os limites de avaliação do modelo são conservativos quando comparados às referências anteriormente citadas.

Vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais (CA3-): segundo a estrutura proposta, a vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais é diretamente proporcional ao número de recursos hídricos próximos a área e a declividade do local, e inversamente proporcional à distância do recurso hídrico mais próximo a área e a classe do recurso hídrico. No quadro 6.3 são apresentados os resultados, obtidos pela variação dos parâmetros anteriormente descritos.

⁶¹ FURUSETH, O. J.; JOHNSON, M. S. Neighbourhood attitude towards a sanitary landfill: a North Carolina study. **Applied Geography**, n.8, v.2, p.135-145, 1988.

⁶² Ontario Ministry of the Environment. **Land use on or near landfills and dumps**. Policy Manual. 16-10, 1987.

QUADRO 6.3 – AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS.

Avaliação	Parâmetros (Distância do r.h. superficial mais próximo / Classe do r.h. superficial mais próximo / Número de r. h. superficiais próximos à área / Declividade do local)
Alta	(< 400 m / Classe 3 / 0 r.h. / Plano) (< 550 m / Classe 2 / 0 r.h. / Suave) (< 900 m / Classe 2 / 0 r.h. / Moderado) (< 1050 m / Classe 2 / 0 r.h. / Acentuado)
Baixa	(> 4650 m / Classe 2 / 0 r.h. / Acentuado) (> 4450 m / Classe 2 / 0 r.h. / Moderado) (> 4150 m / Classe 2 / 0 r.h. / Suave) (> 3950 m / Classe 2 / 0 r.h. / Plano)

Vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos (CA4-): de acordo com a estrutura proposta, a vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos é inversamente proporcional aos parâmetros: profundidade do lençol freático, espessura do solo, declividade do local e capacidade de troca catiônica do solo, e diretamente proporcional ao parâmetro permeabilidade do solo. O sistema avalia como alta a vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos para áreas cuja profundidade do lençol freático seja inferior a 1,5 m, permeabilidade do solo alta ($k > 10^{-4}$ cm/s), ou espessura do solo inferior a 1,0 metro. Da mesma maneira os locais que apresentem solos profundos (> 20 m) com baixas permeabilidades ($k < 10^{-6}$ cm/s) e lençol freático localizado a profundidades maiores que 20 m são avaliados como de baixa vulnerabilidade.

QUADRO 6.4 – AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS.

Avaliação	Parâmetros (Profundidade do lençol freático / Permeabilidade do solo / Espessura do solo / Declividade do local / Capacidade de troca catiônica do solo – CTC)
Alta	(Profundidade do lençol freático $\leq 1,5$ m) (Permeabilidade do solo = alta ou $k > 10^{-4}$ cm/s) (Espessura do solo $\leq 1,0$ m)
Baixa	(> 20 m / média baixa, $k < 10^{-6}$ cm/s / > 20 m)

Os limites referentes à profundidade e à permeabilidade do solo considerados pelo modelo, estão em concordância com as referências⁶³ preconizadas pela NBR13896 (ABNT,

⁶³ Segundo a norma, deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,5 m de solo insaturado entre a superfície do aterro e o mais alto nível do lençol freático. Com relação ao coeficiente de permeabilidade, um subsolo com valor superior a 5×10^{-5} cm/s pode vir a ser aceito pelo órgão de controle ambiental, entretanto desde que este valor não exceda 10^{-4} cm/s.

1997). Com relação a espessura do solo, Vedovello⁶⁴ citado por Brollo (2001) reconhece como de alta vulnerabilidade natural os aquíferos cuja espessura do solo seja inferior a 1,0 metro, entre outros fatores.

Susceptibilidade à erosão (CA5-): segundo os resultados apresentados no quadro 6.5, as áreas com classe textural do solo classificada como arenosa e declividade moderada ou acentuada, são consideradas como de alta susceptibilidade à erosão pelo modelo. A susceptibilidade à erosão é avaliada como baixa para as áreas com declividade plana ou suave e classe textural argilosa ou argilo-arenosa. Neste sentido, a susceptibilidade à erosão considerada pelo modelo é diretamente proporcional a declividade do local, e a presença de frações arenosas na classe textural do solo.

QUADRO 6.5 – AVALIAÇÃO DA SUSCEPTIBILIDADE À EROSIÃO.

Avaliação	Parâmetros (Classe textural do solo / Declividade do local)
Alta	(Arenosa / Moderada ou Acentuada)
Baixa	(Argilosa ou Argilo-arenosa / Plana) (Argilosa ou Argilo-arenosa / Suave)

Infanti Júnior e Fornasari Filho (1998) reforçam a tendência à erosão dos solos com textura arenosa. Estes solos apresentam menor coesão em virtude da baixa proporção de partículas argilosas existentes. A influência da declividade por sua vez, é relacionada ao aumento da velocidade de escoamento das águas pluviais, acentuando os efeitos do processo erosivo. (INFANTI JÚNIOR e FORNASARI FILHO, 1998).

Alteração da flora (CA6-): o modelo considera a alteração da flora diretamente proporcional ao estágio de regeneração da cobertura vegetal existente na área. Neste sentido, a alteração da flora é considerada como alta para as áreas cuja cobertura vegetal predominante caracteriza-se como arbustiva em estágio intermediário e ou inicial. Igualmente, os efeitos da alteração da flora são avaliados como baixos para as áreas sem cobertura vegetal e ou com vegetação rasteira predominante.

⁶⁴ VEDOVELLO, R. **Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental a partir de unidades básicas de compartimentação – UBCs**. Rio Claro (SP); 2000. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP. 154 p.

QUADRO 6.6 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO ALTERAÇÃO DA FLORA.

Avaliação	Parâmetros: Cobertura vegetal (Arbustiva em estágio intermediário de regeneração – AINT/ Arbustiva em estágio inicial de regeneração – AINI / Rasteira – RAST / Sem cobertura – SCOB)
Alta	(AINT e AINI) (AINT > 75% / SCOB < 25%) (AINT > 71% / RAST < 29%)
Baixa	(RAST e ou SCOB) (AINT < 15% / RAST > 85%) (AINT < 26% / SCOB > 74%) (AINI < 21% / RAST > 79%) (AINI < 34% / SCOB > 66%)

Atenuação da poluição sonora (CA7+): é considerada diretamente proporcional a distância da área em relação aos núcleos populacionais ou áreas urbanas e da existência de barreiras à propagação de poluentes. De acordo com o quadro 6.7, o modelo avalia como baixa a atenuação da poluição sonora para as áreas próximas aos núcleos populacionais ou áreas urbanas com as barreiras à propagação de poluentes insignificantes.

QUADRO 6.7 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO ATENUAÇÃO DA POLUIÇÃO SONORA.

Avaliação	Parâmetros (Existência de barreiras à propagação de poluentes / Distância n.p. ou a.u. mais próximos)
Baixa	(Significativas / < 600 metros) (Medianamente significativas / < 1300 metros) (Insignificantes / < 2000 metros)
Alta	(Insignificantes / > 5000 metros) (Medianamente significativas / > 4250 metros) (Insignificantes / > 3500 metros)

Os efeitos da poluição sonora sobre a população residente, a exemplo dos efeitos da poluição atmosférica podem ser relacionados a proximidade do aterro sanitário, decaindo a medida que a distância aumenta. Neste sentido, os limites verificados para o modelo, são considerados conservativos quando comparados às referências citadas para o critério atenuação da poluição atmosférica/odores.

Alteração das atividades locais (CA8-): o modelo avalia a alteração das atividades locais proporcionalmente ao parâmetro influência sobre as atividades do município: alta, média, baixa.

Capacidade em receber resíduos (CEN1+): de acordo com a estrutura proposta, a capacidade em receber resíduos é diretamente proporcional à vida útil da área pretendida. O limite verificado para a baixa capacidade em receber resíduos correspondeu a 13 anos de vida útil, enquanto as áreas com vida útil superior a 27 anos, foram avaliadas como de alta capacidade em receber resíduos. O limite inferior obtido na estrutura de avaliação proposta, demonstrou estar em conformidade com a referência de vida útil mínima (10 anos) recomendada pela NBR13896 (ABNT, 1997).

QUADRO 6.8 – AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE EM RECEBER RESÍDUOS.

Avaliação	Parâmetro (Vida útil)
Baixa	(< 13 anos)
Alta	(> 27 anos)

Simplicidade para implantação do aterro (CEN2+): as avaliações referentes a simplicidade para implantação do aterro são diretamente proporcionais aos parâmetros: profundidade do lençol freático, espessura do solo e a existência de frações argilosas na classe textural do solo. Da mesma forma, a simplicidade é considerada inversamente proporcional ao estágio de regeneração da cobertura vegetal, a declividade e a pedregosidade do local. Neste sentido, o modelo classifica a simplicidade para implantação do aterro como baixa, para as áreas com características de lençol freático aflorante, alta pedregosidade, solos pouco espessos, declividade moderada ou acentuada e classe textural do solo arenosa (quadro 6.9).

QUADRO 6.9 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO SIMPLICIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRO.

Avaliação	Parâmetros (Remoção da cobertura vegetal / Profundidade do lençol freático / Pedregosidade (Quantidade de matacões/Tamanho dos matacões) Declividade / Espessura do solo / Classe textural)
Baixa	(- / 0 m / - / Moderado ou Acentuado / 0 m / Arenosa) (RAST / 0 m / - / - / 0 m / Arenosa) (- / 0 m / (Moderada e Grandes ou Grande e Médios) / - / 0 m / Arenosa)
Alta	(- / ≥ 20 m / - / Suave ou Plano / ≥ 20 m / Argilosa) (RAST ou SCOB / ≥ 20 m / - / - / ≥ 20 m / Argilosa) (- / ≥ 20 m / (Moderada e Pequenos ou Pequena e Médios) / - / ≥ 20 m / Argilosa)

Acessibilidade (CEN3+): é considerada inversamente proporcional ao tempo estimado para descarga dos resíduos. Neste sentido, a acessibilidade é avaliada como alta para locais cujo tempo de descarga seja inferior a 65 min. Tendo e vista o tempo de 30 min considerado para operações no aterro, os locais de alta acessibilidade estariam situados a aproximadamente 30 min de ida e volta do centro produtor de resíduos. O limite considerado pelo modelo esta em concordância com a referência sugerida por Jaramillo (1997).

QUADRO 6.10 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO ACESSIBILIDADE.

Avaliação	Parâmetro (Tempo de descarga estimado em minutos)	Parâmetro (Tempo de descarga estimado em horas)
Baixa	(≥ 127 min)	(≥ 2 h 07min)
Alta	(< 65 min)	(< 1h 05min)

Custos com aquisição do terreno (CEC1-): o modelo não abrange a avaliação do custo de aquisição do terreno, a qual fica a cargo do usuário.

Custos para adequação do local (CEC2-): de acordo com a estrutura do modelo os custos são diretamente proporcionais ao estágio de regeneração da cobertura vegetal e a permeabilidade do solo, e inversamente proporcional aos parâmetros: infraestrutura e profundidade do lençol freático. Os custos estimados para adequação do local são avaliados como baixos pelo modelo, para as áreas que reúnam as seguintes características: remoção da cobertura vegetal facilitada em função da predominância de vegetação rasteira ou ausência da mesma, pré-existência de infraestrutura no local (acessos internos, cercamento, energia elétrica, abastecimento de água, instalações de apoio), baixa permeabilidade do solo e nível freático profundo.

QUADRO 6.11 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO CUSTOS ESTIMADOS PARA ADEQUAÇÃO DO LOCAL.

Avaliação	Parâmetros (Remoção da cobertura vegetal / Infraestrutura (Acessos internos / Cercamento / Energia Elétrica / Abastecimento de água/ Instalações de apoio) / Profundidade do lençol freático / Permeabilidade do solo)
Baixos	(- / Existente / ≥ 20 m / Baixa) (RAST ou SCOB / Existente / - / Baixa) (RAST ou SCOB / Existente / ≥ 20 m / -)
Altos	(AINT ou AINI / Inexistente / 0 m / -) (AINT ou AINI / Inexistente / - / Alta , $k > 10^{-4}$ cm/s) (- / Inexistente / 0 m / Alta , $k > 10^{-4}$ cm/s)

Custos com material de cobertura (CEC3-): são considerados diretamente proporcionais à distância do local até as jazidas (custos com transporte do material) e ao custo de aquisição do material. Neste sentido, os custos com material de cobertura são avaliados como baixos para locais com disponibilidade de material de cobertura ou jazidas próximas ao local conforme os resultados do quadro 6.12, abaixo:

QUADRO 6.12 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO CUSTOS COM MATERIAL DE COBERTURA.

Avaliação	Parâmetros (Distância do local até jazidas / Custo do material)
Baixos	(< 6,7 km / sem custo) (material no local (0 km) / -)
Altos	(> 13,3 km / com custo) (> 20 km / sem custo)

Custos com transporte de resíduos (CEC4-): na estrutura proposta, os custos com transporte de resíduos são diretamente proporcionais à distância percorrida do centro produtor de resíduos até o local e inversamente proporcional a cota do local em relação ao centro produtor. Os limites correspondentes para custos altos corresponderam a distâncias superiores a 21,8 km, variando conforme a cota do local em relação ao centro produtor de resíduos. Os valores recomendados na literatura, tendo em vista os aspectos econômicos da escolha locacional, situam-se na faixa de 10 a 20 km (IPT e CEMPRE, 2000).

QUADRO 6.13 – AVALIAÇÃO DO CRITÉRIO CUSTOS COM TRANSPORTE DE RESÍDUOS.

Avaliação	Parâmetros (Distância percorrida do c.p. até o local / Cota do local em relação ao centro produtor)
Baixos	(< 5,5 km / cota mais alta) (< 7,1 km / mesma cota) (< 8,8 km / cota mais baixa)
Altos	(> 21,8 km / cota mais alta) (> 23,4 km / mesma cota) (> 25,1 km / cota mais baixa)

Desvalorização da terra (CEC5-): o modelo avalia a desvalorização da terra proporcionalmente ao parâmetro especulação econômica do local (alta, média, baixa).

6.2.1.2 Avaliação comparativa entre áreas

A análise da etapa de avaliação comparativa entre áreas, foi realizada com base nos resultados da aplicação do modelo sobre exemplos hipotéticos de áreas potenciais apresentadas no quadro 6.14. O quadro 6.15, por sua vez, apresenta os resultados da agregação dos parâmetros em critérios e as respectivas avaliações de adequação, na seqüência o quadro 6.16 apresenta os resultados das avaliações comparativas entre áreas e as respectivas pontuações finais alcançadas (PF)⁶⁵.

Ao comparar os resultados dos quadros 6.15 e 6.16 verifica-se que o modelo apresentou boa correspondência entre as avaliações da adequação de uma área e as avaliações comparativas realizadas entre áreas. Neste contexto, as áreas avaliadas como recomendadas para um determinado grupo de critérios, atingem maiores pontuações e por conseqüência melhores classificações quando comparadas com áreas avaliadas como medianamente, pouco e não recomendadas.

Ao analisar os resultados das avaliações por grupo de critérios ambientais, de engenharia e econômicos (quadro 6.16) comparativamente com os resultados do quadro 6.15 e os parâmetros relacionados no quadro 6.14, verifica-se que uma área reúne características favoráveis a todas as avaliações (Área 04), enquanto algumas áreas apresentam características favoráveis a apenas um grupo específico de critérios (Ambientais: Área 07, Engenharia: Área 05 e Econômicos: Área 06) e ainda uma área com aspectos desfavoráveis a todos os grupos de critérios (Área 03). As avaliações citadas demonstram que a estrutura proposta para avaliar as áreas sob diferentes enfoques é coerente, possibilitando a obtenção de maiores subsídios para a tomada de decisão.

⁶⁵ Procedimento referente a FIGURA 5.42, p. 113.

Os resultados obtidos nas avaliações comparativas refletem as preferências expressas através das ponderações. Desta maneira, a classificação obtida pela área corresponde a adequação desta em relação ao critério de maior importância. A exemplo do exposto, na avaliação geral P1 (PGCA: 20%, **PGCEN: 60%**, PGCEC: 20%) as áreas 04 (77,94) e 05 (65,38) foram classificadas como recomendadas segundo critérios de engenharia; na avaliação geral P2 (PGCA: 20%, PGCEN: 20%, **PGCEC: 60%**) as áreas 04 (80,13) e 06 (65,38) tiveram todos os critérios econômicos avaliados como baixos e na avaliação geral P3 (**PGCA: 60%**, PGCEN: 20%, PGCEC: 20%) as áreas 04 (77,24) e 07 (55,07) foram classificadas como recomendadas segundo critérios ambientais.

QUADRO 6.14 – EXEMPLOS UTILIZADOS NA ANÁLISE DA AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE ÁREA

Parâmetros de avaliação (Informações Iniciais)	AREA 01	AREA 02	AREA 03	AREA 04	AREA 05	AREA 06	AREA 07
Distância de n.p. ou á.u. (metros)	2250	800	500	7000	800	900	6000
Distância do r.h. superficial mais próximo (metros)	800	600	200	7000	500	300	5000
Declividade do local	SUAVE	ACENTUADO	ACENTUADO	SUAVE	SUAVE	INGREME	SUAVE
Cobertura vegetal							
Estágio avançado de regeneração (% da área)	0	0	0	0	0	0	0
Estágio intermediário de regeneração (% da área)	0	0	100	0	0	0	0
Estágio Inicial de regeneração (% da área)	0	5	0	0	0	0	0
Campo (% da área)	100	95	0	0	30	20	0
Sem cobertura (% da área)	0	0	0	100	70	80	100
Area superficial (hectares)	10		2	50	30	2	5
Parâmetros de avaliação (Informações Complementares)							
Espessura média do solo (metros)	11	2	1	30	12	13	15
Classe textural do solo	ARENOSO	ARGILOSO	ARENOSO	ARGILOSO	ARG.AR	ARGIL.	ARGILOSO
Permeabilidade do solo	ALTA	MED-ALTA	ALTA	BAIXA	MED-BAIXA	BAIXA	BAIXA
CTC do solo (meq/100g ou cmolc/l)	10	70	0	300	50	80	150
Rochosidade							
Quantidade de matacões	POUCOS	MUITOS	MUITOS	POUCOS	POUCOS	MUITOS	MUITOS
Tamanho dos matacões	PEQUENOS	PEQUENOS	GRANDES	PEQUENOS	PEQ	MEDIOS	GRANDES
Visibilidade do local	ISOLADO	VISIVEL	VISIVEL	ISOLADO	VISIVEL	VISÍVEL	ISOLADO
Existência de barreiras à dispersão	SIGNIFIC.	MEDIAN.	INSIGNIF.	SIGNIFIC.	INSIGNIF.	INSIGNIF.	SIGNIFIC.
Direção dos ventos predominantes	NA DIREÇÃO	OUTRA	NA DIREÇÃO	OUTRA	NA DIREÇÃO	NA DIREÇÃO	OUTRA
Classe do r.h. mais próximo (Conama)	3	2	2	0	2	2	5
Nº de r.h. próximos à area	0	1	4	5	1	3	0
Profundidade do lençol freático (metros)	3	11	1	30	18	16	30
Influência sobre as atividades no município	BAIXA	ALTA	ALTA	BAIXA	MÉDIA	ALTA	BAIXA
Distância percorrida em estradas pavimentadas (Km)	0	6	0	5	0,8	0,9	30
Condição das estradas pavimentadas	-	RAZOAV.	-	BOA	BOA	BOA	RAZOAV.
Distância percorrida em estrada não pavimentadas (Km)	12	9,8	30	0	0	0	2
Condição das estradas não pavimentadas	BOA	BOA	RUIM	-	-	-	RUIM
Cota do local em relação ao centro produtor	+ BAIXO	+ ALTO	+ ALTO	+ BAIXO	+ ALTO	+ BAIXO	+ ALTO
Acessos internos	EXIST.	EXIST.	INEXIST.	EXIST.	INEXIST.	EXIST.	INEXIST.
Cercamento	INEXIST.	EXIST.	INEXIST.	EXIST.	INEXIST.	EXIST.	INEXIST.
Energia elétrica	EXIST.	INEXIST.	INEXIST.	EXIST.	INEXIST.	EXIST.	INEXIST.
Água	INEXIST.	EXIST.	INEXIST.	EXIST.	INEXIST.	EXIST.	INEXIST.
Instalações de apoio	INEXIST.	INEXIST.	INEXIST.	EXIST.	INEXIST.	EXIST.	INEXIST.
Preço do terreno (R\$)	50.000	20.000	100000	0	100.000	0	120.000
Especulação econômica do local	BAIXA	MEDIA	ALTA	BAIXA	ALTA	BAIXA	ALTA
Distância média de transporte / Jazida (Km)	5	0	50	0	5	0	8
Custo do material	C/ CUSTO	S/ CUSTO	C/ CUSTO	S/ CUSTO	C/ CUSTO	S/ CUSTO	C/ CUSTO
Capacidade volumétrica do local (m3)	30.000	45.000	10000	500.000	500.000	30.000	10.000

QUADRO 6.15 – AGREGAÇÃO DOS PARÂMETROS EM CRITÉRIOS E AVALIAÇÕES DE ADEQUAÇÃO.

Critério	AREA01	Avaliação	AREA02	Avaliação	AREA03	Avaliação	AREA04	Avaliação	AREA05	Avaliação	AREA06	Avaliação	AREA07	Avaliação
CA1+	3,17	média-alta	1,2	baixa	1	baixa	5	alta	1,2	baixa	1,27	baixa	5	alta
CA2+	2,18	média-baixa	2,73	média-baixa	1	baixa	5	alta	1,13	baixa	1,18	baixa	5	alta
CA3 -	3,85	média-alta	4,35	alta	5	alta	1,1	baixa	4,23	alta	4,84	alta	1,1	baixa
CA4 -	5	alta	3,11	média-alta	5	alta	1,7	baixa	2,43	média-baixa	1,65	baixa	1,5	baixa
CA5 -	3,8	média-alta	2,6	média-baixa	5	alta	1,4	baixa	2	baixa	2,6	média-baixa	1,4	baixa
CA6 -	1,5	baixa	1,63	baixa	5	alta	1	baixa	1,15	baixa	1,1	baixa	1	baixa
CA7+	3,14	média-alta	1,68	baixa	1	baixa	5	alta	1,2	baixa	1,27	baixa	5	alta
CA8 -	1	baixa	5	alta	5	alta	1	baixa	3	média-baixa	5	alta	1	baixa
CAF	2,65	pouc recom.	2,12	pouc recom.	1	não recom.	4,76	recom.	2,42	pouc recom.	1,98	não recom.	4,81	recom.
CEN1+	2,33	média-baixa	3	média-baixa	1	baixa	5	alta	5	alta	1	baixa	1	baixa
CEN2+	2,73	média-baixa	2,77	média-baixa	1,11	baixa	4,9	alta	3,65	média-alta	3,66	média-alta	4,25	alta
CEN3+	3,24	média-alta	2,81	média-baixa	1	baixa	4,36	alta	5	alta	5	alta	1	baixa
CENF	2,53	pouc recom.	2,93	pouc recom.	1,01	não recom.	4,85	recom.	4,85	recom.	1,57	não recom.	1,16	não recom.
CEC1 -	2	--	0,36	--	15	--	0	-	1,33	--	0	--	2,4	--
CEC2 -	3,73	moderados	2,82	moderados	4,96	altos	1	baixos	3,7	moderados	1,17	baixos	3	moderados
CEC3 -	2,75	moderados	1	baixo	5	altos	1	baixos	2,75	moderados	1	baixos	3,2	moderados
CEC4 -	2,4	moderados	3,27	moderados	5	altos	1,79	baixos	1,44	baixos	1,05	baixos	5	altos
CEC5 -	1	baixo	3	moderados	5	altos	1	baixos	5	alta	1	baixos	5	altos

QUADRO 6.16 – AVALIAÇÃO COMPARATIVA E PONTUAÇÃO DAS ÁREAS.

Avaliação segundo grupo de critérios	Classificação e pontuação das áreas						
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
Ambientais	07 (76,40)	04 (75,44)	05 (34,28)	01 (31,66)	06 (29,16)	02 (27,04)	03 (0)
Engenharia	04 e 05 (77,19)	02 (38,63)	01 (30,89)	06 (21,21)	07 (6,42)	03 (0)	
Econômicos	06 (86,18)	04 (82,68)	02 (66,49)	01 (62,47)	05 (61,04)	07 (39,71)	03 (0)
Geral P1 (PGCA: 20%, PGCEN: 60%, PGCEC: 20%)	04 (77,94)	05 (65,38)	02 (41,89)	01 (37,36)	06 (35,80)	07 (27,08)	03 (0)
Geral P2 (PGCA: 20%, PGCEN: 20%, PGCEC: 60%)	04 (80,13)	06 (61,78)	05 (58,92)	02 (53,03)	01 (49,99)	07 (40,39)	03 (0)
Geral P3 (PGCA: 60%, PGCEN: 20%, PGCEC: 20%)	04 (77,24)	07 (55,07)	05 (48,21)	06 (38,98)	01 (37,67)	02 (37,25)	03 (0)
Geral P4 (PGCA: 33,33%, PGCEN: 33,33%, PGCEC: 33,33%)	04 (71,72)	05 (52,32)	01 (41,68)	02 (40,32)	06 (39,45)	07 (33,81)	03 (0,73)

A última etapa da análise da avaliação comparativa entre áreas consistiu na comparação dos resultados obtidos pelo método de agregação formalizado no modelo (média ponderada modificada⁶⁶) com outro método de agregação de critérios. Para a análise proposta, foi selecionado o método ELECTRE-III (ROY, 1978) em virtude da abordagem de problemática γ (procedimento de classificação⁶⁷) proposta estar em conformidade com os objetivos da avaliação comparativa estruturada no modelo. Cita-se ainda a opção da escolha do método ELECTRE pela credibilidade apresentada pela família destes métodos e a grande aplicação em específico da versão III nas questões ambientais⁶⁸.

A agregação dos critérios através do método ELECTRE-III, foi realizada com a ajuda do software Anamulcrit Versão 1.0 (SOARES e ESPÍNDOLA, 1999). Os resultados obtidos são apresentados no quadro 6.17 abaixo:

QUADRO 6.17 – RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DOS MÉTODOS MÉDIA PONDERADA MODIFICADA E ELECTRE-III.

Grupo de critérios	Método de Agregação	Classificação das áreas						
		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°
Ambientais	MPM (SADES)	07	04	05	01	06	02	03
	ELECTRE-III	07 e 04	05	01	06	02	03	
Engenharia	MPM (SADES)	04 e 05	02	01	06	07	03	
	ELECTRE-III	04 e 05	02	01 e 06	07	03		
Econômicos	MPM (SADES)	06	04	02	01	05	07	03
	ELECTRE-III	06 e 04	05 e 02	01	07	03		
Geral P1	MPM (SADES)	04	05	02	01	06	07	03
	ELECTRE-III	04	05	02	01 e 06	07	03	
Geral P2	MPM (SADES)	04	06	05	02	01	07	03
	ELECTRE-III	04	06	05 e 02	01	07	03	
Geral P3	MPM (SADES)	04	07	05	06	01	02	03
	ELECTRE-III	04	07	05	06	01 e 02	03	
Geral P4	MPM (SADES)	04	05	01	02	06	07	03
	ELECTRE-III	04	05	06 e 02	07	01	03	

(1) MPM, Média ponderada modificada.

(2) Agregação de critérios pelos métodos ELECTRE-III, calculada com base nos valores de $q = 0,01$ (limite de indiferença), $p = 1,00$ (limite de preferência estrita) e $v = 20$ (limite de veto).

Os resultados obtidos através do método utilizado no modelo desenvolvido, apresentaram grande correspondência aos resultados calculados pelo método ELECTRE-III. Considera-se estes resultados como satisfatórios, uma vez que os procedimentos formalizados e os conhecimentos necessários para obtenção dos resultados através do modelo, são sensivelmente mais simples do que aqueles exigidos para o método comparativo em questão.

⁶⁶ Descrito nas seções 3.3.5 *Processo* e 5.2.3.5 *Procedimentos de avaliação*.

⁶⁷ O apoio à decisão proporcionado por esta problemática consiste no ordenamento das ações segundo uma ordem de preferência decrescente.

⁶⁸ Ao mesmo tempo em que são considerados como bons modelos de apoio à decisão, exigem considerável especialidade dos interventores para condução dos processos com resultados satisfatórios.

7 CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES

Intervir eficazmente através de um processo de escolha de áreas para implantação de um aterro sanitário não significa apenas dispor de dados corretos mas, sobretudo, obter um modelo de raciocínio capaz de traduzi-los em informações capazes de subsidiar as decisões envolvidas. Desta maneira, iniciou-se um trabalho de pesquisa com os seguintes objetivos:

- Adquirir conhecimentos referentes à escolha de áreas para implantação de aterros sanitários e apoio à decisão através de sistemas;
- Criar um modelo de representação dos conhecimentos adquiridos orientado para resolução da problemática;
- Codificar o modelo criado, visando materializar o mesmo na forma de um protótipo informatizado.

No contexto dos resultados obtidos, a aquisição de conhecimentos conduzida sobre a escolha de áreas para implantação de aterros sanitários, demonstrou entre outros pontos: a importância desta fase no ciclo de vida do aterro sanitário, as principais implicações ambientais, operacionais e econômicas decorrentes das decisões tomadas nesta fase, bem como o caráter multidisciplinar e o grau de especialidade exigido no processo atualmente.

A aquisição de conhecimentos referentes a escolha de áreas, permitiu também, identificar e selecionar um conjunto de dados e informações necessárias para subsidiar um processo de escolha de áreas.

Os conhecimentos adquiridos sobre os sistemas de apoio à decisão e análise multicritério permitiram a formalização de um modelo (baseado em dados qualitativos e quantitativos) aplicado à problemática pesquisada. Desta maneira, os conhecimentos referentes à escolha de áreas, apesar de sua complexidade, foram estruturados e formalizados em um modelo de representação de conhecimentos.

A estruturação do modelo (fundamentada na modelagem de conhecimentos especialistas e análise multicritério), não se resumiu apenas na transferência de conhecimentos adquiridos, mas sobretudo, consistiu na proposição de uma estrutura de raciocínio capaz de traduzir dados em informações para a tomada de decisão.

O modelo, formalizado através de fluxogramas, permitiu o desenvolvimento e avaliação de um protótipo informatizado. O protótipo, resultado da etapa de codificação dos conhecimentos, permite por sua vez, que os usuários sejam encaminhados na utilização dos conhecimentos anteriormente estruturados de maneira interativa e acessível.

Os resultados obtidos pela utilização do sistema e por consequência o apoio à decisão proporcionado (no contexto dos sistemas de apoio à decisão), está diretamente relacionado a qualidade dos dados informados pelo usuário e aos conteúdos formalizados e programados. A qualidade dos dados dependerá, principalmente, dos recursos técnicos e econômicos e do tempo disponível para realização desta etapa dos estudos. Os conteúdos formalizados e programados, por sua vez, foram orientados no sentido de permitir ao usuário:

- Utilizar um processo racional de tomada de decisão multicritério, não exigindo do mesmo conhecimentos aprofundados desta especialidade;
- Conhecer quais são os dados e informações relevantes para o processo e de que maneira estes devem ser organizados a fim de ser obtida maior eficácia;
- Definir parâmetros desconhecidos, através de elementos de apoio e rotinas especialistas;
- Triar preliminarmente áreas adequadas, verificar a adequação de uma área, realizar avaliações comparativas entre áreas segundo critérios (ambientais, de engenharia e/ou econômicos) e ponderações escolhidas, calcular elementos para o dimensionamento do aterro sanitário (vida útil e projeções de resíduos).
- Criar cenários para o município e simulações de avaliações, a partir dos dados armazenados.

A questão social relacionada ao processo decisório e a utilização do sistema, pode ser abordada, a princípio, sob dois enfoques. O primeiro, reforça o caráter técnico da utilização do sistema como ferramenta de apoio aos profissionais na avaliação e apresentação de soluções admissíveis do ponto de vista ambiental, operacional e econômico à comunidade. Neste enfoque, a participação da comunidade é colocada em evidência na definição da importância dos grupos de critérios para a decisão final em relação às áreas pesquisadas.

O segundo enfoque refere-se a inclusão de um grupo de critérios sociais para a avaliação das áreas pretendidas. Nesta abordagem, uma flexibilidade maior de modelagem faz-se necessária, na tentativa de representar os aspectos sociais relacionados à escolha de áreas na forma de um grupo de critérios. Em ambos os casos, evidencia-se a necessidade do envolvimento da comunidade desde o início do processo decisório, bem como de iniciativas objetivando a educação e conscientização ambiental.

Neste sentido, considerando que a capacidade de apoio à decisão do sistema deve-se em grande parte aos conhecimentos adquiridos e estruturados e a codificação realizada, a continuidade desta pesquisa pode ser articulada sobre vários enfoques.

Tendo em vista, ampliar o suporte à tomada de decisões e a flexibilidade da arquitetura adotada no sistema, pesquisas futuras podem ser direcionadas no sentido de acrescentar mais conhecimentos a estrutura do modelo: novos grupos de critérios de avaliação (ex. critérios sociais anteriormente citados), parâmetros para avaliação de áreas degradadas (ex. lixões), incorporação de outros métodos de agregação para avaliação de critérios.

Com relação à base de dados do sistema, esta funciona como um registro das decisões tomadas nos municípios referentes à escolha de áreas para aterro sanitário. A recuperação e posterior análise destes dados pode prover um melhor conhecimento a respeito do histórico e das características das decisões tomadas nos municípios.

A evolução do sistema também pode ser associada à integração com outras tecnologias; neste contexto, a internet tem sido amplamente utilizada como mecanismo para difusão de conhecimentos. Dentro desta abordagem, recomenda-se como continuidade, a integração do sistema de apoio à decisões a internet, de maneira a permitir o acesso e utilização remota para um maior número de usuários. No enfoque dos usuários especialistas, o

sistema pode ser integrado à ferramentas para localização de áreas, a exemplo dos sistemas de informações geográficas.

No contexto da avaliação do sistema, recomenda-se a realização da avaliação pragmática e subjetiva. A avaliação pragmática consiste em verificar e analisar o desempenho da utilização do sistema, enquanto a avaliação subjetiva verificar as retroações dos usuários sob os pontos fortes e fracos do sistema. Para tanto sugere-se a realização da avaliação pragmática considerando casos reais e comparando com as soluções propostas por especialistas. Finalmente, para a avaliação subjetiva sugere-se a realização em dois tempos : utilizando os próprios usuários da etapa anterior, e, através de manifestações de usuários finais escolhidos para teste.

Por fim, do ponto de vista da geração de novos conhecimentos, o desenvolvimento da pesquisa permitiu além da aquisição de conhecimentos prevista, a geração de novos conhecimentos relativos à estruturação multicritério para escolha de áreas para aterros sanitários.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADELMAN, L; DONNELL, M. Evaluating decision support systems: a general framework and case study. In: ANDRIOLE, S. J. **Microcomputer decision support systems: Design, implementation and evaluation**. Wellsely, Ma: QED information Sciences, 1986. p. 285-310.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: rochas e solos. Rio de Janeiro, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13896**: Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB-842**: Apresentação de projetos de aterros de resíduos industriais perigosos. Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12980**: Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10157**: Aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: Informação e documentação – Apresentação de citações em documentos. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: Informação e documentação – Apresentação de citações em documentos. Rio de Janeiro, 1992.
- BAASCH, S. S. N. **Um sistema de suporte multicritério aplicado na gestão dos resíduos sólidos nos municípios catarinenses**. Florianópolis, 1995. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

- BAPTISTA, G. M. M.; JUNQUEIRA, F. F.; BERNARDES, R. S. Determinação de Possíveis Áreas para a Disposição Final de Resíduos Sólidos no Distrito Federal, por meio de um Sistema de Informações Geográficas. In: ASSEMBLÉIA NACIONAL DA ASSEMAE, 24., 1997, Brasília. **Anais...** Brasília: ASSEMAE, 1997. p. 275-285.
- BLIGHT, G. E. Standards for landfills in developing countries. **Waste Management & Research**, n.14, p. 399-414, 1996.
- BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. **The PROMETHEE methods for MCDM, the PROMCALC, GAIA and Bankadviser Software**. Vrije Universiteit Brussel, 1989.
- BRASIL. Portaria N.º 12, de 20 de agosto de 1980 do Ministério do Interior. Acolhe proposta do Secretário do Meio Ambiente, no uso das atribuições que lhe conferem o Decreto n.º 73.030, de 30 de outubro de 1973, o Decreto-Lei n.º 1.413, de 14 de agosto de 1975 e o Decreto n.º 76.359, de 03 de outubro de 1975. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**.
- BRASIL. Lei N.º 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1.º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 19 jul., 2000.
- BROLLO, M. J. Metodologia semi-automatizada para seleção de áreas para disposição de resíduos. Contribuição aos Instrumentos de Gestão de Resíduos Sólidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa (PB). **Anais...** João Pessoa: ABES; 2001. 1 CD-ROM.
- CASTILHOS JUNIOR, A. B. (Coord.) **Tecnologias de apoio ao desenvolvimento de aterros de resíduos urbanos para pequenos municípios**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. 26 p. (FNDCT. PROSAB3, Tema 3 – Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenos municípios. LIXUFSC). Projeto concluído.
- CHARNPRATHEEP, K., ZHOU, Q., GARNER, B. Preliminary landfill site screening using fuzzy geographical information systems. **Waste Management & Research**, n.15, p. 197-215, 1997.
- CHRISTENSEN, T. H. Environmental Aspects of Sanitary Landfilling. In: CHRISTENSEN, T. H.; COSSU, R.; STEGMANN, R. (Ed.). **Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact**. London: Academic Press Limited, 1989. p. 19-25.
- CINTRA, I. S.; BARRETO, A. A. Aplicação de SIG no gerenciamento de resíduos sólidos: localização de área para aterro sanitário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 1997, Foz do Iguaçu. **Trabalhos Técnicos**. Foz do Iguaçu: ABES, 1997. p. 1885-1891. 1 CD-ROM.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução N.º 04, de 09 de outubro de 1995. Estabelece as Áreas de Segurança Aeroportuária – ASAs. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 11 dez., 1995.

- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução N.º 04, de 18 de setembro de 1985. Dispõe sobre definições e conceitos sobre Reservas Ecológicas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 20 jan., 1986.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução N.º 20, de 18 de junho de 1986. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 30 jul., 1986.
- DAVIS, J. R.; MCDONALD, G. Applying Rule-Based Decisions Support System to Local Planning. In: WRIGHT J. R. et al. **Expert Systems in Environmental Planning**. Germany: Springer-Verlag, p. 23 – 46, 1993.
- DUCHAUFOR, P. **Pedologie: pedogenèse et classification**. Paris: Masson, 1977.
- ESCALANTE, R. M. Estudos de selección de regiones y áreas para confinar resíduos, aplicando sistemas de informacion geográfica, caso practico em México. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26., 1998, Lima. **Trabalhos Técnicos**. Lima: AIDIS, 1998. 1 CD-ROM.
- EVANS, J. P.; STEUER, R. E. A revised simplex method for linear multiple objective programs. **Mathematical Programming**. v. 5, n. 1, p. 54-72, 1973.
- FINN, G. A. Applications of Expert Systems in the Process Industry. In: PATRY, G. G.; CHAPMAN, D. **Dynamic Modeling and Expert Systems in Wastewater Engineering**. Chelsea: Lewis Publishers, Inc., 1989. p. 167-190.
- FISHBURN, P. C. **Mathematics of decision theory**. UNESCO. 1972
- FISHBURN, P. C. **Utility theory for decision making**. Wiley, NY. 1970
- FISHBURN, P. C. **The Foundation of Expected Utility**. Reidel, Dordrecht, Holland. 1982.
- FIÚZA, J. M. S., OLIVEIRA, L. T. Matriz interativa para a escolha locacional de aterro sanitário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 1997, Foz do Iguaçu. **Trabalhos Técnicos**. Foz do Iguaçu: ABES, 1997. p. 1754-1758. 1 CD-ROM.
- FIUZA, S. M. **Metodologia para implantação de soluções intermunicipais para tratamento e destinação final de resíduos sólidos urbanos**. Belo Horizonte, 1999. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.
- FRANTZIS, I. Methodology for municipal landfill sites selection. **Waste Management & Research**, n.11, p. 441-451, 1993
- FREEDMAN, D.H. Is management still a science? (overview of literature on chaos theory applied to organizations). **Harvard Business Review**, v. 70, n.6, , p.26-38, 1992.
- FRENCH, S. **Decision Theory: An Introduction to the Mathematics of Rationality**. Ellis Horwood: West Sussex. 1993.

- GOMES, P. G. et al. Verificação de critérios técnicos utilizados para a seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos urbanos. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Trabalhos Técnicos**. Porto Alegre: AIDIS, 2000. 1 CD-ROM.
- GÓMEZ, J. S. **Metodologia para el emplazamiento de rellenos sanitários**. Disponível em: < <http://www.resol.com.br/textos/curso-05.htm> > Acesso em: 17 mai. 2002.
- GOUGH, J. D.; WARD, J. C. Environmental Decision-Making and Lake Management. **Journal of Environmental Management**, n. 48, p. 1-15, 1996.
- GUIMARÃES, L. T. **Utilização do sistema de informação geográfica (SIG) para identificação de áreas potenciais para disposição de resíduos na bacia do Paquequer, município de Teresópolis – RJ**. Rio de Janeiro, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programas de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- HAMADA, J.; CAVAGUTI, N. Aplicação do método matricial na escolha de área para implantação do aterro sanitário de Franca – SP. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9., 2000, Bahia. **Anais...** Bahia: ABES/APRH, 2000. p. 1504-1514. 1 CD-ROM.
- HUSHON, J. M. Overview of Environmental Expert Systems. In: HUSHON, J. M.; WESTON, R. F. Ed.). **Expert Systems for Environmental Applications**. Washington (DC): American Chemical Society, 1990. p. 1-24.
- IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/lixo_coletado/lixo_coletado109.shtm > Acesso em: 14 mai. 2002.
- INFANTI JÚNIOR, N.; FORNASARI FILHO, N. Processos de Dinâmcia Superficial. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 131-152.
- INFERIR. In: FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1975b. p. 763.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS e COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM – IPT e CEMPRE. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 2 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.
- JACQUET-LAGRÈZE, E. PREFCALC: evaluation et decision multicritère. **Revue de l'Utilisateur de l'IBM PC**. n. 3, p. 38-55, 1984.
- JACQUET-LAGRÈZE, E.; SISKOS, Y. Assesing a set of additive utility functions for multicritério decision making. **European Journal of Operational Research**. v. 2, n. 10, p. 151-164, 1982.

- JACQUET-LAGRÈZE, E.; MEZIANI, R.; SLOWINSKI, R. MOLP with an interactive assessment of a piecewise-linear utility function. **European Journal of Operational Research**. n. 31, p. 350-357, 1987.
- JARAMILLO, J. **Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales**. 1 ed. Organización Panamericana de la Salud - Organización Mundial de la Salud, 1997.
- JASZKIEWICZ, A.; SLOWINSKI, R. The Light Beam Search: Outranking based interactive procedure for multiple-objective mathematical programming. In: PARDALOS, P. M.; SISKOS, Y.; ZOPOUNIDIS, C. **Advances in Multicriteria Analysis**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 129-146, 1995.
- KEENEY, R. L. **Value-focused Thinking: A Path to Creative Decision Making**. London: Harvard University Press, 1992.
- KEENEY, R.; RAIFFA, H. **Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs**. Wiley, NY. 1976.
- KORHONEN, P. A multiple objective linear programming decision support system. **Decision Support Systems**. n. 6, p. 243-252, 1990.
- KRIVINE J. P.; DAVID, J. M. **L'acquisition des connaissances vue comme un processus de modélisation : méthode et outils**. Intellecta, 1992.
- LEARY, M. E. Expertise and Expert systems in British Land Use Planning. In: WRIGHT J. R. et al. **Expert Systems in Environmental Planning**. Germany: Springer-Verlag, 1993. p. 3-21.
- LEMONS, C. L., SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1996.
- LIMA, G. S. **Seleção de áreas para implantação de aterros sanitários: uma proposta baseada na Análise do Valor e Lógica Fuzzy**. Rio de Janeiro, 1999. Dissertação (COPPE) -Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- LUDVIGSEN, P. J. **Development of knowledge based expert systems to aid in hazardous waste management**. Utah, 1987. Tese (Doctor of philosophy, Civil and Environmental Engineering) – Utah State University.
- MAYSTRE, L. Y.; BOLLINGER, D. **Aide à la négociation multicritère**. 1. ed. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 1999.
- MAYSTRE, L. Y.; PICTET, J.; SIMOS, J. **Méthodes multicritères ELECTRE**. 1. ed. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 1994.
- MELACHRINOUDIS, E., MIN, H., WU, X. A multiobjective model for the dynamic location of landfills. **Location Science**, Great Britain, v. 3, n. 3, p. 143-146, 1995.
- MOREDA, I. L; ANIDO, C.; BORZACCONI, L. Metodología para la localización de um relleno sanitario y su aplicación para una ciudad del Uruguay. In: CONGRESSO

- INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Trabalhos Técnicos**. Porto Alegre: AIDIS, 2000. 1 CD-ROM.
- OKEKE, C. U; ARMOUR, A. Post-landfill siting perceptions of nearby residents: a case study of Halton landfill. **Applied Geography**. n. 20. p. 137-154, 2000.
- PERCOLAÇÃO. In: FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1975a. p. 1066.
- PINEDA, S. I. **Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos**. Santafé de Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1998.
- PIRES, P. S. Procedimentos para análise da paisagem na avaliação de impactos ambientais. In: JUCHEM, P. A. (Coord.). **Manual de avaliação de impactos ambientais**. Curitiba: IAP/GTZ, 1992.
- QURESHI, M. E.; HARRISON, S. R.; WEGENER, M. K. Validation of multicriteria analysis models. **Agricultural systems**, n. 62, p. 105-116, 1999.
- ROBINSON, H. Unsaturated Zone Attenuation of Leachate. In: CHRISTENSEN, T. H.; COSSU, R.; STEGMANN, R. (Ed.). **Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact**. London: Academic Press Limited, 1989. p. 453-464.
- ROY, B. ELECTRE III: um algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences em présence de critères multiples. **Cahiers du CERO**. vol 20, n.1, pp. 3-24, 1978.
- ROY, B. From optimization to multicriteria decision aid: Three main operational attitudes. In: THIRIEZ, H.; ZIONTS, S. **Multicriteria Decision Making**. Berlin: Springer, vol 130, 1976. pp. 1-32.
- ROY, B. **Methodologie multicritère d'aide à la décision**. Paris: Economica, 1985.
- ROY, B. The outranking approach and the foundations of Electre methods. In: BANA e COSTA, C. **Readings in Multiple Criteria Decision Aid**. Berlin: Springer, 1989. p. 155-183.
- ROY, B. Decision aid and decision making. **European Journal of Operational Research**. n. 45, p. 324-331, 1990.
- ROY, B.; BOUYSSOU, D. **Aide multicritère à la decision: Méthodes et cas**. Paris: Economica, 1993.
- SALOMÃO, F. X. T.; ANTUNES, F. S. Solos em Pedologia. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 87-99.
- SANTA CATARINA. Decreto n. 14.250, de 5 de junho de 1981. Regulamenta dispositivos da Lei 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à proteção e a melhoria da qualidade ambiental. **Diário Oficial de Santa Catarina**, 09 jul., 1981.

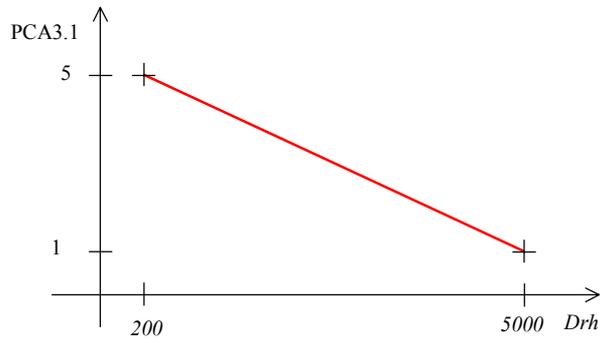
- SÁNCHEZ, R. M.; CARRASQUERO, N. El enfoque meta em la selección de sítios para la ubicación de rellenos sanitarios. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26., 1998, Lima. **Trabalhos Técnicos**. Lima: AIDIS, 1998. 1 CD-ROM.
- SÃO PAULO (ESTADO). **A cidade e o lixo**. 1º ed. São Paulo: Secretaria de estado de meio ambiente/Cetesb: 1998.
- SOUZA, F. C. B. **Sistema de apoio à decisão em ambiente espacial aplicado em um estudo de caso de avaliação de áreas destinadas para disposição de resíduos sólidos na região metropolitana de Porto Alegre**. Florianópolis, 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.
- SOARES, S. R.; ESPÍNDOLA, F. S. **Anamulcrit 1.0**. Florianópolis, 1999. Aplicativo (arquivo executável) 488KB.
- SOARES, S. R. **Conception et évaluation d'un système à base de connaissances pour l'élimination de déchets**. Lyon, 1994. Thèse de doctorat : Institut National des Sciences Appliquées de Lyon .
- SOARES, S. R. **Comparaison de l'impact sur l'environnement de la production d'emballages pour des liquides alimentaires : étude du cycle de vie de produits**. DEA, Gestion et traitement des déchets. INSA de Lyon, França, 1991.
- SHIM, J. P. et al. Past, present, and future of decision support technology. **Decision Support Systems**, n. 33, p. 111-126, 2002.
- SIMOS, J. **Evaluer l'impact sur l'environnement**. 1. ed. Bienne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 1990.
- SISKOS, Y. Comment modéliser les preferences au moyen de fonctions d'utilité additives. **RAIRO Recherche Opérationnelle**. n. 14, p. 53-82, 1980.
- SISKOS, Y.; DESPOTIS, D. A DSS oriented method for multiobjective linear programming problems. **Decision Support Systems**, n.5, 1989, p. 47-55.
- SISKOS, Y.; SPYRIDAKOS, A. Intelligent multicriteria decision support: Overview and perspectives. **European Journal of Operational Research**, n. 113, p. 236-246, 1999.
- SISKOS, Y.; SPYRIDAKOS, A. YANNACOPOULOS, D. MINORA: A multicriteria decision aiding system for discrete alternatives. In: SISKOS, Y.; ZOPOUNIDIS, C. **Special Issue on Multicriteria Decision Support Systems**. v. 2, n. 2, p. 136-149, 1993.
- SISKOS, Y.; YANNACOPOULOS, D. UTASTAR, an ordinal regression method for building additive value functions. **Investigação Operacional**. v. 5, n. 1, p. 39-53, 1985.
- TCHOBANOUGLOUS, G.; THEISEN, H.; VIRGIL, S. **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1993.

- VIEIRA, S. J. **Seleção de áreas para o sistema de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos de Florianópolis/SC**. Florianópolis, 1999. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- VINCKE, P. **Multicriteria Decision-Aid**. Wiley: West Sussex. 1992.
- VON WINTERFELDT, E. EDWARDS, W. **Decision Analysis and Behavioral Research**. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1993.
- VANDERPOOTEN, D. The construction of prescription in outranking methods. In: BANA e COSTA, C. **Readings in Multiple Criteria Decision Aid**. Berlin: Springer, 1989. p. 184-215.
- VALERIANO, C. S.; ESCALERA, O. A. N. **Nuevo Emplazamiento del Relleno Sanitario para el Municipio de Cochabamba**. Disponível em: <<http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/fulltext/resisoli/nuempl/nuempl.html>> Acesso em: 11 jul. 2002.
- ZELENY, M. **Multiple Criteria Decision Making**. New York: Mc-Graw-Hill, 1982.
- ZELENY, M. **Linear Multiobjective Programming**. New York: Springer, 1974.
- ZIONTS, S.; WALLENIOUS, J. An interactive programming method for solving the multiple criteria problem. **Management Science**. n. 22, p. 652-663, 1976.
- ZIONTS, S.; WALLENIOUS, J. An interactive multiple objective linear programming method for a class of underlying non-linear utility functions. **Management Science**. n. 29, p. 512-529, 1983.
- WAQUIL, D. D., et al. Seleção de áreas para tratamento e disposição final de resíduos sólidos. In. CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Trabalhos Técnicos**. Porto Alegre: AIDIS, 2000. 1 CD-ROM.
- WESTMACOTT, S. Developing decision support systems for integrated coastal management in the tropics: Is the ICM decision-making environment too complex for the development of a useable and useful DSS? **Journal of Environmental Management**, n. 62, p. 55-74, 2001.
- WESTLAKE, K. Sustainable landfill – possibility or pipe-dream? **Waste Management & Research**. n. 15, p. 453-461, 1997.
- WICHELNS, D. et al. A landfill site evaluation model that includes public preferences regarding natural resources and nearby communities. **Waste Management & Research**, n.11, p. 185-201, 1993.
- WIERZBICKI, A. P. **Multi-objective modeling and simulation for decision support**. Working paper of the International Institute for Applied Systems Analysis (WP-92-80).Luxemburg, Austria. 1992.

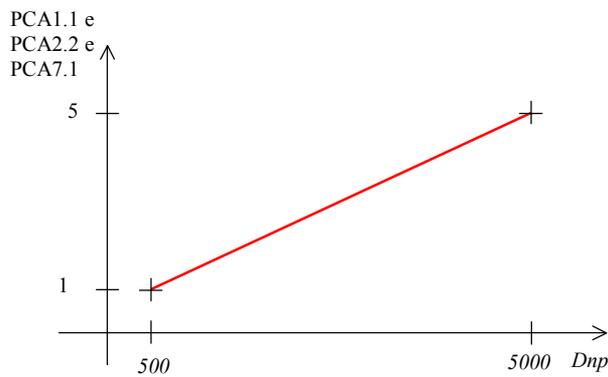
- WIERZBICKI, A. P. Decision support methods and applications: the cross-sections of economics and engineering or environmental issues. **Annual reviews in Control**, n. 24, p. 9-19, 2000.
- WRIGHT, J. R.; BUEHLER, K. A. Probabilistic Inferencing and Spatial Decision Support Systems. In: WRIGHT J. R. et al. **Expert Systems in Environmental Planning**. Germany: Springer-Verlag, 1993. p. 119-144.

APÊNDICE A

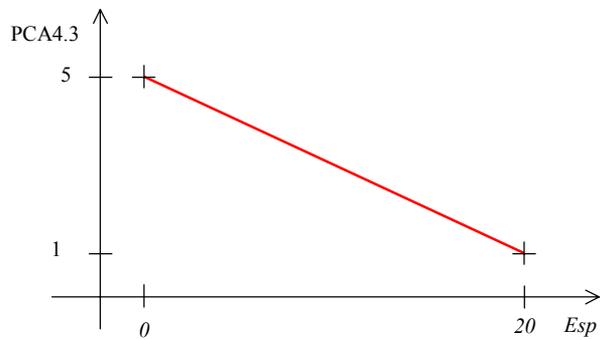
Procedimento de interpolação para pontuação dos parâmetros em escala cardinal.



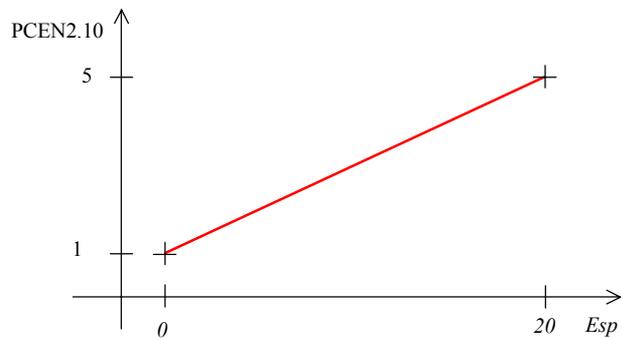
$$PCA3.1 = 5 - [(Drh - 200) \times 8,33 \times 10^{-4}]$$



$$PCA1.1 = PCA 2.2 = PCA7.1 = [(Dnp - 500) \times 8,88 \times 10^{-4}] + 1$$



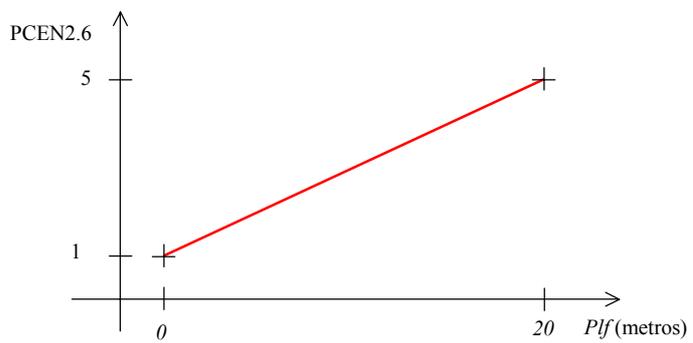
$$PCA4.3 = [5 - (Esp \times 0,2)]$$



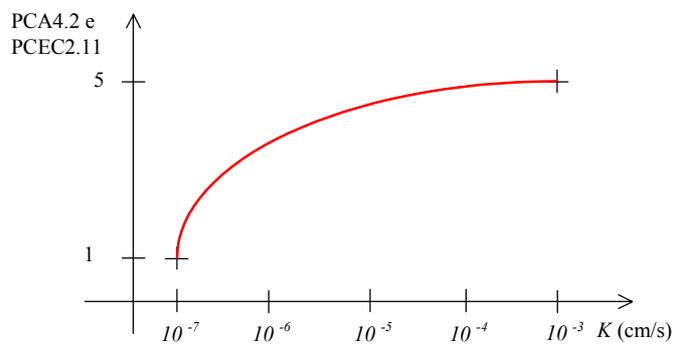
$$PCEN2.10 = [(Esp \times 0,2) + 1]$$



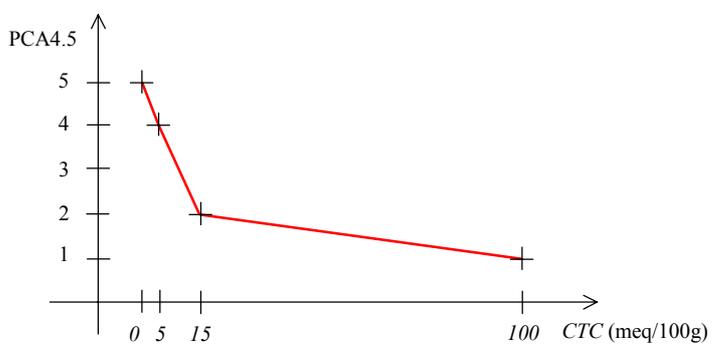
$$PCA4.1 = PCEC2.10 = [5 - (Plf \times 0,2)]$$



$$PCEN2.6 = [(Plf \times 0,2) + 1]$$



$$PCA4.2 = PCEC2.11 = [(\log(K) + 7)]$$



$$0 - 5$$

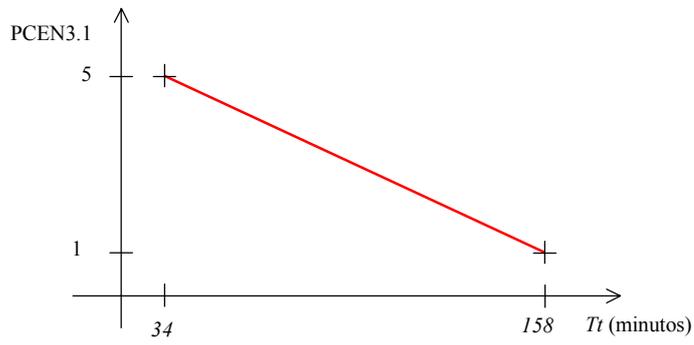
$$PCA4.5 = [5 - (CTC \times 0,2)]$$

$$5 - 15$$

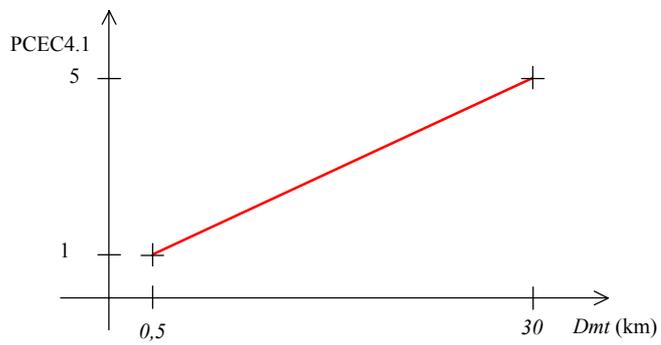
$$PCA4.5 = 4 - [(CTC - 5) \times 0,1]$$

$$15 - 100$$

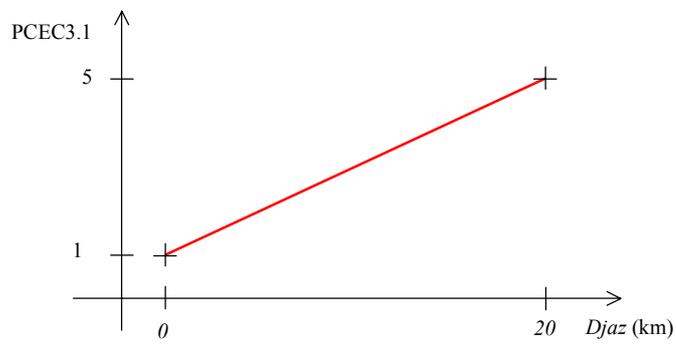
$$PCA4.5 = 3 - [(CTC - 5) \times 2,35 \times 10^{-2}]$$



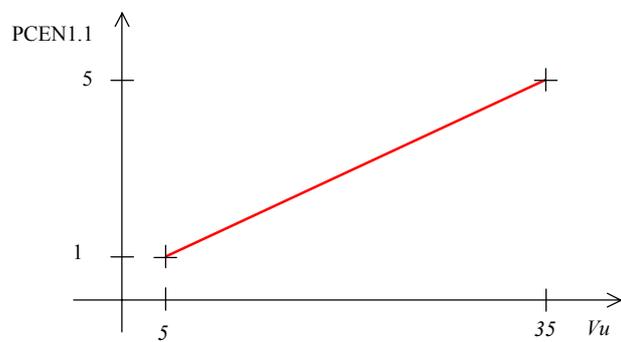
$$PCEN3.1 = 5 - [(Tt - 34) \times 3,22 \times 10^{-2}]$$



$$PCEC4.1 = [(Dmt - 0,5) \times 0,1355] + 1$$



$$PCEC3.1 = [(Djaz \times 0,2) + 1]$$



$$PCEN1.1 = [(Vu - 5) \times 0,1333] + 1$$