

CARLOS EDUARDO KROETZ

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO AO
DIMENSIONAMENTO E ESTIMATIVA DE CUSTOS DE ATERROS
SANITÁRIOS EM TRINCHEIRAS PARA MUNICÍPIOS DE PEQUENO
PORTE**

**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. Armando Borges de
Castilhos Jr.**

FLORIANÓPOLIS

2003

**“DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO AO
DIMENSIONAMENTO E ESTIMATIVA DE CUSTOS DE ATERROS
SANITÁRIOS EM TRINCHEIRAS PARA MUNICÍPIOS DE PEQUENO
PORTE”**

CARLOS EDUARDO KROETZ

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. Carlos Mello Garcias, Dr.

Prof. Sebastião Roberto Soares, Dr.

Prof. Masato Kobiyama, Dr.
(Co-Orientador)

Prof. Armando Borges de Castilhos Jr., Dr.
(Coordenador)

Prof. Armando Borges de Castilhos Jr., Dr.
(Orientador)

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL.
SETEMBRO/2003

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental,
a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP),
ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq),
ao Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB),

A todos os colegas do Laboratório de Pesquisa em Resíduos Sólidos
(LARESO).

Aos Profs. Armando Borges de Castilhos Jr. e Masato Kobiyama,
pela orientação, dedicação, apoio e contribuições.

A Giancarlo Lupatini, pelas inúmeras contribuições e exemplo,
a Rui C. Q. Pinto da Headline Informática, pela dedicação e
paciência,
a Iria Sartor Araújo, pelas contribuições,
a Ioana Nicoleta Firta, pelas contribuições,
a todos os amigos de Florianópolis, que foram como uma família
enquanto aqui vivi,
a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste
trabalho.

Em especial, à minha família, manancial inesgotável de amor
incondicional.

“Se a tocha for verdade,
nem a tempestade pode apagar.”

Graoara.

Este trabalho é dedicado à memória de Edgar Theobaldo Kroetz, que acompanhou esta jornada desde o princípio, mas que infelizmente não pôde vê-lo concluído, pois pouco antes fora chamado a se encontrar com um velho amigo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE QUADROS.....	iv
LISTA DE SÍMBOLOS.....	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1 INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1 CONTEXTO DA PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA	4
1.3 OBJETIVOS	6
1.3.1 Objetivo Geral	6
1.3.2 Objetivos Específicos	6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 GENERALIDADES SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL.....	7
2.1.1 Principais Definições de Resíduos Sólidos Urbanos	7
2.1.2 Classificação de Resíduos Sólidos	8
2.1.3 Características dos Resíduos Sólidos Urbanos	15
2.2 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	20
2.2.1 Diretrizes Principais da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos.....	20
2.2.2 Componentes do Sistema de Gerenciamento de Resíduos de um Município.....	21
2.2.3 Sistemas de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos	23
2.2.4 Aterro Sanitário como Sistema de Disposição Final: Elementos Principais	29
2.3 MÉTODOS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DAS PRINCIPAIS ESTRUTURAS DE ATERROS SANITÁRIOS.....	32
2.3.1 Projeção da Geração dos Resíduos Sólidos Urbanos e Vida Útil do Aterro	32
2.3.2 Determinação de Relações otimizadas entre Comprimento X Largura X Altura de Trincheiras.....	33
2.3.3 Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais para Aterros Sanitários	37
2.3.4 Sistemas de Drenagem de Líquidos Percolados para Aterros Sanitários em Trincheiras....	43
2.4 ELEMENTOS DE CUSTOS DE ATERROS SANITÁRIOS	52
2.4.1 Sistemas de Contabilidade e Estimativa de Custos	52
2.4.2 Hierarquização e Detalhamento dos Principais Elementos de Custos em Aterros Sanitários.....	53
2.4.3 Expressão dos Elementos de Custos	55

2.5	MODELAÇÃO DE CONHECIMENTOS	66
2.5.1	Introdução	66
2.5.2	Princípios da Modelação de Conhecimentos	66
3	METODOLOGIA	70
3.1	ASPECTOS INTRODUTÓRIOS	70
3.2	FLUXOGRAMA GERAL METODOLÓGICO	75
3.3	DEFINIÇÃO DOS MODELOS CONCEITUAIS	76
3.4	DEFINIÇÃO DOS FLUXOGRAMAS	80
3.4.1	Dimensionamento das Trincheiras	81
3.4.2	Dimensionamento dos Canais de Drenagem de Águas Pluviais	88
3.4.3	Dimensionamento dos Canais de Drenagem de Líquidos Percolados	100
3.4.4	Dimensionamento dos Custos de Aterros Sanitários	109
3.5	PROGRAMAÇÃO: Linguagem, Programas e Integração com o Modelo fase 1	129
4	RESULTADOS	132
4.1	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO MODELO	132
4.1.1	Dimensionamento	132
4.1.2	Estimativa de Custos	137
4.2	TESTES DO MODELO INFORMATIZADO	140
4.3	CONCLUSÕES	144
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	146
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148
	ANEXO 1- Avaliação do Programa SADES	156

LISTA DE FIGURAS

Figura	Descrição	página
2.1	Estratégias de Gestão para os Resíduos Produzidos pelas Atividades Humanas	20
2.2	Figura Ilustrativa de Corte de Trincheira de Aterro Sanitário	31
2.3	Figura Ilustrativa de uma Trincheira Preenchida com Resíduos	33
2.4	Foto de Trincheira sendo aberta com auxílio de equipamento de terraplenagem	34
2.5	Foto da Descarga dos Resíduos dentro da Trincheira	34
2.6	Foto do Espalhamento (Homogeneização) dos Resíduos no interior da Trincheira	35
2.7	Foto de Rolo Compactador Manual de Resíduos	35
2.8	Foto da Utilização do Rolo Compactador Manual de Resíduos	36
2.9	Seções dos Canais	42
2.10	Esquema do Balanço Hídrico	48
2.11	Distribuição dos custos de desenvolvimento de um aterro sanitário (EUA, 1975).	54
2.12	Distribuição dos custos de desenvolvimento de um aterro sanitário (EUA, 1986).	54
2.13	Distribuição dos custos de desenvolvimento de um aterro sanitário (EUA, 1990).	55
2.14	Distribuição dos custos do aterro sanitário Santa Tecla (RS).	58
2.15	Distribuição dos custos de remediação para implantação do aterro sanitário Santa Tecla (RS).	59
2.16	Representação Esquemática do Ambiente de Decisão	67
3.1	Metodologia de Desenvolvimento da primeira versão de SADES, como Sistema de Apoio à Decisão em Escolha de Áreas para Aterros Sanitários.	70
3.2	Estrutura Básica da Metodologia de Desenvolvimento do SADES	72
3.3	Fluxograma Geral Metodológico	75
3.4	Modelo Conceitual 1 – Dimensionamento das Trincheiras	76
3.5	Modelo Conceitual 2 – Drenagem de Águas Pluviais	77
3.6	Modelo Conceitual 3 – Drenagem de Líquidos Percolados	78
3.7	Modelo Conceitual 4 – Estimativa de Custos	79
3.8	Fluxograma de desenvolvimento dos cálculos de dimensionamento das trincheiras	83
3.9	Fluxograma de verificação dos parâmetros construtivos locais	84
3.10	Fluxograma de desenvolvimento dos cálculos de dimensionamento das trincheiras	85
3.11	Fluxograma de desenvolvimento dos cálculos de dimensionamento das trincheiras	86
3.12	Fluxograma de desenvolvimento dos cálculos de dimensionamento das trincheiras	87

3.13	Seção de canal trapezoidal	93
3.14	Fluxograma de determ. do coeficiente de escoam. Superficial (C)	96
3.15	Fluxograma de continuação da determinação do coeficiente de escoamento superficial (C)	97
3.16	Fluxograma de cálculo de intensidade de chuvas (i)	98
3.17	Fluxograma de determinação de área do aterro (A), informada pelo usuário.	99
3.18	Fluxograma de desenvolvimento dos cálculos de vazão de líquidos percolados	101
3.19	Equação básica do método do Balanço Hídrico	106
3.20	Fluxograma de cálculo da vazão mensal de Líquidos Percolados	107
3.21	Fluxograma de Escoamento Superficial	108
3.22	Fluxograma de desenvolvimento do cálculo de custos de aterros sanitários	112
3.23	Determinação dos elementos de custo investimento – Recuperação de área.	113
3.24	Determinação dos elementos de custo investimento – Adequação da área.	114
3.25	Determinação dos elementos de custo investimento – Implantação do aterro.	115
3.26	Determinação dos elementos de custo investimento – Escolha da área.	116
3.27	Determinação dos elementos de custo investimento – Levantamento para projeto.	117
3.28	Determinação dos elementos de custo investimento – Projeto.	118
3.29	Determinação dos elementos de custo investimento – Estudos de impacto ambiental e Licenciamento ambiental.	119
3.30	Determinação dos elementos de custo investimento – Aquisição do local.	120
3.31	Determinação dos elementos de custo investimento – Aquisição de equipamentos.	121
3.32	Definição do método de cálculo da estimativa dos custos de investimento.	122
3.33	Definição do método de cálculo da estimativa dos custos de operação - Mão-de-obra.	123
3.34	Definição do método de cálculo da estimativa dos custos de operação – Equipamentos.	124
3.35	Definição do método de cálculo da estimativa dos custos de operação - Despesas gerais.	125
3.36	Definição do método de cálculo da estimativa dos custos de operação - Serviços de Engenharia.	126
3.37	Definição do método de cálculo da estimativa dos custos de operação - Serviços de Engenharia.	127
3.38	Definição do método de cálculo da estimativa dos custos de operação - Custos Imprevistos.	128
3.39	Definição do método de cálculo da estimativa dos custos totais -	128

	Unitário e Anual.	
4.1	Tela inicial de abertura do programa <i>SADES</i>	132
4.2	Tela do Menu Principal do programa <i>SADES</i>	133
4.3	Tela do módulo de dimensionamento das trincheiras	134
4.4	Tela do módulo de dimensionamento dos drenos das águas pluviais	134
4.5	Tela do módulo de dimensionamento dos drenos dos líquidos percolados pelo método Suíço	135
4.6	Tela inicial do Método do Balanço Hídrico	136
4.7	Planilha anual do Método do Balanço Hídrico	136
4.8	Tela do módulo de estimativa de custos de INVESTIMENTO	138
4.9	Tela do módulo de estimativa de custos de OPERAÇÃO	139
4.10	Tela do módulo de estimativa de CUSTO TOTAL	139

LISTA DE QUADROS

Quadro	Descrição	página
1.1	As maiores regiões Metropolitanas	2
1.2	Distribuição da População Brasileira por porte dos Municípios, em %.	3
2.1	Composição média dos entulhos no Brasil	11
2.2	Tipos de resíduos e seus responsáveis	14
2.3	Composição Gravimétrica dos Resíduos	15
2.4	Estimativa de geração <i>per capita</i> de acordo com o tamanho da cidade e população	16
2.5	Componentes da Composição Gravimétrica	17
2.6	Valores de Precipitação / Equação Chuvas Intensas no Brasil	40
2.7	Valores do coeficiente de rugosidade - <i>n</i>	43
2.8	Estimativa de obras civis para implantação de um aterro sanitário.	60
2.9	Estimativa do volume de terraplanagem para implantação de um aterro sanitário.	60
2.10	Estimativa de equipamentos em função do volume de terraplanagem para implantação de um aterro sanitário.	61
2.11	Previsão de equipamentos em função da capacidade dos aterros sanitários.	62
2.12	Previsão de equipamentos em função da capacidade dos aterros sanitários.	63
2.13	Vida útil referente a equipamentos de aterros sanitários.	64
3.1	Valores do Coeficiente de Escoamento Superficial – (<i>C</i>)	88
3.2	Valores de Precipitação para 80 localidades brasileiras	90
3.3	Taludes Usuais dos Canais	91
3.4	Valores do Coeficiente de Escoamento Superficial (<i>C'</i>)	104
3.5	Umidade do Solo (mm H ₂ O/m de Solo)	105

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Parâmetro	Unidade
C	Coeficiente de escoamento superficial	adimensional
<i>t_c</i>	Tempo de Concentração	min
<i>L</i>	Comprimento do talvegue máximo da bacia	m
<i>H</i>	Desnível da bacia (dif. entre os pto. de maior e menor cota)	m
<i>t</i>	Tempo de duração da chuva	min
<i>T</i>	Período de retorno	anos
<i>i</i>	Intensidade de chuva crítica	mm/min
<i>P</i>	Precipitação	mm
<i>n</i>	Coeficiente de rugosidade	$s \cdot m^{-\frac{1}{3}}$
<i>V₁</i>	Volume de resíduos a ser aterrado	m ³
<i>P_l</i>	Produção diária de resíduos sólidos	kg
<i>γ</i>	Peso específico dos resíduos no interior da vala	t/m ³
<i>L_v</i>	Largura da vala	m
<i>H_v</i>	Profundidade da vala	m
<i>C_v</i>	Comprimento da vala	m
<i>V_e</i>	Volume de escavação	m ³
<i>V_{tc}</i>	Volume de terra para cobertura dos resíduos	m ³
<i>Q</i>	Vazão de pico	m ³ /s
<i>A</i>	Área total da bacia de drenagem	km ²
<i>I_m</i>	Intensidade média da precipitação	mm/h
<i>Cal</i>	Custo Anual de Investimento	R\$/ano
<i>CT</i>	Custo Total	R\$
<i>v.u.</i>	Vida útil do aterro	anos
<i>FRC</i>	Fator de Recuperação de Capital	-
<i>i</i>	Taxa de juros	%
<i>Cc</i>	Custo de Capital	R\$/ano
<i>Cunil</i>	Custo Unitário de Investimento	R\$/ton
<i>R</i>	Rendimento	ton/ano
<i>Cmo</i>	Custo da mão-de-obra	R\$/ano
<i>N</i>	Número de operários	-
<i>Fb</i>	Fator de Benefícios (1,4 a 2,0)	-
<i>So</i>	Salário do operário	R\$/ano
<i>P</i>	Proporção da jornada do supervisor (0,2-0,25)	-
<i>Ss</i>	Salário do supervisor	R\$/ano
<i>Na</i>	Número de trabalhadores administrativos	-
<i>Sa</i>	Salário dos trabalhadores administrativos	R\$/ano

<i>Cmo</i>	Custo mão-de-obra	R\$/ano
<i>Ce</i>	Custo de equipamentos	R\$/ano
<i>Cdg</i>	Custo de despesas gerais	R\$/ano
<i>Cse</i>	Custo de serviços de engenharia	R\$/ano
<i>Ci</i>	Custo imprevistos	R\$/ano
<i>C_{uni}O</i>	Custo unitário de operação	R\$/ton
<i>CaO</i>	Custo anual de operação	R\$/ton
<i>CuniAterro</i>	Custo unitário do aterro	R\$/ton
<i>Cunil</i>	Custo unitário de investimento	R\$/ton
<i>CuniO</i>	Custo unitário de operação	R\$/ton
<i>CaAterro</i>	Custo anual do aterro	R\$/ano

RESUMO

“Desenvolvimento de um Sistema de Apoio ao Dimensionamento e Estimativa de Custos de Aterros Sanitários em Trincheiras para Municípios de Pequeno Porte”

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema de apoio ao dimensionamento de aterros sanitários em trincheiras para municípios de pequeno porte através da geração de um programa computacional (software) que auxilie as prefeituras destes municípios a resolver problemas de disposição de resíduos sólidos em aterros. No decorrer deste trabalho discorre-se sobre generalidades sobre os resíduos sólidos urbanos, aspectos do seu gerenciamento, métodos de projeto e dimensionamento das principais estruturas componentes de um aterro sanitário em trincheiras, e sobre os elementos de custos de aterros sanitários. O *produto final* das pesquisas realizadas (software) é uma ferramenta de fácil utilização e possibilita tanto a especialistas, bem como indivíduos que pouco conhecem esta área de estudo, tomar decisões acertadas no que diz respeito à disposição final de resíduos.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos, Disposição Final, Sistema de Apoio ao Dimensionamento, Custos de Aterros Sanitários.

ABSTRACT

“Development of a Design Support System and Costs Estimate to Sanitary Landfills of Trenches for Small Cities”

The present work aims at the development of a design support system and costs estimate of sanitary landfills of trenches for small cities by creating a software that helps the prefecture of these small cities to solve problems related about the solid wastes disposal on landfills. On elapse this work discusses about generality of the municipal solid waste, the management aspects, planning methods and the main structure constituent design of a sanitary landfill of trenches and cost of sanitary landfills components. The *final product* of the undertaken researches (software) is a tool of easy utilization that allows not only specialist but also people who do not have a detailed knowledge of this area of study to make right decision about solid waste disposal.

Key words: Municipal Solid Wastes, Disposal, Design Support System, Sanitary Landfills Costs.

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 CONTEXTO DA PROBLEMÁTICA

A maioria dos municípios brasileiros dispõe seus resíduos sólidos domiciliares sem nenhum controle, uma prática de graves conseqüências: contaminação do ar, do solo, das águas superficiais e subterrâneas, criação de focos de organismos patogênicos, vetores de transmissão de doenças, com sérios impactos na saúde pública. O quadro vem se agravando com a presença de resíduos industriais e de serviços de saúde em muitos depósitos de resíduos domiciliares, e, não raramente, com pontos de disposição não autorizados, sem qualquer tipo de controle ambiental.

Nota-se que, na maioria dos municípios, o gerenciamento dos resíduos sólidos apresenta características muito semelhantes, da geração à disposição final, envolvendo apenas as atividades de coleta regular, transporte e destino final, em locais quase sempre selecionados pela disponibilidade de áreas e pela distância em relação ao centro urbano e às vias de acesso, ocorrendo a céu aberto, em valas etc. Em raras situações, este gerenciamento inclui procedimentos diferenciados: coleta seletiva, compostagem, tratamento térmico, etc., e, mesmo assim, freqüentemente esses processos são mal planejados, o que dificulta a operação e torna-os inviáveis em curtíssimo prazo.

O manejo inadequado de resíduos sólidos gera desperdícios, pois deixa de agregar valor à totalidade ou a uma fração destes através de programas de coleta seletiva, por exemplo, onde a reciclagem pode assegurar um valor econômico positivo na valorização dos materiais. A compostagem dos compostos orgânicos também pode ser outra forma de se agregar valor aos resíduos, pois através dela pode-se obter corretivos de solo de qualidade. Além de gerar desperdícios, o manejo inadequado contribui de forma importante à manutenção das desigualdades sociais, constitui ameaça constante à saúde pública e agrava a degradação ambiental, comprometendo a qualidade de vida das populações, especialmente nos centros

urbanos de médio e grande porte. Neste sentido, no Brasil, a ausência de definições políticas e diretrizes para a área de resíduos sólidos nos três níveis de governo (federal, estadual e municipal) associa-se à escassez de recursos financeiros que viabilizem sua implementação.

Portanto, a questão dos resíduos sólidos deve ser abordada com sua devida importância no que diz respeito à sua correta disposição final, visto que está diretamente relacionada com a saúde pública. Quanto maior a preocupação e precaução de tomar os devidos cuidados com a adequada disposição, menor o impacto ao meio ambiente. Executando a correta disposição final dos resíduos sólidos urbanos, de acordo com as normas técnicas, evita-se a contaminação das águas utilizadas no abastecimento das cidades, contaminação do solo e do ar, e propagação de vetores de muitas doenças.

Por outro lado, o crescimento populacional e o avanço do processo de industrialização, provocaram um crescimento da produção de resíduos sólidos e, igualmente, modificações qualitativas. Um bom exemplo é o significativo aumento de embalagens detectados nas últimas décadas, representando um verdadeiro desafio para seu equacionamento. A problemática da concentração urbana (ver Quadros 1.1 e 1.2) é uma tendência, que segundo dados da ONU, mostram que 3 bilhões de habitantes residirão em aglomerações urbanas (metade da população mundial). Deste total, 2 bilhões habitarão em cidades dos países de terceiro mundo.

QUADRO 1.1 – As maiores regiões Metropolitanas

Região Metropolitana	População (em milhões)
Tóquio	26,8
São Paulo	16,4
Nova York	16,3
Cidade do México	15,6
Bombay	15,1

Xangai	15,1
Los Angeles	12,4
Pequim	12,4
Calcutá	11,7
Seul	11,6

Fonte: TIME Special Issue – nov 97

QUADRO 1.2 - Distribuição da População Brasileira por porte dos Municípios (%)

Porte dos Municípios	X 1000 habitantes	População Total %	% de Municípios
Pequeno Porte	<5	2,6%	24,10%
	>5<20	17,1%	48,87%
	>20<40	13,5%	15,09%
	>40<50	3,5%	2,42%
	>50<100	12,3%	5,47%
Subtotal		49,0%	95,93%
Médio Porte	>100<300	15,6%	2,87%
	>300<500	7,8%	0,64%
	>500<1000	7,4%	0,33%
Subtotal		30,7%	3,83%
Grande Porte	>1000	20,3%	0,24%

Fonte: IBGE Censo 2000.

Considerando como municípios de pequeno porte aqueles com até 20.000 habitantes, da mesma maneira como foi considerado no projeto do PROSAB (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico) com o qual este trabalho está relacionado, o quadro 1.2 mostra que cerca de 73% dos municípios brasileiros se enquadram nesta realidade, onde habitam aproximadamente 20% da população brasileira. Isto reflete a importância deste trabalho em auxiliar na correta disposição dos resíduos sólidos em aterros sanitários, sob a forma de trincheiras, para os municípios de pequeno porte.

Neste contexto, desenvolver um sistema de dimensionamento automatizado de aterros sanitários em trincheiras para cidades de pequeno porte pode facilitar consideravelmente para que os resíduos sólidos sejam dispostos de maneira correta, economizando tempo e estabelecendo as devidas técnicas de projeto, sem muito investimento.

1.2 JUSTIFICATIVA

De maneira geral as pequenas comunidades e prefeituras de cidades de pequeno porte têm problemas com relação à disposição de seus resíduos sólidos urbanos, devido à falta de conhecimento, escassez de recursos, estrutura técnica inadequada e carência de especialistas na área de resíduos... Esta situação conduz a disposição dos resíduos a ser realizada de maneira incorreta, causando problemas graves ao meio ambiente e à saúde pública.

Assim, um sistema de apoio ao dimensionamento e estimativa de custos de aterros sanitários pode facilitar o acesso de pessoas que não possuam um conhecimento específico do assunto a tomar decisões mais acertadas na disposição final dos resíduos. Esta ferramenta de apoio pode ser muito útil no que diz respeito ao dimensionamento das principais estruturas de aterros sanitários.

Neste sentido, a importância do desenvolvimento deste trabalho é justificada pela necessidade dos municípios brasileiros, principalmente os de pequeno porte (devido à menor arrecadação e conseqüente menor disponibilidade de recursos), em dispor seus resíduos sólidos de maneira a causar o menor impacto possível ao meio ambiente. Este trabalho visa auxiliar estes municípios a dimensionar seus aterros sanitários em trincheiras através de um *software* que dimensiona as trincheiras do aterro, a drenagem de águas pluviais e de líquidos percolados, além de apresentar uma estimativa de custos para aterros.

O presente trabalho foi desenvolvido no contexto do projeto de pesquisa financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e pela Caixa Econômica Federal – CEF, no âmbito do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB, Edital 03. O projeto desenvolvido foi intitulado “Tecnologias de Apoio ao Desenvolvimento de Aterros Urbanos para Pequenos Municípios”, Edital 03, Rede III.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um programa informatizado (software) que contribua para o dimensionamento de aterros sanitários em trincheiras, bem como os sistemas de drenagem de águas pluviais, de líquidos percolados e dos custos de investimento e operação de aterros sanitários em trincheiras.

Este programa (*software*) irá auxiliar pequenas comunidades e prefeituras de cidades de pequeno porte a resolver problemas de disposição de resíduos sólidos urbanos, de maneira a minimizar os impactos ao meio ambiente e garantir a saúde pública.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um modelo de dimensionamento de aterros sanitários sob a forma de valas ou trincheiras;
- Desenvolver um modelo de cálculo dos canais de drenagem das águas pluviais;
- Desenvolver um modelo de cálculo dos canais de drenagem de líquidos percolados;
- Desenvolver um modelo de levantamento e determinação dos elementos de custos de aterros sanitários;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GENERALIDADES SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL

2.1.1 PRINCIPAIS DEFINIÇÕES DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

De acordo com o dicionário de Holanda (2000), “lixo é tudo aquilo que não se quer mais e se joga fora; coisas inúteis, velhas e sem valor”. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT- define os resíduos sólidos como os “restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis, podendo-se apresentar no estado sólido, semi-sólido ou líquido, desde que não seja passível de tratamento convencional”.

Normalmente os autores de publicações sobre resíduos sólidos utilizam indistintamente os termos “lixo” e “resíduos sólidos”. Neste trabalho, resíduos sólidos são considerados como todo e qualquer material sólido ou semi-sólido gerados pelas atividades humanas, industrial ou de consumo, cujo proprietário ou detentor do resíduo, não o considera mais com valor econômico positivo para conservá-lo (Borges de Castilhos, 2001).

Segundo MONTEIRO et al (2001) há de se destacar, no entanto, a relatividade da característica inservível dos resíduos sólidos, pois aquilo que já não apresenta nenhuma serventia para quem o descarta, para outro pode se tornar matéria-prima para um novo produto ou processo. Nesse sentido, a idéia do reaproveitamento dos resíduos sólidos é um convite à reflexão do próprio conceito clássico de resíduos sólidos. É como se este material pudesse ser conceituado como tal somente quando da inexistência de mais alguém para reivindicar uma nova utilização dos elementos então descartados.

2.1.2 CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos podem ser classificados de diversas maneiras. As mais comuns são quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente e quanto à natureza ou origem. Portanto, os resíduos sólidos podem ser classificados como :

2.1.2.1 Quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente

De acordo com a NBR 10.004 da ABNT, os resíduos sólidos podem ser classificados em:

CLASSE I OU PERIGOSOS : são aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

CLASSE II OU NÃO-INERTES: São os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos – ou classe III – Inertes.

CLASSE III OU INERTES : São aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma NBR 10.007, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, conforme teste de solubilização segundo a norma NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, conforme listagem nº 8 (Anexo H da NBR 10.004), excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

2.1.2.2 Quanto à natureza ou origem

A origem é o principal elemento para a caracterização dos resíduos sólidos. Segundo este critério, os diferentes tipos de resíduos podem ser agrupados em cinco classes:

- Doméstico ou residencial
- Comercial
- Público
- Domiciliar especial:
 - Entulho de obras
 - Pilhas e baterias
 - Lâmpadas fluorescentes
 - Pneus
- Fontes especiais
 - Industrial
 - Radioativo
 - Portos, aeroportos e terminais rodoferroviários
 - Agrícola
 - Resíduos de serviços de saúde

DOMÉSTICO OU RESIDENCIAL: São os resíduos gerados nas atividades diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais.

COMERCIAL: São os resíduos gerados em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade ali desenvolvida. Nas atividades de limpeza urbana, os tipos “doméstico” e “comercial” constituem o chamado “resíduo sólido domiciliar”, que, junto com os resíduos públicos, representam a maior parcela dos resíduos sólidos produzidos nas cidades. O regulamento de limpeza urbana do município poderá definir precisamente os subgrupos de pequenos e grandes geradores. Pode-se adotar como parâmetro:

Pequeno gerador de Resíduos Comerciais é o estabelecimento que gera até 120 litros de resíduos por dia.

Grande gerador de Resíduos Comerciais é o estabelecimento que gera um volume de resíduos superior a esse limite. Analogamente, pequeno gerador de entulho de obras é a pessoa física ou jurídica que gera até 1.000 kg ou 50 sacos de 30 litros por dia, enquanto grande gerador de entulho é aquele que gera um volume diário de resíduos acima disso. Geralmente, o limite estabelecido na definição de pequenos e grandes geradores de resíduos sólidos deve corresponder à quantidade média de resíduos gerados diariamente em uma residência particular com cinco moradores.

Num sistema de limpeza urbana, é importante que sejam criados os subgrupos de “pequenos” e “grandes” geradores, uma vez que a coleta dos resíduos dos grandes geradores pode ser tarifada e, portanto, se transformar em fonte de receita adicional para sustentação econômica do sistema. É importante identificar o grande gerador para que este tenha seus resíduos sólidos coletados e transportados por empresa particular credenciada pela prefeitura. Esta prática diminui o custo da coleta para o Município em cerca de 10 a 20%.

PÚBLICO: São os resíduos presentes nos logradouros públicos, em geral resultantes da natureza, tais como folhas, galhadas, poeira, terra e areia, e também aqueles descartados irregular e indevidamente pela população, como entulho, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos. O resíduo sólido público está diretamente associado ao aspecto estético da cidade. Portanto, merecerá especial atenção o planejamento das atividades de limpeza de logradouros em cidades turísticas.

DOMICILIAR ESPECIAL Grupo que compreende os entulhos de obras, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus. Os entulhos de obra, também conhecidos como resíduos da construção civil, só estão enquadrados nesta categoria por causa

da grande quantidade de sua geração e pela importância que sua recuperação e reciclagem vem assumindo no cenário nacional.

- Entulhos de Obras - A indústria da construção civil é a que mais explora recursos naturais. Além disso, a construção civil também é a indústria que mais gera resíduos. No Brasil, a tecnologia construtiva normalmente aplicada favorece o desperdício na execução das novas edificações. Enquanto em países desenvolvidos a média de resíduos proveniente de novas edificações encontra-se abaixo de 100kg/m², no Brasil este índice gira em torno de 300kg/m² edificado. Em termos quantitativos, esse material corresponde a algo em torno de 50% da quantidade em peso de resíduos sólidos urbanos coletada em cidades com mais de 500 mil habitantes de diferentes países, inclusive o Brasil. Em termos de composição, os resíduos da construção civil são uma mistura de materiais inertes, tais como concreto, argamassa, madeira, plásticos, papelão, vidros, metais, cerâmica e terra.

QUADRO 2.1 - Composição média dos entulhos no Brasil

Componentes	Valores (%)
Argamassa	63,0
Concreto e blocos	29,0
Outros	7,0
Orgânicos	1,0
Total	100,0

Fonte: MONTEIRO et al. (2001)

- Pilhas e baterias - As pilhas e baterias têm como princípio básico converter energia química em energia elétrica utilizando um metal como combustível. Apresentando-se sob várias formas (cilíndricas, retangulares, botões), podem conter um ou mais dos seguintes metais: chumbo (Pb), cádmio (Cd), mercúrio

(Hg), níquel (Ni), prata (Ag), lítio (Li), zinco (Zn), manganês (Mn) e seus compostos. As substâncias das pilhas que contêm esses metais possuem características de corrosividade, reatividade e toxicidade e são classificadas como “Resíduos Perigosos – Classe I”. As substâncias contendo cádmio, chumbo, mercúrio, prata e níquel causam impactos negativos sobre o meio ambiente e, em especial, sobre o homem. Outras substâncias presentes nas pilhas e baterias, como o zinco, o manganês e o lítio, embora não estejam limitadas pela NBR 10.004, também causam problemas ao meio ambiente.

- Lâmpadas Fluorescentes - O pó que se torna luminoso encontrado no interior das lâmpadas fluorescentes contém mercúrio. Isso não está restrito apenas às lâmpadas fluorescentes comuns de forma tubular, mas encontra-se também nas lâmpadas fluorescentes compactas. As lâmpadas fluorescentes liberam mercúrio quando são quebradas, queimadas ou enterradas em aterros sanitários, o que as transforma em resíduos perigosos Classe I, uma vez que o mercúrio é tóxico para o sistema nervoso humano e, quando inalado ou ingerido, pode causar uma enorme variedade de problemas fisiológicos.
- Pneus - São muitos os problemas ambientais gerados pela destinação inadequada dos pneus. Se deixados em ambiente aberto, sujeito a chuvas, os pneus acumulam água, local para a proliferação de mosquitos. Se encaminhados para aterros convencionais, causam instabilidade do aterro. Se destinados em unidades de incineração, a queima da borracha gera enormes quantidades de material particulado e gases tóxicos, necessitando de um sistema de tratamento dos gases extremamente eficiente e caro. Por todas essas razões, o descarte de pneus é hoje um problema ambiental grave ainda sem uma destinação realmente eficaz.

FONTES ESPECIAIS: São resíduos que, em função de suas características peculiares, passam a merecer cuidados especiais em seu manuseio,

condicionamento, estocagem, transporte e disposição final. Dentro da classe de resíduos de fontes especiais, merecem destaque:

- Industrial - São os resíduos gerados pelas atividades industriais. São resíduos muito variados que apresentam características diversificadas, pois estas dependem do tipo de produto manufaturado. Devem, portanto, ser estudados caso a caso. Adota-se a NBR 10.004 da ABNT para se classificar os resíduos industriais: Classe I (Perigosos), Classe II (Não-Inertes) e Classe III (Inertes).
- Radioativos - Assim considerados os resíduos que emitem radiações acima dos limites permitidos pelas normas ambientais. No Brasil, o manuseio, acondicionamento e disposição final do resíduo radioativo está a cargo da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN.
- Portos, Aeroportos e Terminais Rodoferroviários - Resíduos gerados tanto nos terminais, como dentro dos navios, aviões e veículos de transporte. Os resíduos dos portos e aeroportos são decorrentes do consumo de passageiros em veículos e aeronaves e sua periculosidade está no risco de transmissão de doenças já erradicadas no país. A transmissão também pode se dar através de cargas eventualmente contaminadas, tais como animais, carnes e plantas.
- Agrícola - Formado basicamente pelos restos de embalagens impregnados com pesticidas e fertilizantes químicos, utilizados na agricultura, que são perigosos. Portanto o manuseio destes resíduos segue as mesmas rotinas e utiliza os mesmos recipientes e processos empregados para os resíduos industriais Classe I. A falta de fiscalização e de penalidades mais rigorosas para o manuseio inadequado destes resíduos faz com que sejam misturados aos resíduos comuns e dispostos nos vazadouros das municipalidades.
- Resíduos de Serviços de Saúde - Compreende todos os resíduos gerados nas instituições destinadas à preservação da saúde da população. São os resíduos

produzidos em hospitais, clínicas médicas e veterinárias, laboratórios de análises clínicas, farmácias, centros de saúde, consultórios odontológicos e outros estabelecimentos afins. Esses resíduos podem ser agrupados em dois níveis distintos:

Resíduos Comuns: compreendem os restos de alimentos, papéis, invólucros, etc.

Resíduos Sépticos: constituídos de restos de salas de cirurgia, áreas de isolamento, centros de hemodiálise, etc. O seu manuseio (acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final) exige atenção especial, devido ao potencial risco à saúde pública que podem oferecer.

O quadro 2.2 a seguir apresenta quem são os responsáveis pela destinação de diferentes tipos de resíduos, segundo Jardim et al (1995):

QUADRO 2.2 – Tipos de Resíduos e seus responsáveis

TIPOS DE RESÍDUO	RESPONSÁVEL
Domiciliar	Prefeitura
Comercial	Prefeitura*
De Serviços	Prefeitura
Industrial	Gerador (indústrias)
Serviços de saúde	Gerador (hospitais, etc.)
Portos, aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários	Gerador (portos, etc.)
Agrícola	Gerador (agricultor)
Entulho	Gerador*
Radioativo	CNEN

Obs: (*) a Prefeitura é co-responsável por pequenas quantidades (geralmente menos que 50kg/dia), e de acordo com a legislação municipal específica.

Fonte: JARDIM et al. (1995).

2.1.3 CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Segundo MONTEIRO et al (2001) as características dos resíduos sólidos podem variar em função de aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos, ou seja, os mesmos fatores que também diferenciam as comunidades entre si e as próprias cidades. O Quadro 2.3 expressa a variação das composições dos resíduos sólidos em alguns países.

QUADRO 2.3 – Composição Gravimétrica dos Resíduos

Composição Gravimétrica dos resíduos sólidos de alguns países (%)				
COMPOSTO	BRASIL	ALEMANHA	HOLANDA	EUA
Matéria Orgânica	65,00	61,20	50,30	35,60
Vidro	3,0	10,40	14,50	8,20
Metal	4,0	3,80	6,70	8,70
Plástico	3,0	5,80	6,0	6,50
Papel	25,0	18,80	22,50	41,00

Fonte: MONTEIRO et al (2001)

2.1.3.1 Características Físicas

De acordo com a NBR 10.004 da ABNT, os resíduos sólidos podem ser caracterizados através dos seguintes parâmetros:

- Geração *per capita*
- Composição gravimétrica
- Peso específico aparente
- Teor de umidade
- Compressibilidade

Porém, a *geração per capita* de resíduos não caracteriza os resíduos, a norma da ABNT não poderia incluir este item como um dos parâmetros de caracterização dos resíduos, pois apenas relaciona a quantidade de resíduos urbanos gerados diariamente e o número de habitantes de determinada região. Muitos técnicos consideram de 0,5 a 0,8 kg/hab. /dia como a faixa de variação média para o Brasil. Na ausência de dados mais precisos, a *geração per capita* pode ser estimada através do Quadro 2.4 apresentado a seguir.

QUADRO 2.4– Estimativa de geração *per capita* de acordo com o tamanho da cidade e população

Faixas mais utilizadas em estimativa de geração <i>per capita</i>		
TAMANHO DA CIDADE	POPULAÇÃO URBANA (habitantes)	GERAÇÃO <i>PER CAPITA</i> (Kg/ hab. / dia)
Pequena	Até 30 mil	0,50
Média	De 30 mil a 500 mil	De 0,50 a 0,80
Grande	De 500 mil a 5 milhões	De 0,80 a 1,00
Megalópole	Acima de 5 milhões	Acima de 1,00

Fonte: MONTEIRO et al (2001)

- o Composição Gravimétrica: A composição gravimétrica traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de resíduos analisada. Os componentes mais utilizados na determinação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos encontram-se no Quadro 2.5.

Entretanto, muitos técnicos tendem a simplificar, considerando apenas alguns componentes, tais como papel/ papelão; plásticos; vidros; metais; matéria orgânica e outros. Esse tipo de composição simplificada, embora possa ser usada no dimensionamento de uma usina de compostagem e de outras unidades de um sistema de limpeza urbana, não se presta, por exemplo, a um estudo preciso de reciclagem ou de coleta seletiva, já que o mercado de plásticos rígidos é bem

diferente do mercado de plásticos maleáveis, assim como os mercados de ferrosos e não-ferrosos.

QUADRO 2.5 – Componentes da Composição Gravimétrica

Componentes mais comuns da composição gravimétrica		
Matéria Orgânica	Metal Ferroso	Borracha
Papel	Metal Não-Ferroso	Couro
Papelão	Alumínio	Pano/ Trapos
Plástico Rígido	Vidro Claro	Ossos
Plástico Maleável	Vidro Escuro	Cerâmica
PET	Madeira	Agregado Fino

Fonte: MONTEIRO et al (2001)

A escolha dos componentes da composição gravimétrica é função direta do tipo de estudo que se pretende realizar e deve ser cuidadosamente feita para não acarretar distorções.

- o Massa Específica Aparente: Massa específica aparente é a massa do resíduo solto em função do volume ocupado livremente, sem qualquer compactação, expresso em kg/m^3 . Sua determinação é fundamental para o dimensionamento de equipamentos e instalações.
- o Teor de Umidade: O teor de umidade representa a quantidade de água presente nos resíduos, medida em percentual do seu peso. Este parâmetro se altera em função das estações do ano e da incidência de chuvas, podendo-se estimar um teor de umidade variando em torno de 40 a 60%.
- o Compressividade: É o grau de compactação ou a redução do volume que uma massa de resíduos pode sofrer quando compactada. Submetido a uma pressão de 4kg/cm^2 , o volume do resíduo pode ser reduzido a um terço (1/3) ou até a um quarto (1/4) do seu volume original. Analogamente à compressão, a massa de

resíduos tende a se expandir quando é extinta a pressão que a compacta, sem, no entanto, voltar ao volume anterior. Esse fenômeno chama-se empolgação e deve ser considerado nas operações de aterro com resíduos sólidos.

2.1.3.2 Características Químicas

Quanto às características químicas os resíduos podem ser classificados de acordo com:

- Poder calorífico
 - Potencial Hidrogeniônico (pH)
 - Composição Química
 - Relação Carbono/ Nitrogênio (C: N)
-
- Poder Calorífico: Esta característica química indica a capacidade potencial de um material desprender determinada quantidade de calor quando submetido à queima. O poder calorífico médio do resíduo domiciliar se situa na faixa de 5.000kcal/kg.
 - Potencial Hidrogeniônico (pH): O potencial hidrogeniônico indica o teor de acidez ou alcalinidade dos resíduos. Em geral, situa-se na faixa de 5 a 7.
 - Composição Química: A composição química consiste na determinação dos teores de cinzas, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, resíduo mineral total, resíduo mineral solúvel e gorduras.
 - Relação Carbono/Nitrogênio (C: N): A relação carbono/ nitrogênio indica o grau de decomposição da matéria orgânica dos resíduos nos processos de tratamento/ disposição final.

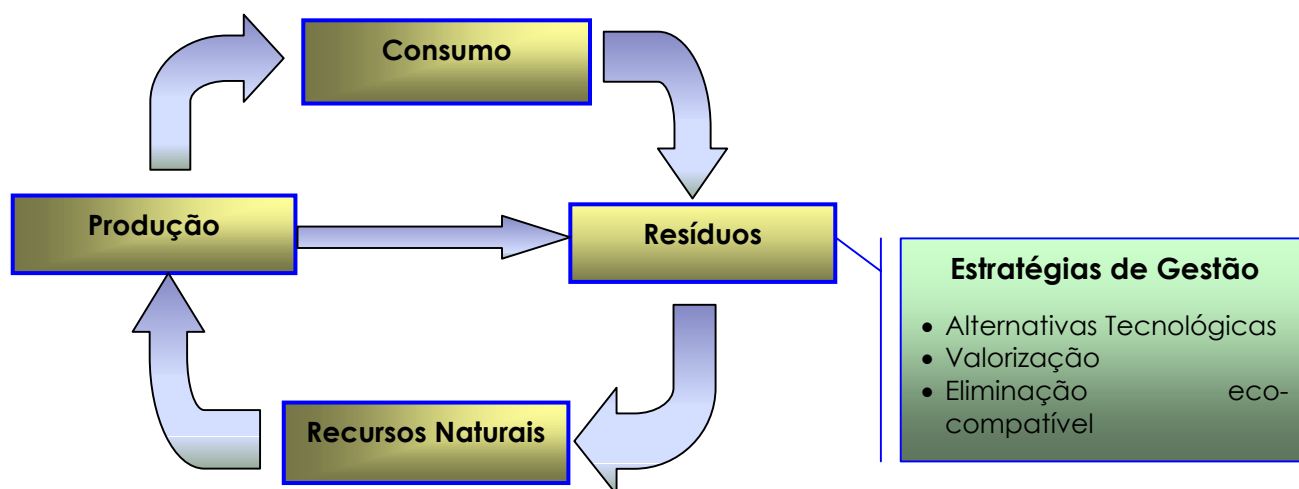
2.1.3.3 Características Biológicas

As características biológicas dos resíduos sólidos são aquelas determinadas pela população microbiana e dos agentes patogênicos presentes nos resíduos que, ao lado das suas características químicas, permitem que sejam selecionados os métodos de tratamento e disposição final adequados. O conhecimento das características biológicas dos resíduos tem sido muito utilizado no desenvolvimento de inibidores de cheiro e de retardadores/aceleradores da decomposição da matéria orgânica, normalmente aplicados no interior de veículos de coleta para evitar ou minimizar problemas com a população ao longo do percurso dos veículos. Da mesma forma, estão em desenvolvimento processo de destinação final e de recuperação de áreas degradadas com base nas características biológicas dos resíduos.

2.2. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

2.2.1 Diretrizes Principais da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos

O gerenciamento de resíduos sólidos urbanos pode ser comparado aos ciclos biogeoquímicos, onde o surgimento dos materiais residuais decorre da utilização dos recursos naturais para as atividades de produção e consumo. Para o fechamento do ciclo (Figura 2.1) é de importância fundamental inserir os resíduos na natureza, de uma forma ambientalmente compatível. Para tanto, sugere-se 03 estratégias de gerenciamento principais, conforme preconiza Castilhos Jr. (1999).



FONTE: Castilhos JR, 1999.

Figura 2.1. Estratégias de Gestão para os Resíduos Produzidos pelas Atividades Humanas.

Estratégias de Gestão

Alternativas Tecnológicas: Modificação ou abandono de certos processos ou modos de consumo geradores de resíduos. Inversão do atual fluxo de geração dos resíduos.

Valorização dos Materiais: Assegurar a busca de um valor econômico positivo para a totalidade dos resíduos ou para uma fração destes.

Eliminação Eco-compatível: Integração dos resíduos não valorizados nos ciclos naturais.

2.2.2 Componentes do Sistema de Gerenciamento de Resíduos de um Município

A forma de gestão deve ir muito além das considerações tecnológicas e operacionais. A necessidade do estabelecimento de um gerenciamento sustentável para os resíduos sólidos, pressupõe, uma abordagem integrada que deve compreender uma ordem de prioridades:

- Eliminação dos lixões com a construção imediata de um aterro sanitário,
- Redução de volume e da toxidez dos resíduos sólidos gerados;
- Redução do desperdício, a reutilização e a reciclagem de resíduos, incluindo a compostagem e a recuperação de energia;
- Efetividade de tratamento físico, químico e biológico dos resíduos.

a) **Planejamento estratégico**

Para o estabelecimento de metas e ações torna-se fundamental:

- Desenvolver um estudo para diagnosticar a prestação dos serviços;
- Quantificar e qualificar os resíduos produzidos e coletados;
- Levantar as características urbanas e sociais do município;
- Inventariar áreas em utilização e que possam ser aproveitadas para edificações e sistemas de tratamento de resíduos;
- Definir um Modelo de Gestão de Resíduos, que venha ao encontro dos anseios da comunidade local;

- Elaborar um cronograma de ações em função das prioridades técnicas, econômicas e políticas.

b) Regulamento de limpeza urbana

Basicamente, com pequenas variações, os serviços operacionais compreendem:

- Coleta de resíduos,
- Varrição, capina e lavagem de logradouros,
- Limpeza de locais após eventos, limpeza de bocas-de-lobo, remoção de entulhos,
- Limpeza de praias, parques e jardins,
- Tratamento dos resíduos e,
- Serviços de quantificação, inspeção, controle, compactação e recobrimento dos resíduos nas áreas de destinação final.

Na operação dos serviços tanto a abrangência (cobertura), como a frequência e a pontualidade são fatores essenciais para a credibilidade do sistema. Ampliar os serviços além da capacidade operacional do mesmo pode trazer prejuízos significativos.

c) Estrutura Técnica

Os técnicos de limpeza urbana deverão definir, quantificar e planejar a execução dos serviços de forma a atender satisfatoriamente às necessidades do município, otimizando, os recursos disponíveis para a execução dos serviços. Todos os serviços deverão ser rotineiros, programados, e sistematizados. Deverão ser registrados em relatórios, constantemente atualizados em mapas, com revisão e aperfeiçoamento rotineiros considerando a dinâmica que se constitui as atividades de limpeza urbana.

Os projetos deverão ser desenvolvidos de forma integrada e complementar, sendo necessário o perfeito entrosamento entre os técnicos. Devem ser propiciados

treinamentos, atualizações técnicas, reciclagens, visitas técnicas para propiciar o intercâmbio e uma melhor aprendizagem dos profissionais envolvidos com a limpeza urbana.

O serviço de coleta dos resíduos constitui-se na principal atividade de limpeza urbana praticada nos municípios. Na maioria das vezes configura-se como a primeira preocupação dos administradores e a única dos munícipes. Essa remoção elimina no entorno imediato dos locais de geração, os inconvenientes decorrentes do processo de decomposição da matéria orgânica (odores, geração de líquidos percolados e mau cheiro) além de afastar os vetores (moscas, ratos, baratas, etc.), e o que é mais visível: melhoria substancial do aspecto estético.

Em função do tipo de resíduo a ser transportado as principais categorias de coleta são:

- De resíduos domiciliares e comerciais;
- De resíduos dos serviços de saúde;
- De resíduos provenientes de varrição;
- De resíduos provenientes de capina e podas;
- De resíduos orgânicos de grandes geradores;
- De entulhos, terra e material proveniente de obras em geral;
- De resíduos industriais e perigosos e;
- De animais mortos e resíduos especiais.

2.2.3 Sistemas de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos

a) **ATERROS SANITÁRIOS**

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em sua NBR 8419, que trata da Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos, os aterros sanitários consistem em técnica de disposição de resíduos

sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos a menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores se for necessário.

Ainda segundo o IPT/CEMPRE (2000), Aterro Sanitário é um processo utilizado para disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente resíduos domiciliares que, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permite um confinamento seguro e termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública.

Outra definição o apresenta como forma de disposição final de resíduos urbanos no solo, mediante confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais.

A aplicação desse processo é difundida em quase todo o mundo, por se apresentar como a solução mais econômica, quando comparada a outros processos (compostagem ou incineração, por exemplo), que exigem grandes investimentos para a construção e para a manutenção da estrutura técnico-administrativa de operação.

Embora em alguns casos, os sistemas de compostagem e a incineração tornem-se viáveis economicamente, como é geralmente o caso nas grandes cidades, deve-se ressaltar que tais métodos não descartam a existência de aterros sanitários em suas proximidades, uma vez que esses sistemas produzem resíduos do processo, os quais não são aproveitáveis, ou ainda por falta de segurança, na ocorrência de imprevistos que paralise as instalações.

A maioria das cidades brasileiras confunde aterro sanitário com “vazadouros”, “lixões”, “depósitos”, etc., métodos que, desprovidos de critérios científicos ou ecológicos, são condenados sob o ponto de vista sanitário. Ressalte-se também que resíduos sólidos urbanos contam com grande parte de matéria orgânica, que entram rapidamente em decomposição ao ar livre, proliferando moscas, baratas, ratos, urubus, além de exalar mau-cheiro.

A falta de revolvimento periódico dessa massa orgânica faz com que o oxigênio em seu interior seja rapidamente consumido pela ação bacteriana, dando lugar à decomposição anaeróbica, com desprendimento de gases, como o metano, o gás carbônico, e alguns gases de odores desagradáveis, como o gás sulfídrico e mercaptanas, entre outros.

Outro fator preocupante é a formação do “líquidos percolados” (fração líquida, escura, ácida e de odor desagradável), durante a decomposição anaeróbia. Esse líquido pode infiltrar-se no solo, podendo vir a poluir e contaminar as águas superficiais e subterrâneas. Segundo LUZ (1981), pode-se definir “chorume” como o líquido oriundo da decomposição dos resíduos, proveniente de três fontes:

- *Umidade natural dos resíduos, que se agrava sensivelmente nos períodos prolongados de chuva, principalmente se forem usados recipientes abertos no acondicionamento;*
- *Água de constituição dos vários materiais, que sobra durante a decomposição;*
- *Líquidos provenientes da dissolução da matéria orgânica pelas enzimas expelidas pelas bactérias. Esses microrganismos unicelulares, para se alimentarem, expelem enzimas que dissolvem a matéria orgânica, possibilitando em seguida a absorção através das suas membranas. O excesso escorre como líquido negro, característico de resíduos orgânicos em decomposição (LUZ, 1981).*

E percolados, ainda de acordo com (LUZ, 1981):

São as águas pluviais não desviadas da área onde se realiza o aterro, infiltrações de lagoas vizinhas ou do próprio lençol freático e nascentes não detectadas por ocasião da escolha do local, cuja vazão se intensifica nos períodos de chuva prolongada. Depois de atingido o ponto de saturação da massa disposta no aterro, essas águas escorrem arrastando o chorume e outros elementos prejudiciais tanto para o lençol subterrâneo como para os cursos de água próximos.

Segundo FELLEBERG (1980), os componentes orgânicos dos resíduos sólidos sofrem decomposição bacteriana. A umidade que se desprende dos resíduos arrastam consigo muitas substâncias sulfuradas, nitrogenadas e cloradas, tóxicas e de odor desagradável, situação que se assemelha à destilação por arraste de vapor, que ocorre na queima do cigarro. Particularmente em períodos de chuva, ocorrem nos depósitos de resíduos, infiltrações de água que penetram até as águas subterrâneas. Substâncias solúveis presentes nos resíduos são, assim, arrastadas para as camadas mais profundas do solo.

Vantagens e desvantagens dos aterros sanitários:

De acordo com a ABES (1999), a disposição final dos resíduos sólidos em aterros sanitários apresentam as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Solicitam em sua execução e operação equipamentos normalmente utilizados em serviços de terraplanagem;
- Possibilitam a recuperação de áreas topograficamente inutilizadas;
- Controlam a proliferação de vetores, tais como ratos e artrópodes;
- Dispensam mão-de-obra especializada na operação;
- Os custos normalmente são inferiores aos das usinas de compostagem e das instalações de incineração.

Desvantagens:

- Poderá ser necessário o transporte de resíduos a longa distância;
- Desvalorização imobiliária das áreas destinadas ao aterro, caso elas não necessitem de recuperação topográfica;
- Produção de águas residuárias;
- Possibilidade de poluição do lençol freático quando planejado ou operado de forma inadequada;
- Período longo para a estabilização do solo do aterro;
- Produção de ruídos e poeiras durante a fase de execução e operação.

b) INCINERAÇÃO

De acordo com a ABES (1999) a prática de empilhar resíduos e atear fogo ao ar livre é um costume que vem de vários séculos. Esta atividade visava principalmente evitar que a parcela orgânica dos resíduos entrassem em decomposição, propagando vetores como ratos, baratas, moscas, além do mau-cheiro. Com o crescimento das cidades e o estabelecimento dos serviços de coleta seletiva dos resíduos sólidos, esta prática tornou-se inadequada, devido aos incômodos causados às vizinhanças e aos danos provocados ao meio ambiente.

Entretanto, é bastante comum verificar nos dias de hoje a adoção deste procedimento, principalmente na zona rural e na periferia das cidades, onde os serviços de coleta de resíduos se mostrem deficientes (LIMA, 1986). Já há algum tempo, principalmente nas grandes metrópoles, em que a existência de áreas para a construção de aterros sanitários é cada vez mais escassa, a incineração vem sendo apontada como uma das alternativas de tratamento de resíduos sólidos.

A incineração de resíduos consiste na sua combustão, controlada através de equipamentos especiais denominados incineradores; ela é considerada um método

de tratamento de resíduos sólidos, semi-sólidos e líquidos. Basicamente, a incineração consiste num processo de redução de peso e volume dos resíduos. Os remanescentes da queima são geralmente constituídos de gases, como o anidrido carbônico (CO_2), o anidrido sulfuroso (SO_2), o nitrogênio (N_2), o oxigênio (O_2) proveniente do ar em excesso que não foi queimado completamente, água (H_2O), cinzas e escórias constituídas de metais ferrosos e inertes, como vidro e pedras.

A escória, geralmente da ordem de 15 a 20% da massa original do resíduo, deve ser encaminhada para um aterro sanitário, e a sucata de ferro pode ser reciclada. Quando a combustão é incompleta, os gases, principalmente o monóxido de carbono (CO) e partículas (fuligem ou negro de fumo) exercem forte ação poluidora na atmosfera. Portanto, é imprescindível que os incineradores modernos contem, além da câmara de combustão, com equipamentos complementares, como filtros destinados ao tratamento de gases e agregados leves resultantes da combustão dos resíduos (CETESB, 1985).

Outro aspecto importante a ser considerado na instalação de incineradores é a possibilidade da recuperação do calor gerado no processo da queima dos resíduos.

Vantagens e Desvantagens da Incineração

São vantagens relevantes da incineração:

- Redução dos resíduos a até 5% do volume e 15% do peso original, transformando-os em cinzas e escória, e aumentando consideravelmente o período de vida útil do aterro;
- Eliminação satisfatória, sob o ponto de vista sanitário, de resíduos de serviços de saúde, alimentos, medicamentos vencidos, sobras de laboratórios e animais mortos;
- Diminuição de distância de transporte, devido à possibilidade de localização da instalação em áreas próximas aos centros urbanos;

- Bom funcionamento, independente das condições meteorológicas;
- Possibilidade de recuperação de energia contida nos resíduos.

Como desvantagens desse processo, destacam-se:

- Investimento elevado;
- Alto custo de operação e manutenção;
- Possibilidade de causar poluição atmosférica quando o incinerador é mal projetado ou mal operado;
- Exigência de mão-de-obra especializada na operação.

2.2.4. Aterro Sanitário como Sistema de Disposição Final: Elementos Principais

A fim de definir uma linguagem comum referente ao assunto, são descritos abaixo as principais definições e temas relativos 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: 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.

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 final também em a função de dar suporte a vegetação de cobertura do aterro.

Lixiviado: também denominado de chorume ou percolado, 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 (TCHOBANOGLIOUS, THEISEN e VIRGIL, 1993).

Gases: são o resultado dos processos biológicos de decomposição da matéria orgânica presente na massa dos resíduos urbanos e da volatilização de compostos existentes nos mesmos. Os gases são constituídos por diversos elementos entre eles: metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2), hidrogênio (H_2), monóxido de carbono (CO), amônia (NH_3), ácido sulfídrico (H_2S) e traços de compostos orgânicos.

Sistema de Impermeabilização: tem como objetivo criar uma barreira física para os líquidos percolados 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).

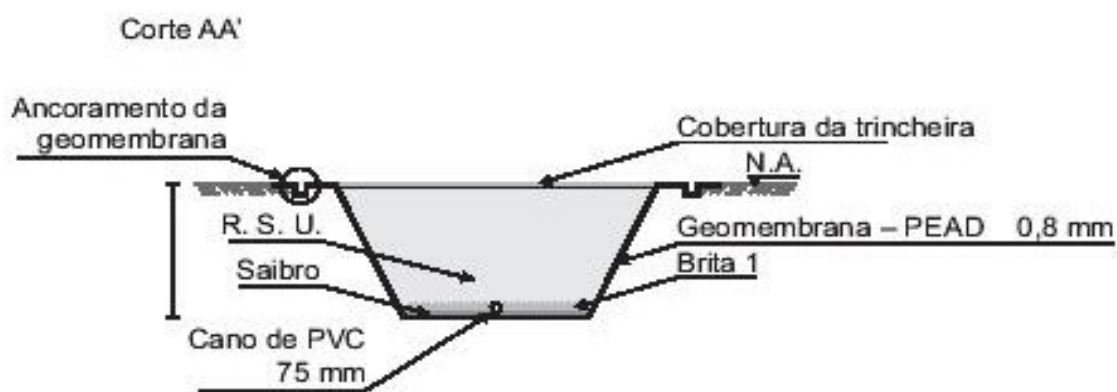
Sistema de drenagem: os sistemas de drenagem visam atender a três objetivos: controle do escoamento superficial, coleta/ extração dos líquidos percolados e coleta/ extração dos gases produzidos no aterro. De maneira a atender a estes objetivos estes sistemas são constituídos de materiais e estruturas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

Instalações de apoio e controle operacional: constitui a infraestrutura necessária para o desenvolvimento das atividades operacionais, as quais incluem as instalações administrativas, instalações para armazenamento de materiais e equipamentos, instalações para pesagem dos resíduos. O arranjo e necessidade das instalações de apoio e controle variam de acordo com o porte do aterro.

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

Sistemas de Operação de Aterros Sanitários

De acordo com CEMPRE (2000), o processo de aterramento pode ser executado sob uma das três formas tradicionalmente empregadas: método da trincheira ou vala, método da rampa e método da área.



Fonte: Castilhos Jr. et al (2003)

Figura 2.2 - Figura Ilustrativa de Corte de Trincheira de Aterro Sanitário

- Método da trincheira ou vala: consiste na abertura de valas, onde o resíduo é disposto, compactado e posteriormente coberto com solo. As valas podem ser de pequena (operação manual) ou de grande dimensões (permitindo a entrada de equipamentos maiores em seu interior);
- Método da rampa: conhecido também como método da escavação progressiva, é fundamentado na escavação da rampa, onde o resíduo é disposto e compactado pelo trator e posteriormente coberto com solo. É empregado em áreas de meia encosta, onde o solo natural ofereça boas condições para ser escavado e, de preferência, possa ser utilizado como material de cobertura;
- Método da área: é empregado geralmente em locais de topografia plana e lençol freático raso.

2.3 MÉTODOS DE PROJETO E DIMENSIONAMENTO DAS PRINCIPAIS ESTRUTURAS DE ATERROS SANITÁRIOS

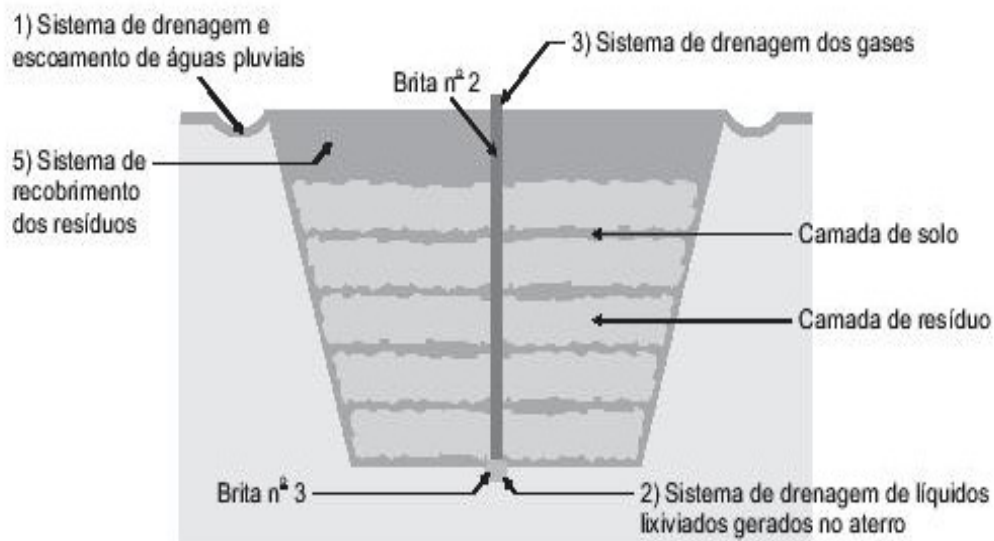
2.3.1 Projeção da Geração dos Resíduos Sólidos Urbanos e Vida Útil do Aterro

Para se realizar a projeção de geração de resíduos sólidos urbanos em uma comunidade ou município deve-se conhecer diversos fatores que influenciam este cálculo. Para isto, deve-se considerar parâmetros como: a produção per-capita, a produção diária de resíduos, sua população, o percentual da população atendida pelo serviço de coleta, a taxa de crescimento populacional, a taxa de crescimento do atendimento do serviço de coleta, o ano de início de operação do aterro.

Não há um procedimento específico para realizar estes cálculos, existem algumas maneiras diferentes de realizar praticamente o mesmo cálculo matemático, que podem ser diferenciados apenas no que se refere aos fatores considerados, seqüência dos cálculos, etc, mas que apresentarão os mesmos resultados.

Dimensionamento das Trincheiras

Segundo CETESB (1997), o dimensionamento das trincheiras é uma tarefa relativamente simples. Basicamente, em decorrência das limitações operacionais, algumas dimensões devem ser pré-fixadas. A largura das valas não deve exceder três metros. Como a descarga dos veículos ocorrerá por uma das laterais, e os resíduos deverão ser acomodados e, em seguida, cobertos com terra manualmente, se a largura for superior a três metros, essas atividades serão dificultadas, colocando em risco a qualidade operacional do aterro. A profundidade também não deverá exceder três metros. Profundidades maiores põem em risco a estabilidade da vala, exigindo freqüentemente escoramentos que são totalmente inviáveis em obras desse porte. O comprimento é decorrente do volume da trincheira. Tendo-se o volume de resíduos a ser aterrado (igual ao peso de resíduos gerado dividido pelo peso específico do resíduo no interior da trincheira), com a profundidade e a largura fixadas, obtém-se o comprimento da trincheira.



Fonte: Castilhos Jr. et al (2003)

Figura 2.3 - Figura Ilustrativa de uma Trincheira Preenchida com Resíduos

2.3.2 Determinação de Relações otimizadas entre Comprimento X Largura X Altura de Trincheiras

As relações entre as dimensões de trincheiras em aterros sanitários podem ser feitas atentando para alguns parâmetros e critérios de segurança e estabilidade. No que diz respeito à segurança, para prever contaminação do lençol freático, além de impermeabilização do fundo das trincheiras, correta drenagem e sistemas de tratamento de seus líquidos percolados, deve-se atentar para a distância mínima normatizada do fundo da trincheira em relação ao lençol freático.

Quanto à determinação da largura das trincheiras, estas devem levar em consideração o tipo de operação do aterro. No caso de aterros em trincheiras operados mecanicamente, a largura deve ser suficiente para a operação dos equipamentos, como trator de esteiras (utilizados na homogeneização dos resíduos, rompimento dos sacos e embalagens e compactação dos resíduos) ou retroescavadeiras (movimentação da massa de resíduos, abertura das trincheiras, disposição do material de cobertura).



Aterro de Catas Altas - MG

Fonte: Castilhos Jr. et al (2003)

Figura 2.4 - Foto de Trincheira Sendo Aberta com Auxílio de Equipamento de Terraplenagem

Já no caso de aterros em trincheiras de operação manual, onde os resíduos são homogeneizados e compactados manualmente com equipamentos leves, pás, enxadas, rolos compactadores manuais, mesmo que as trincheiras tenham sido abertas mecanicamente, devem atentar para que a largura das trincheiras não seja demasiada pois dificulta a operação manual.



Aterro de Catas Altas – MG

Fonte: Castilhos Jr. et al (2003)

Figura 2.5 - Foto da Descarga dos Resíduos dentro da Trincheira



Aterro de Catas Altas – MG

Fonte: Castilhos Jr. et al (2003)

Figura 2.6 - Foto do Espalhamento (Homogeneização) dos Resíduos no Interior da Trincheira



Fonte: Castilhos Jr. et al (2003)

Figura 2.7 - Foto de Rolo Compactador Manual de Resíduos



Fonte: Castilhos Jr. et al (2003)

Figura 2.8 - Foto da Utilização do Rolo Compactador Manual de Resíduos

Quanto à inclinação dos taludes das trincheiras, é difícil propor qualquer tipo de relação otimizada ou simplificação, pois se trata de uma questão complicada e qualquer simplificação pode gerar conclusões equivocadas. Em princípio não se tem como afirmar se um determinado tipo de solo (classificado, por exemplo, por meio de ensaios táteis e visuais) poderá ser escavado com uma inclinação pré-determinada e genérica. Além dos parâmetros de resistência do solo em questão (esses demandam em princípio a realização de ensaios laboratoriais bem mais completos que uma simples identificação visual) destaca-se a presença de água.

De acordo com SIMÕES (2003) , determinados tipos de solo (por exemplo os colapsíveis, de grande ocorrência no Brasil) podem apresentar ótimo comportamento quando secos, no entanto variações em sua umidade (não necessariamente sua saturação) podem desestabilizá-los completamente. Por isso deve-se fazer uma análise mais rigorosa, onde se deve conhecer os parâmetros de resistência

(basicamente coesão e o ângulo de atrito), o peso específico do solo e a condição de água subterrânea.

Para avaliação de estabilidade recomenda-se a utilização de ábacos (propostos por diversos autores como Taylor, Morgenstern, Spencer, Terzaghi e Peck e encontrados em livros de mecânica dos solos e obras de terra), que partindo de condições bem particulares (geometria, nível de água e, acima de tudo, parâmetros de resistência) permitem uma avaliação da estabilidade de taludes homogêneos (no caso de aterros em trincheiras).

2.3.3 Sistemas de Drenagem de Águas Pluviais para Aterros Sanitários

Método Racional

De acordo com Genovez (2001), a origem da fórmula deste método é um pouco obscura. Na literatura americana a fórmula foi mencionada pela primeira vez em 1889, por Emil Kuichling. O coeficiente de escoamento superficial da fórmula foi obtido por ele a partir de medidas de precipitações e de vazões de Rochester, Nova York, durante o período de 1877 a 1888. De acordo com Dooge, os princípios do método foram explicados em trabalho de Mulvaney em 1851. Na Inglaterra o método é freqüentemente referido como método de Lloyd – Davis, e teria sido apresentado em um trabalho em 1906.

A equação do método é:

$$Q = 0,278 \times C \times I_m \times A$$

Onde, Q é a vazão de pico em m^3/s ; C é o coeficiente de escoamento superficial ou de deflúvio, função de características da bacia, e é adimensional; I_m é a intensidade média da precipitação em $mm/hora$; A é a área total da bacia de drenagem em km^2 ;

0,278 é um coeficiente resultante do arranjo das unidades dos parâmetros usados. O método Racional tem sido muito usado no projeto de sistemas de drenagem urbana e em aeroportos. A precisão e as hipóteses têm sido muito questionadas nas aplicações em outras situações.

Segundo Chow (1962) muitos hidrólogos tem chamado a atenção para a inadequacidade do método, sendo que muitos têm tentado modifica-lo, mas na maioria dos casos resultam em propostas difíceis de aplicar em prática. Embora sujeito a várias críticas, tem sido utilizado até os dias de hoje nos países menos desenvolvidos, provavelmente por causa de sua simplicidade. A objeção prática mais séria ao método Racional é que ele requer que o projetista componha decisões sobre vários parâmetros influentes no processo dentro de um simples coeficiente, denominado de coeficiente de escoamento superficial.

Segundo Pinto et al. (1976), não se considera, em especial, o armazenamento de água na bacia e as variações da intensidade e do coeficiente de deflúvio durante o transcorrer do período de precipitação. A imprecisão no emprego do método será tanto mais significativa quanto maior for a área da bacia, porque as hipóteses anteriores tornam-se cada vez mais improváveis. Os autores citam que segundo Linsley e Franzini o método não deveria ser usado, a rigor, para áreas acima de 5km², como também concorda Wilken (1978). Por outro lado, a simplicidade do método e a facilidade de obter e controlar os fatores intervenientes tornam-no de uso bastante difundido no estudo das cheias em pequenas bacias hidrográficas. Wilken (1978), acrescenta ainda que o uso do método é satisfatório para o projeto de galerias pelo processo no qual se consideram sub-bacias pequenas, de alguns hectares. Para se aplicar o método é preciso determinar a área da bacia a partir de mapas, fotografias aéreas e até mesmo levantamento topográfico no local. Uma vez traçado o divisor de água na bacia a área pode ser obtida com o auxílio de um planímetro. Feito isto se deve obter a intensidade média de precipitação e o coeficiente de escoamento superficial.

Coeficiente de Escoamento (C)

A aplicação da fórmula racional depende do conhecimento do coeficiente de deflúvio (ou escoamento) C . Pode-se também calcular o valor de C para uma chuva de características conhecidas, desde que se conheça a variação de vazão correspondente. Assim, por exemplo, dado o quadro 2.6, com dados de chuva e vazão, procede-se da seguinte forma para calcular o coeficiente de deflúvio:

Volume total precipitado = produto da precipitação total pela área de drenagem da bacia: $0,075 \times 320 \times 10^6 = 24 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Volume total escoado = planimetrando-se a área correspondente ao escoamento superficial direto, tem-se: $9,936 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Daí

$$C = \frac{V(\text{total escoado})}{V(\text{total precipitado})} = \frac{9,936 \times 10^6}{24 \times 10^6} = 0,413$$

Apesar de representar aproximação relativamente grosseira, pois o valor de C calculado para a bacia em questão, estritamente, só serviria para chuva e condições para as quais foi calculado, a fórmula racional, com o valor calculado do coeficiente de deflúvio, poderia ser utilizada para as outras intensidades de chuva com duração tal que toda a bacia contribua.

Intensidade de Chuvas no Brasil

No Brasil encontra-se fontes que informam dados disponíveis de precipitação para diferentes localidades brasileiras, conforme o quadro a seguir:

QUADRO 2.6 - Valores de Precipitação / Equação Chuvas Intensas no Brasil

Estado	Nerilo	Fendrich	Cetesb	Pinto	Garcez
	Nº dados disp.	Nº dados disp.	Nº dados disp.	Nº dados disp.	Nº dados disp.
Acre		-	-	-	-
Alagoas		-	1	-	-
Amapá		-	-	-	-
Amazonas		-	3	-	-
Bahia		-	1	-	-
Ceará		-	3	-	-
Distrito Federal		-	-	-	-
Espírito Santo		-	1	-	-
Goiás		-	2	-	-
Maranhão		-	3	-	-
Mato Grosso		-	2	-	-
Mato Grosso do Sul		-	-	-	-
Minas Gerais		-	4	-	1
Pará		-	4	-	-
Paraíba		-	2	-	-
Paraná		estado todo	4	1	1
Pernambuco		-	3	-	-
Piauí		-	2	-	-
Rio de Janeiro		-	18	1	1
Rio Grande do Norte		-	1	-	-
Rio Grande do Sul		-	14	1	-
Rondônia		-	1	-	-

Roraima		-	-	-	-
Santa Catarina	estado todo	-	3	-	-
São Paulo		-	7	1	1
Sergipe		-	1	-	-
Tocantins		-	-	-	-

LEGENDA:

Nerilo – Nerilo, Nerilton; Medeiros, Péricles Alves; Cordero, Ademar. Chuvas Intensas no estado de Santa Catarina. Editora da UFSC/ Editora da FURB, Florianópolis/ Blumenau, 2002.

Fendrich - Fendrich, Roberto. Chuvas Intensas para Obras de Drenagem. Curitiba, 1998.

Cetesb - Cetesb. Aterros Sanitários em Valas. Apostilas Ambientais. São Paulo, 1997.

Pinto - Pinto, Nelson L. de Sousa et al. Hidrologia Básica. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1976.

Garcez - Garcez, Lucas Nogueira; Alvarez, Guillermo Acosta. Hidrologia – 2ª edição. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1988.

Observa-se que não estão disponíveis os dados que compreendam todas as principais localidades brasileiras. Existem fontes que compreendem todo um estado, como no caso de NERILO et al (2002) e FENDRICH (1998), mas não que compreendam todos os estados com dados confiáveis. Por este motivo, para os cálculos de dimensionamento dos canais de drenagem de águas pluviais serão utilizados os dados da CETESB (1997), que apresentam uma maior abrangência de dados para todo o Brasil. Para as regiões que não estão compreendidas em CETESB (1997), serão utilizados os dados das regiões mais próximas disponíveis.

Seções Econômicas (de mínima resistência ou de vazão máxima)

De acordo com Kobiyama (2003), num projeto de canal aberto, a seção do canal deve ser planejada para reduzir o custo de material e de construção. A seção econômica do canal é aquela que possui máxima vazão para as dadas áreas (A) e inclinação da superfície (I). As seções podem ser de forma circular, semicircular, retangular e trapezoidal.

a) Seções Circulares e Semicirculares:

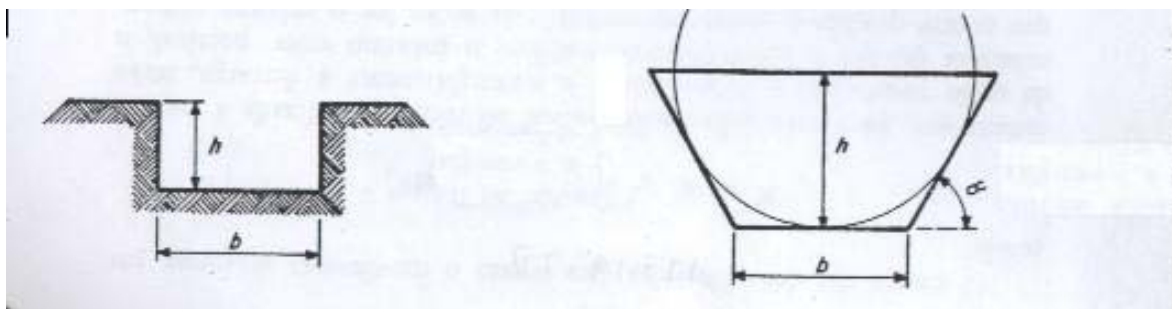
As Seções circulares e semicirculares são as que apresentam o menor perímetro molhado e o maior raio hidráulico por unidade de área do conduto. São, por isso, seções economicamente ideais.

A adoção da seção circular nos grandes condutos está condicionada às questões estruturais e aos processos de execução. Já a seção semicircular, bastante vantajosa para os condutos abertos, freqüentemente, não pode ser realizada por questões estruturais, dificuldades de execução ou inexistência de revestimentos nos canais escavados.

b) Seção Retangular:

A forma retangular geralmente é adotada nos canais de concreto e nos canais abertos em rocha. Tratando-se de seção retangular, a mais favorável é aquela para a qual a base b é o dobro da altura h .

Figura 2.9 – Seções dos Canais



Fonte: Netto (1991)

c) Seção Trapezoidal:

Para determinada seção de escoamento A , a forma mais econômica será aquela que levará à maior velocidade e ao menor perímetro. Dos hexágonos de mesma seção, o hexágono regular é o que tem o menor perímetro. É fácil provar que, para valores

estabelecidos de A , e de h , a seção mais vantajosa é a de um semi-hexágono regular ($\alpha = 60^\circ$). Nem sempre esta seção pode ser adotada; se não houver revestimento, a inclinação das paredes laterais do canal deverá satisfazer ao talude natural das terras, para sua estabilidade e permanência.

Os valores do coeficiente de rugosidade n , em função do material adotado nos canais de drenagem é tabelado, de acordo com o QUADRO , da CETESB (1997), onde foi acrescentado o valor para o tubo de PVC, um dos mais usados em aterros sanitários.

QUADRO 2.7 – Valores do coeficiente de rugosidade - n

Material do canal	n
Concreto	0,013
Terra	0,025
Brita	0,030
PVC	0,009

Fonte: CETESB (1997). Dados trabalhados pelo Autor.

2.3.4 Sistemas de Drenagem de Líquidos Percolados para Aterros Sanitários em Trincheiras

De acordo com Jardim (1995), este sistema de drenagem deve coletar e conduzir o líquido percolado, reduzindo as pressões destes sobre a massa de resíduos e, também, minimizando o potencial de migração para o subsolo. Outro motivo para se drenar o percolado é impedir que ele ataque as estruturas do aterro (camada de impermeabilização de base, por exemplo).

Esse sistema poderá ser construído de drenos de material filtrante com tubo perfurado, como também em canais de seção trapezoidal coberto com seixos quartzosos de origem fluvial que funcionam como um filtro para que os resíduos não provoquem o entupimento dos canais. Estes canais irão direcionar os percolados para

o tanque de acumulação, de onde serão enviados a um tratamento adequado. É importante que os materiais utilizados não sejam atacados pelos percolados, por isso os seixos quartzosos são mais indicados que as britas.

Para o dimensionamento desse sistema de drenagem é fundamental o conhecimento da vazão a ser drenada e das condicionantes geométricas da massa de resíduos. Sua concepção dependerá da alternativa de tratamento adotada para o aterro sanitário, podendo inclusive estar associado ao sistema de drenagem de gases.

Estimativa da Quantidade de Líquidos Percolados pelo “Método Suíço”

Para se calcular a vazão de líquidos percolados a ser drenada utilizou-se o método conhecido por “Método Suíço”, por sua simplicidade de cálculo, pela sua consistência de resultados obtidos, e por ser um dos métodos mais adotados para cálculo de volume de líquidos percolados em aterros sanitários.

O cálculo da vazão de líquidos percolados é feito através da fórmula:

$$Q = \left(\frac{1}{t}\right) \times P \times A \times K$$

Onde:

P = precipitação média anual (mm/ano)

Q = vazão média (l/s)

A = área do aterro (m²)

t = nº de segundos em 1 ano (31.536.000)

K = coeficiente dependente do grau de compactação dos resíduos

Estimativa da Quantidade de Líquidos Percolados pelo Balanço Hídrico

Segundo Jardim (1995), a forma mais adequada de estimar a produção de líquidos percolados em um aterro sanitário e que deve ser obrigatoriamente utilizada quando o projeto for de maior porte é aquela que se baseia no balanço hídrico. Este consiste na soma das parcelas de água que entram e na subtração das parcelas que deixam a célula do aterro mensalmente.

Dentre as fontes de umidade que reagem com o resíduo, a água que entra pela face superior através da percolação pela camada de cobertura corresponde à parcela mais relevante. Portanto, conhecer o regime das chuvas do local de implantação do aterro é condição primordial para se iniciar o cálculo do balanço hídrico. Preferencialmente, deve-se utilizar dados históricos mensais da pluviometria, obtidos em estações meteorológicas o mais próximo possível do local de instalação do aterro.

A precipitação atmosférica no Brasil se dá principalmente em sua forma mais comum, a chuva. Caindo sobre o solo, a água precipitada segue diferentes caminhos. Como a camada de cobertura é um meio poroso, há infiltração da água que inicialmente atinge o solo, até o momento que as suas camadas superiores se saturem, ou seja, não consigam mais admitir a entrada de água. A partir deste momento, o excesso não infiltrado começa a escoar pela superfície.

O escoamento superficial sobre o solo saturado é formado inicialmente por pequenos filetes de água que, por meio da gravidade, escoam para os pontos mais baixos, onde se devem ser instalados sistemas de coleta. A água que escoar na superfície pode infiltrar novamente se encontrar uma superfície de solo não saturado.

A água que não entrou em contato com o resíduo e, portanto, não se constituiu em fonte formadora de líquidos percolados, pode ser encaminhada para a rede de drenagem de águas pluviais. Logo, o escoamento superficial sobre o solo saturado deve ser a primeira parcela a ser subtraída do total precipitado. A parcela da

precipitação que forma o escoamento superficial pode ser calculada utilizando-se vários métodos, sendo o mais comum o método racional. Este método é largamente utilizado e projetos de sistemas de drenagem urbana. Embora freqüentemente criticado, para bacias pequenas e de moderada complexidade, este método apresenta resultados bastante satisfatórios.

A parcela de água que infiltrou no solo sofre a ação de forças capilares e da gravidade, prosseguindo seu caminho para as camadas inferiores e atingindo a massa de resíduo aterrado, umedecendo-a de cima para baixo, modificando gradativamente o perfil de umidade no interior da célula. Cessando a precipitação, o aporte de água na superfície pára, findando o processo de infiltração. Porém, isso não implica que o movimento da água no interior da célula deixe de existir. O fluxo descendente de água continua em função da força gravitacional ou da pressão que a coluna de água infiltrada impõe. A este movimento do líquido no interior da célula, após o fim da precipitação, dá-se o nome de redistribuição interna.

Parte da umidade presente no solo de cobertura é transferida para a atmosfera por evaporação direta ou por transpiração dos vegetais. O crescimento de vegetais sobre a cobertura final da célula promove uma perda de água para a atmosfera por evapotranspiração (somatória das perdas por evaporação do solo e por transpiração das plantas) que é superior àquela que se perderia do solo sem cobertura vegetal. Considerando que é desejável minimizar a quantidade de água que se infiltra, recomenda-se prover as células com uma fina camada de terra fértil sobre a cobertura final, onde algumas espécies vegetais possam se desenvolver.

Há na literatura várias formulações empíricas e semi-empíricas para a estimativa desta parcela que é transferida para a atmosfera. Estas equações foram estabelecidas com base em ajustes das variáveis envolvidas, para algumas regiões e condições específicas (TUCCI, 1997) e, portanto, devem ser empregadas com bastante critério. Sempre que possível, deve-se dar preferência a dados obtidos por medições diretas. Algumas estações meteorológicas contam com instrumental

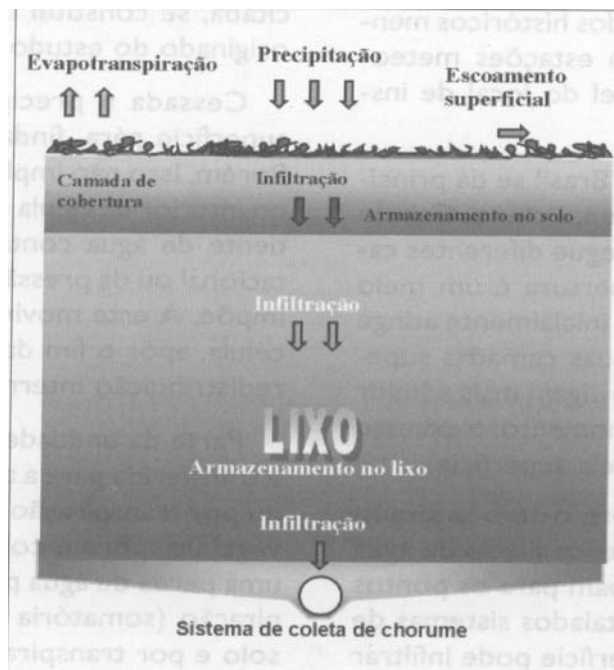
adequado para a estimativa da evaporação (tanques de evaporação) ou da evapotranspiração (lisímetros).

Esta parcela de água que vai para a atmosfera na forma de vapor deve ser subtraída da água que infiltrou, mês a mês, pois não resultará na formação de líquidos percolados. Esta subtração nem sempre resulta em valor positivo. Valores negativos são possíveis e significam que em um determinado mês a célula perdeu umidade e uma parcela menor de líquidos percolados será coletado.

Porém, se este valor for positivo haverá uma recarga desta umidade repondo o que foi perdido nos períodos mais secos. Persistindo esta situação, como, por exemplo, durante a época de chuvas mais intensas, a capacidade de campo da massa de resíduos pode ser atingida, momento em que qualquer acréscimo na quantidade de líquido no interior da célula resultará em aumento da geração de líquidos percolados. Portanto, a metodologia do balanço hídrico para estimativa da produção de líquidos percolados é, resumidamente, o cômputo, mês a mês das parcelas apresentadas na figura 2.3.

Estimativa de Produção e Características dos Líquidos Percolados

A estimativa de produção dos líquidos percolados ao longo da vida de um aterro sanitário, bem como o tempo que levam para serem formados, são dados valiosos para minimizar o impacto destes ao meio ambiente (LEDESMA et al., 2000). Esta estimativa é também a chave para o projeto de materiais de cobertura e de impermeabilização de fundo adequados, prevenindo assim a contaminação de águas superficiais e subterrâneas (GEE, 1981).



Fonte: JARDIM (1995)

Figura 2.10 – Esquema do Balanço Hídrico

Assim, é essencial que seja realizada uma descrição quantitativa do volume gerado de líquidos percolados nos aterros sanitários, para a determinação dos seus efeitos na qualidade de água e também na validade dos métodos de controle empregados (LU et al., 1985). As características dos líquidos percolados estão intimamente relacionadas com a quantidade produzida, com a natureza dos resíduos e da etapa de estabilização em que se encontra, variando, portanto, de um aterro sanitário para outro, bem como da estação do ano (PINEDA, 1998).

A composição dos líquidos percolados é, por outro lado, influenciada por numerosos fatores entre os quais pode-se citar: a massa de espécies solubilizáveis (composição dos resíduos), as operações de trituração sobre os resíduos, a pluviometria, a idade dos resíduos, etc. Uma composição “padrão” dos líquidos percolados é difícil de ser estabelecida, e o resultado numérico que a literatura pode nos fornecer são valiosos apenas para aterros sanitários específicos (BORGES DE CASTILHOS, 1991).

A infiltração da precipitação através do solo é um processo natural, e faz parte do ciclo de recarga do lençol freático; a percolação é a infiltração de água através dos resíduos, carreando com ela, as substâncias solúveis do mesmo; a lixiviação é a operação que carrega substâncias contidas nos resíduos por meio de percolação. Os resíduos sólidos, inicialmente agem como uma esponja e simplesmente absorvem a água; entretanto, o material atinge um teor de umidade, conhecido como capacidade de retenção. Qualquer acréscimo de água adicional resulta na percolação de igual quantidade de massa (OLIVEIRA & PASQUAL, 2000). O Volume de líquidos percolados é representado como os fenômenos físicos da percolação em um maciço homogêneo constituído por um material poroso. Da água que precipita sobre o aterro, parte é devolvida à atmosfera pela evapotranspiração, outra escoada superficialmente e o restante se infiltra, podendo ficar retida na camada de cobertura e nos resíduos (ROCCA et al., 1993).

Método do Balanço Hidrológico Desenvolvido por Thornthwaite

Este método está baseado na relação entre a precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial e a capacidade de armazenamento de água pelo solo. A precipitação representa a quantidade de água que é adicionada ao aterro; a evapotranspiração é entendida como evaporação combinada das plantas e da superfície do solo junto com a transpiração das plantas, o que supõe uma perda de água do solo.

O escoamento superficial representa a água que flui diretamente sobre a área de estudo, e a capacidade de armazenamento de água pelo solo representa a capacidade de água que pode ser armazenada pelo mesmo. Da água que precipita sobre o aterro, parte é devolvida à atmosfera pela evapotranspiração, parte escoada superficialmente e o restante infiltra, podendo ficar retida na camada de cobertura ou produzir um fluxo de percolação quando for atingida a saturação desta camada (ROCCA, 1993).

Existe uma parte do total que se forma como um subproduto na decomposição do material orgânico pela atividade bacteriana, mas esta quantidade é sensivelmente pequena, o que faz com que seja desprezada quando se faz um balanço de água do aterro sanitário.

Método do Balanço Hídrico Desenvolvido pela EPA/US

De acordo com FENN et al (1975), a fração da precipitação que infiltra num aterro sanitário é a principal fonte de contribuição de umidade para a geração de líquidos percolados a partir de um aterro sanitário. Nesse sentido, condições de superfície do aterro e também das características climatológicas da região onde este se encontra, influenciarão em muito a infiltração pela cobertura de solo e qualquer subsequente percolação abaixo em direção aos resíduos. O balanço hídrico, como desenvolvido na literatura sobre o uso e conservação de solo e da água, dependerá de condições meteorológicas (intensidade e distribuição da precipitação e da evaporação potencial), características hidráulicas, condições iniciais dos resíduos aterrados e dos processos biológicos que ocorrem dentro do aterro (BENGTSSON et al, 1994).

A precipitação representa a quantidade de água que é adicionada nesta equação. A evapotranspiração (combinação da evaporação das plantas e superfícies do solo e também da transpiração das plantas) representa o transporte de água da terra para a atmosfera, sendo o inverso da precipitação. Já o escoamento superficial representa a água que escoar diretamente da área em questão. Quando a variável capacidade de armazenamento de água no solo, como o próprio nome diz, representará a água que poderá ficar armazenada no solo (FENN et al., 1975). Uma maneira em que o solo de cobertura de um aterro sanitário influencia a quantidade de percolação é através de sua capacidade de reter água. A quantidade de retenção dependerá principalmente do tipo de solo usado, estrutura e sua capacidade de água, assim como a profundidade da camada do solo.

Para os pesquisadores HAMADA e ABECHE (2000), o conteúdo de umidade no solo muda continuamente: aumenta devido à infiltração e diminui devido à evaporação/evapotranspiração. A depleção de umidade a evapotranspiração é limitada a uma zona de solo superior definida pela profundidade de zona efetiva de raízes das plantas. Estes ainda ressaltam, que é importante considerar a mudança no armazenamento de umidade da cobertura de solo dos aterros no método do balanço de água.

A máxima umidade que o solo pode reter contra a solicitação da força gravitacional é a capacidade de campo. A mínima umidade que o solo perde devido à vegetação é o seu conteúdo de umidade de ponto de murchamento. De acordo com FENN et al (1975), a evapotranspiração depende do tipo de solo e da vegetação, isto está relacionado aos fatores climáticos que afetam a capacidade de armazenamento de água no solo (precipitação, temperatura e umidade).

O processo ocorre se houver ingresso de energia no sistema, proveniente do sol e da atmosfera, e é controlado pela taxa de energia (vapor de água que se propaga da superfície da Terra). Esta transferência ocorre fisicamente nas formas de difusão molecular e turbulenta. O processo de evaporação/evapotranspiração de superfícies naturais pode ser simulado com embasamento físico, por modelos que descrevem o efeito de resistência à difusão molecular e turbulenta sobre a distribuição de energia do sol ou da atmosfera (TUCCI, 1997).

Segundo PINTO et al (1976), o escoamento superficial é o componente do ciclo hidrológico no qual, preenchidas as depressões e ultrapassadas a capacidade de infiltração do solo, tem início o suprimento líquido que se caracteriza pelo escoamento superficial propriamente dito. Esse estudo considera o movimento da água a partir da menor porção de chuva que, caindo sobre um solo saturado de umidade ou impermeável, escoar pela sua superfície, formando sucessivamente as enxurradas ou torrentes, córregos, ribeirões, rios e lagos ou reservatórios de acumulação.

Na maioria dos casos, a precipitação será a principal fonte de umidade que contribui para a geração de líquidos percolados. As águas das chuvas são geralmente usadas para representar a quantidade total de água que atinge a superfície durante um certo período de tempo para uma dada localidade. Esta quantidade de chuva pode ser resultado de uma única tempestade ou de tempestades múltiplas (LU et al, 1985).

Como em todos os casos de infiltração, a situação mais crítica ocorre durante os períodos de chuva contínua, persistentes. Chuvas muito intensas, de curta duração, produzem uma saturação rápida da cobertura do aterro sanitário e diminui a infiltração, perdendo-se grande quantidade de água por meio do escoamento superficial (PINEDA, 1998).

2.4. ELEMENTOS DE CUSTOS DE ATERROS SANITÁRIOS

2.4.1. Sistemas de Contabilidade e Estimativa de Custos

A estimativa de custos mediante modelos gerais, formatos e dados não relacionados a um local específico é apropriada para o planejamento geral e para a estimativa do intervalo de magnitudes potenciais de construção e de todos os outros custos associados com o projeto e a operação do aterro sanitário. Este método de análise de custos é útil para tomar decisões iniciais ou conceituais de projeto e comparar diversas opções de disposição final (USEPA, 1997).

A falta de uma avaliação compreensiva da estrutura de custos das instalações de disposição final pode resultar em impedimentos inesperados na tomada de decisão relacionada à implementação de um programa de gerenciamento de resíduos. (WENG e CHANG, 2001).

2.4.2. Hierarquização e Detalhamento dos Principais Elementos de Custos em Aterros Sanitários

Os elementos de custo para a viabilização de um aterro sanitário foram classificados segundo as fases mais significativas do ciclo de vida destas instalações, ou seja: planejamento, construção, operação e fechamento/monitoramento:

Fase de planejamento: envolve os estudos e investigações preliminares necessárias para o desenvolvimento dos projetos, bem como os processos de licenciamento ambiental e aquisição do local escolhido para implantação do aterro sanitário.

Fase de construção: corresponde aos trabalhos relacionados à adequação do local e à implantação das instalações para recebimento dos resíduos (movimentação de solo, construção de acessos e instalações, preparação dos sistemas de drenagem e impermeabilização, entre outros).

Fase de operação: compreende o período entre o aterramento da primeira carga de resíduos até o esgotamento da vida útil do aterro, anos mais tarde. Esta fase é caracterizada pelos trabalhos nas frentes de aterramento e o início da operação das instalações de controle ambiental.

Fase de fechamento/monitoramento: compreende ao período entre o fechamento do aterro (esgotamento da vida útil) até o decaimento do nível das emissões do aterro que justifique o não funcionamento das instalações de controle ambiental.

A utilização desta classificação justifica-se em virtude da necessidade dos tomadores de decisão conhecerem não somente os gastos totais com a implantação do aterro, mas principalmente, a previsão de desembolso referente a cada etapa ao longo da vida útil do mesmo. Esta abordagem também é referenciada na literatura através dos seguintes trabalhos: USEPA (1997), Jaramillo (1997), Cotrim e Reichert (2000), Reichert e Reis (2000).

As figuras 2.11 a 2.13, apresentam a variação dos custos para desenvolvimento de aterros sanitários nos Estados Unidos (USEPA, 1997):

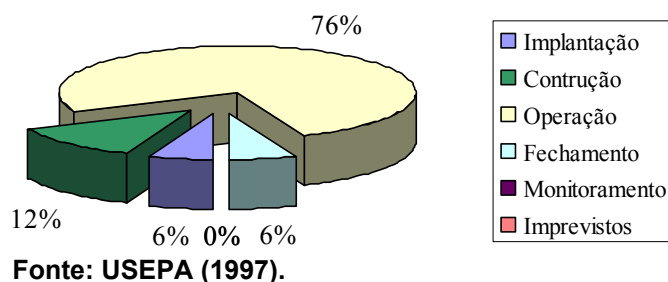


Figura 2.11 – Distribuição dos custos de desenvolvimento de um aterro sanitário (EUA, 1975).

Como pode se observar na Figura 2.11, em 1975 os custos de operação de aterro sanitário compreendiam cerca de 76%, enquanto os custos de construção apenas 12%. Este fato pode ser justificado pelas mudanças na legislação ambiental, que certamente não era tão abrangente como a legislação atual e também pelas novas tecnologias e técnicas de controle ambiental que hoje são implantadas, que envolvem altos custos na etapa de construção do aterro. Os itens constantes na legenda e que na representação gráfica não aparecem, como os custos de monitoramento e custos com imprevistos, não eram representativos ou ainda não eram realizados.

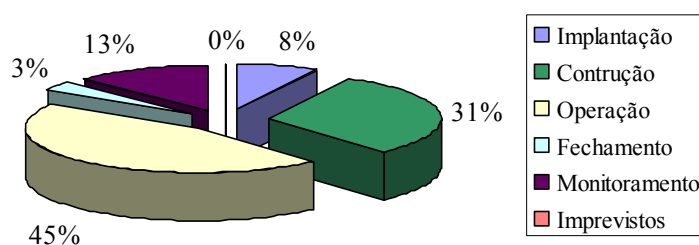
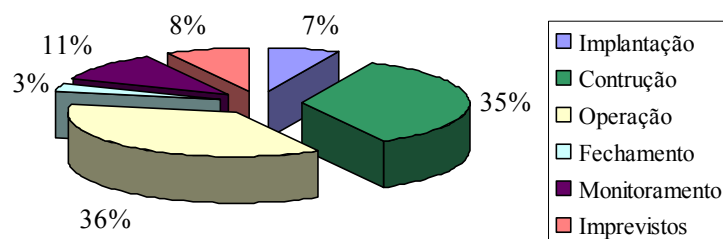


Figura 2.12 – Distribuição dos custos de desenvolvimento de um aterro sanitário (EUA, 1986).



Fonte: USEPA (1997).

Figura 2.13 – Distribuição dos custos de desenvolvimento de um aterro sanitário (EUA, 1990).

Como se observa nas Figuras 2.12 e 2.13, representativas dos anos de 1986 e 1990 respectivamente, houve um incremento dos custos de monitoramento, já presente nos projetos de aterros sanitários nestes períodos. Houve também um aumento bastante significativo nos custos de construção de aterros, fato que pode ser explicado porque conforme novas técnicas de disposição e novos materiais são desenvolvidos, novas leis são criadas para regulamentar a construção ou operação dos aterros sanitários, aumentando as exigências e tornando os custos também mais elevados.

2.4.3. Expressão dos Elementos de Custos

Custos relacionados à etapa de planejamento

Os custos relacionados à etapa de planejamento do aterro sanitário compreendem os investimentos necessários para a viabilização dos estudos, projetos, licenciamentos e aquisição do local.

Estudos para escolhas de áreas: Os levantamentos e estudos para a definição do melhor local para implantação do aterro sanitário representam um investimento inicial na etapa de planejamento do aterro sanitário. A escolha de áreas para implantação do aterro sanitário caracteriza-se por ser um processo por etapas, buscando selecionar as áreas que acarretem menores impactos ambientais, econômicos e complexidade técnica para a viabilização do aterro. Do ponto de vista econômico, os investimentos

iniciais em escolhas de áreas podem ser compensados com a economia de despesas nas etapas futuras do aterro sanitário, sobretudo nas etapas de construção e operação.

Levantamentos para projeto: Os levantamentos para elaboração de projetos normalmente envolvem a caracterização geológica e geotécnica do local (perfil e caracterização do solo, profundidade do lençol freático, coeficiente de permeabilidade, capacidade de suporte do solo) e a caracterização topográfica do local (levantamento plani-altimétrico) normalmente acompanhado das anotações de responsabilidade técnica (ART) dos profissionais contratados. Os levantamentos para projeto também podem vir a fazer parte da documentação exigida para o licenciamento ambiental do aterro sanitário. Para estimativa de custos relacionados aos levantamentos de campo (topográficos e geotécnicos) referentes ao Programa de Investimentos de Minas Gerais/Resíduos Sólidos, foram admitidos para cada 10 mil habitantes, ou fração, uma área de 1 ha para a destinação dos resíduos sólidos, adotando-se como critério mínimo uma área de 3 ha (COPPE/UFRJ, 2000).

Projetos

O aterro sanitário a exemplo de qualquer instalação de engenharia é concebido através de projetos técnicos. Em virtude das características do local escolhido para implantação do aterro, devem ser previstos custos adicionais relacionados ao projeto para recuperação de áreas degradadas. A NBR 8419 fixa as condições mínimas exigíveis para a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, os quais devem ser de responsabilidade e subscritos por profissionais devidamente habilitados no CREA. Segundo a NBR 8419, os projetos devem obrigatoriamente ser constituídos das seguintes partes: memorial descritivo, memorial técnico, cronograma de execução, estimativa de custos, desenhos e eventuais anexos.

Os elementos de projeto compreendem: sistema de drenagem superficial, sistema de drenagem e remoção de percolado, sistema de tratamento do percolado, impermeabilização inferior e/ou superior, sistema de drenagem de gás, operação do aterro sanitário, controle tecnológico e o uso futuro da área do aterro sanitário. Os custos para elaboração de projetos, segundo o Programa de Investimentos de Minas Gerais em Resíduos Sólidos (COPPE/UFRJ, 2000), são estimados em 5% do valor global dos custos de investimentos, sendo estes variáveis para cada município. Para o aterro sanitário da Extrema (RS), os custos referentes ao projeto técnico corresponderam a 0,60% dos custos totais (REICHERT e REIS, 2000). Segundo Cotrim e Reichert (2000) os custos com projeto referentes ao aterro sanitário Santa Tecla¹ equivaleram a 0,43% dos custos totais.

Estudos de impacto ambiental (EIA/RIMA): A realização dos estudos de impactos ambiental (EIA/RIMA) dependerá do potencial poluidor do aterro bem como das características físicas, bióticas e antrópicas do local no qual se pretende instalar o aterro e sobretudo das exigências dos órgãos de controle ambiental regionais.

Licenciamento ambiental: O processo de licenciamento ambiental do aterro sanitário nas suas diversas etapas: licença prévia (LP), licença de implantação (LI) e licença de operação (LO), constitui um elemento de custo para etapa de planejamento. Os custos de licenciamento para aterros sanitários, a exemplo de outras atividades, variam em função do potencial poluidor do mesmo.

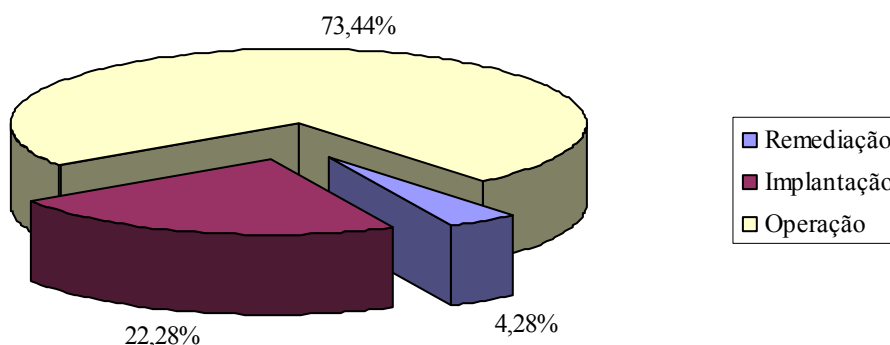
Aquisição do local: A aquisição de áreas representa um dos principais custos relacionados à fase de planejamento do aterro sanitário. Neste sentido, a fim de minimizar os investimentos desta etapa de viabilização do aterro, dá-se preferência para terrenos de propriedade da própria prefeitura ou locais com baixo valor econômico no processo de seleção de áreas. Além do preço de aquisição do terreno, os custos de aquisição podem compreender despesas com a desapropriação do local. Outra possibilidade para a prefeitura consiste no aluguel de um local para a

¹ Convênio firmado pelos municípios de Gravataí (Município Sede), Porto Alegre, Cachoeirinha e Esteio.

disposição final. Neste caso, os custos são contabilizados anualmente e classificados como referentes à operação do aterro.

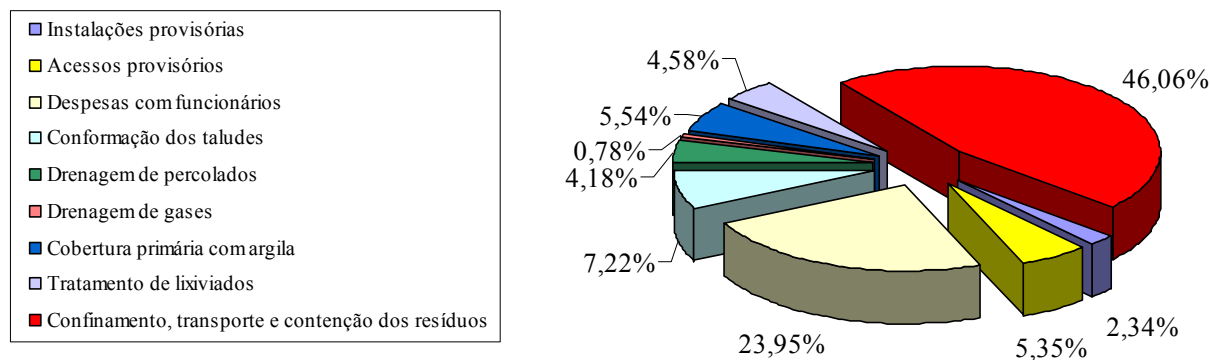
Custos relacionados à etapa de construção

Recuperação da área: Algumas diretrizes são relacionadas por CEMPRE (2000) tendo em vista a adequação de locais para disposição final de resíduos: movimentação e conformação da massa de resíduos, eliminação de fogo e fumaça, delimitação da área de operação, limpeza da área de domínio, drenagem de águas pluviais, drenagem de percolados. Os elementos de custo relacionados à recuperação de uma área degradada variam de acordo com as características do local escolhido. Segundo Cotrim e Reichert (2000) os custos de remediação para implantação do Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla (RS) corresponderam a 4,28% dos custos totais do aterro. A Figura 2.14 apresenta a distribuição dos principais custos relacionados à recuperação da área degradada pela disposição inadequada de resíduos.



Fonte: Cotrim e Reichert (2000).

Figura 2.14 - Distribuição dos custos do aterro sanitário Santa Tecla (RS).



Fonte: Cotrim e Reichert (2000).

Figura 2.15 - Distribuição dos custos de remediação para implantação do aterro sanitário Santa Tecla (RS).

Os custos para recuperação de áreas degradadas, considerados no Programa de Investimentos de Minas Gerais, foram avaliados empiricamente em função de lixões visitados, considerando-se a necessidade de 200 horas de serviço para cada um dos seguintes equipamentos: trator D6-M, retroescavadeira, pá-carregadeira, caminhão basculante. O programa também considerou a necessidade de se acrescentar os custos referentes a construção da drenagem para líquidos percolados e águas pluviais e da recomposição da vegetação com gramíneas comuns da bacia ou com essências nativas.

Adequação do local: Constituem as atividades necessárias para adequação do local, as quais permitirão a construção das instalações para recebimento dos resíduos. Os custos estão relacionados diretamente às características da área escolhida para implantação do aterro. Nesta etapa de implantação do aterro, são identificadas diversas atividades entre as quais destacam-se: limpeza do terreno, rebaixamento do nível do lençol freático, construção de acessos internos e externos, controle da erosão, arborização perimetral (paisagismo), cercamento e sinalização, instalações (obras civis), etc. O quadro 2.8 apresenta a estimativa das obras civis necessárias para implantação de um aterro sanitário em função da capacidade do aterro, referenciadas no Programa de Investimentos de Minas Gerais/Resíduos Sólidos (COPPE/UFRJ, 2000):

QUADRO 2.8 – Estimativa de obras civis para implantação de um aterro sanitário.

Capacidade do aterro (ton/dia)	Obras civis (m²)
até 20	10
20 a 110	70

Fonte: COPPE/UFRJ (2000).

Nota: Dados trabalhados pelo autor.

Implantação do aterro: Consiste nas atividades relacionadas à construção do aterro propriamente dito (instalações para recebimento de resíduos), sendo contabilizados os custos referentes aos serviços de terraplanagem, impermeabilização de fundo (argila e/ou geomembranas), sistemas de drenagem (águas pluviais, líquidos percolados, gases), sistemas de tratamento de líquidos percolados e monitoramento (piezômetros). O quadro 2.9 apresenta a estimativa do volume de terraplanagem necessária para implantação de um aterro sanitário avaliados empiricamente em função da capacidade do mesmo, referenciadas no Programa de Investimentos de Minas Gerais/Resíduos Sólidos (COPPE/UFRJ, 2000):

QUADRO 2.9 – Estimativa do volume de terraplanagem para implantação de um aterro sanitário.

Capacidade do aterro (ton/dia)	Terraplanagem (m³)
5	2.000
10	5.000
20	10.000
40	20.000
70	30.000
110	45.000

Fonte: COPPE/UFRJ (2000).

Nota: Dados trabalhados pelo autor.

O item impermeabilização (base e taludes) por sua vez, foi contabilizado por Reichert e Reis (2000) como sendo a maior parcela dos custos de implantação do aterro sanitário da extrema e a terceira maior parcela no custo total do aterro.

Equipamentos: A construção e operação de um aterro sanitário requerem o uso de equipamentos adequados. Segundo a Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (1997) a aquisição, operação e manutenção dos equipamentos representam uma fração importante do investimento total e do orçamento anual de operação de um aterro sanitário. A decisão da aquisição e/ou aluguel de equipamentos, depende de critérios técnicos e econômicos, entre os quais destaca-se a capacidade prevista do aterro em receber resíduos (ex: ton/dia). O quadro 2.10 apresenta os requerimentos de equipamentos em função do fluxo de resíduos do aterro sanitário, sugeridos pela Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (1997):

QUADRO 2.10 – Estimativa de equipamentos em função do volume de terraplanagem para implantação de um aterro sanitário.

Ton/dia	Equipamento			
	Quantidade	Tipo	Peso (kg)	Potência (kW)
0 a 20	1	TO	<6.800	<60
		CGO	<9.000	<50
		CRN	<9.000	<75
		CO	N/A	N/A
20 a 50	1	TO	6.800 a 9.000	60 a 80
		CGO	9.000 a 11.000	75 a 100
		CRN	9.000 a 10.000	90 a 110
		CO	O menor disponível	110
50 a 130	1	TO	9.000 a 11.000	80 a 100
		CGO	11.000 a 15.000	75 a 100
		CRN	10.000 a 12.500	90 a 110
		CO	Como está disponível	110
130 a 250	1	TO	14.000 a 16.000	110 a 130
		CGO	15.000 a 20.000	110 a 140

		CRN	12.500 a 16.000	110 a 140
		CO	14.000 a 19.000	110 a 140
250 a 500	1 a 2	TO	21.500 a 24.000	190 a 220
		CGO	Combinação	
		CRN	Combinação	
		CO	Combinação	
		R		
		DL		
		CT		

Fonte: USEPA (1997).

Nota: TO : Trator de esteiras, R: Raspador, CO: Compactador de esteiras, CRN: Carregadeira de rodas, CT: Caminhão tanque , DL: Draglines, CGO: Carregadeira sobre esteiras, N/A= não aplicado.

O Quadro 2.11 apresenta o resumo dos equipamentos previstos em função da capacidade dos aterros, para o Programa de Investimentos de Minas Gerais/Resíduos Sólidos (COPPE/UFRJ, 2000):

QUADRO 2.11 – Previsão de equipamentos em função da capacidade dos aterros sanitários.

Capacidade do aterro (ton/dia)	Equipamentos previstos	
	Tipo	Quant.
5 a 10	Retroescavadeira	1
10 a 20	Retroescavadeira	1
	Trator tipo D6-M ou similar	
	Balança rodoviária para 30 ton instalada	
20 a 110	Retroescavadeira	1
	Trator tipo D6-M ou similar	
	Caminhão basculante	
	Balança rodoviária para 30 ton instalada	

Fonte: COPPE/UFRJ (2000).

Nota: Dados trabalhados pelo autor.

Segundo o Programa de Investimentos da Bacia do rio Paraíba do Sul-RJ/Resíduos Sólidos (COPPE/UFRJ, 1997), os requerimentos de equipamentos foram previstos segundo quatro faixas de recebimento de resíduos descritas no Quadro 2.12 abaixo.

QUADRO 2.12 - Previsão de equipamentos em função da capacidade dos aterros sanitários.

Capacidade do Aterro (ton/dia)	Equipamentos previstos	
	Tipo	Quant.
10 a 20	Retroescavadeira	1
	Trator tipo D6-M ou similar	
	Caminhão basculante 06/08 m ³	
100 a 200	Retroescavadeira	1
	Trator tipo D6-M ou similar	
	Trator tipo D5-E ou similar	
	Caminhão basculante 06/08 m ³	2
200 a 300	Retroescavadeira	
	Trator tipo D6-M ou similar	
	Trator tipo D5-E ou similar	
	Pá carregadeira	
	Caminhão basculante 06/08 m ³	
300 a 400	Retroescavadeira	1
	Trator tipo D6-M ou similar	
	Trator tipo D5-E ou similar	
	Pá carregadeira	
	Escavadeira S-90 ou similar	
	Caminhão basculante 06/08 m ³	4

Fonte: COPPE/UFRJ (1997).

Nota: Dados trabalhados pelo autor.

Com relação à vida útil dos equipamentos do aterro sanitário, considera-se esta como relativamente curta, tendo em vista as exigências operacionais das atividades do aterro. No Quadro 2.13 são apresentadas algumas referências relativas à vida útil dos equipamentos em aterros sanitários:

QUADRO 2.13 – Vida útil referente a equipamentos de aterros sanitários.

Referência	Vida útil (anos)
(USEPA, 1997)	5 a 10
(COPPE/UFRJ, 1997,2000)	8*

Nota: * balança: 25 anos.

Segundo Jaramillo (1997) uma opção para os municípios com populações inferiores a 40.000 habitantes ou com produções diárias inferiores a 20 ton. consiste na utilização da técnica de operação manual, na qual os equipamentos pesados são solicitados apenas para a adequação do local, construção de vias internas, escavação de trincheiras ou material de cobertura de acordo com o avanço e método do aterro.

Visto que este trabalho foi desenvolvido no âmbito de um projeto do Prosab, que considera municípios de pequeno porte, como os com população de até 20.000 habitantes, podemos considerar a opção de Jaramillo (1997), de operação manual de aterros sanitários, como uma solução interessante para este trabalho.

Custos relacionados à etapa de operação

Compreende o período entre o aterramento da primeira carga de resíduos até o esgotamento da vida útil do aterro, anos mais tarde. Esta fase é caracterizada pelos trabalhos nas frentes de aterramento e o início da operação das instalações de controle ambiental. Os elementos de custos são: mão-de-obra, equipamentos, despesas gerais, serviços de engenharia, custos imprevistos (JARAMILLO, 1997).

Custos referentes à etapa de fechamento/operação

Compreende ao período entre o fechamento do aterro (esgotamento da vida útil) até o decaimento do nível das emissões do aterro que justifique o não funcionamento das instalações de controle ambiental (CEMPRE, 2002). Os elementos de custos são os seguintes: engenharia para preparação e plano de fechamento, cobertura final, nivelção final, cobertura vegetal, controle de sedimentação e erosão, gerenciamento do biogás, coleta de líquidos percolados, tratamento de líquidos percolados (USEPA, 1997).

Contabilidade de Custos

O Quadro 2.14 abaixo mostra valores de produção de resíduos diários e custo unitário de aterros sanitários de diferentes localidades brasileiras.

QUADRO 2.14 – Valores de Produção de Resíduos Diários e Custo Unitário

<i>Cidade</i>	Tipo de disposição final	Quant. Resíduos (Ton. /dia)	R\$/Ton.
Recife –PE	Aterro Controlado da Muribeca	2.800	6,04 ¹
Rio de Janeiro – RJ	Aterro Controlado de Gramacho	7.026	5,06 ¹
Rio de Janeiro – RJ	Aterro Controlado Zona Oeste	Não informado	6,78 ¹
Fortaleza – CE	Aterro Sanitário de Caucaia	3.500	5,80 ¹
Fortaleza – CE	Aterro Sanitário de Aquiraz	21	7,20 ¹
Goiânia - GO	Aterro Controlado de Goiânia	Não informado	10,00 ¹
Belo Horizonte – MG	Aterro Remediado de BH	4.139	10,82 ¹
Porto Alegre – RS	Aterro Sanitário da Extrema	200	18,00 ²
Porto Alegre – RS	Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla	1300	18,00 ²
Itaquaquecetuba – SP	Aterro Sanitário de Itaquaquecetuba	650	Não informado
Mauá – SP	Aterro Sanitário de Mauá	1.500 a 2000	Não informado
São Paulo – SP	Aterro Sanitário São João	Não informado	18,00 ¹
Santo André – SP	Aterro Sanitário	700 a 750	13,00 ¹
União da Vitória – PR	Aterro Sanitário	Não informado	17,46 ¹

Salvador – BA	Aterro Sanitário Metropolitano	Não informado	15,00 ¹
Palmas – TO	Aterro Sanitário	120	90,00 ¹
Araguaína – TO	Aterro Sanitário	160	41,67 ²
Guarai – TO	Aterro Sanitário	40	33,33 ²
João Pessoa – PB	Aterro Controlado	870	4,00 ²
Muriaé - MG	Aterro Sanitário	78,8	5,18 ³
Catas Altas - MG	Aterro Sanitário	1,25	30 ⁴
Volta Redonda - RJ	Aterro Sanitário	-	38,88

¹ Dados fornecidos em março de 2001.

² Dados fornecidos em agosto de 2002

³ Fonte: Programa de investimentos de Minas Gerais (COPPE/UFRJ, 2000)

⁴ Fonte: LANGE, L. C. L., et al. Implantação e operação de um aterro sustentável para pequena comunidade. In: ALTERNATIVAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA PEQUENAS COMUNIDADES: COLETÂNEA DE TRABALHOS TÉCNICOS. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2002. Trabalho técnico. 92 p., p. 29 - 35.

2.5. MODELAÇÃO DE CONHECIMENTOS

2.5.1. Introdução

Os profissionais que desempenham a função de encadear, além de dados e informações adequadas, uma seqüência de conhecimentos e procedimentos a fim de facilitar a solução de um problema são denominados especialistas. Em pequenas comunidades e municípios, devido a escassos recursos financeiros na maioria dos casos, não há uma presença de especialistas em gerenciamento de resíduos para a tomada de decisões referentes ao assunto.

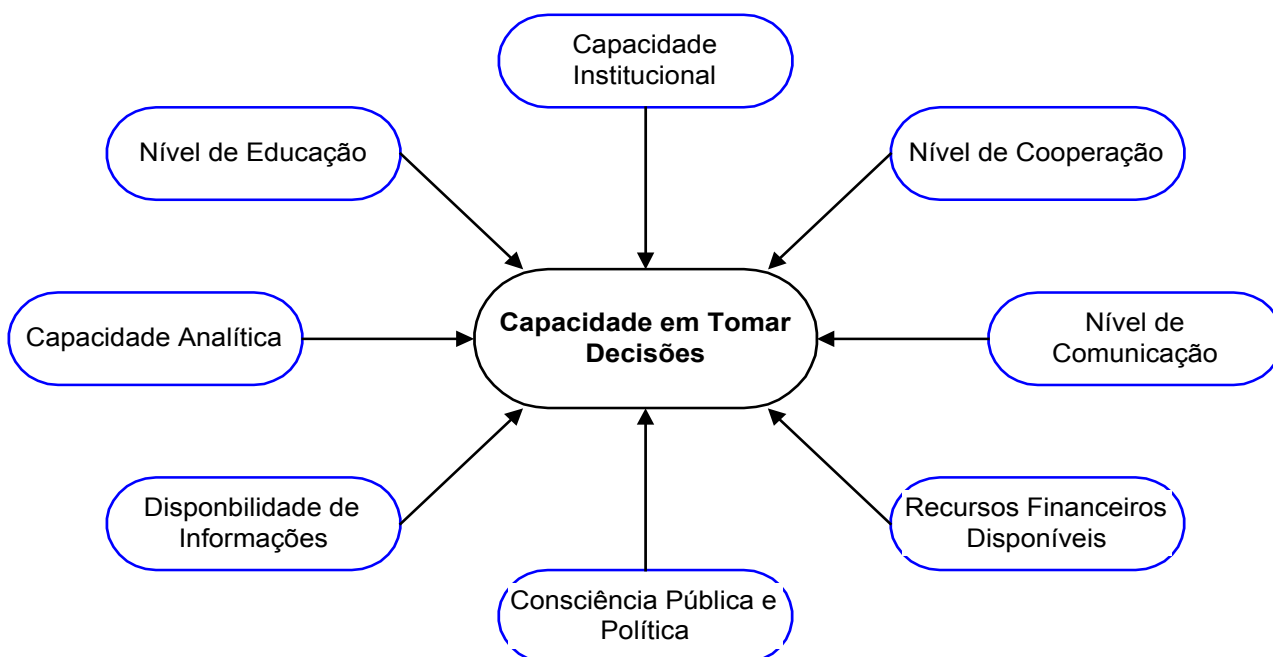
2.5.2. Princípios da Modelação de Conhecimentos

Segundo Lupatini (2002), 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

associadas às decisões ambientais refere-se ao grau de incerteza das mesmas conforme identificam Gough e Ward (1996) citados por Lupatini (2002):

“Uma decisão envolve assumir riscos, nesta perspectiva bons processos e resultados podem ser associados à 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 2.16 - Representação Esquemática do Ambiente de Decisão

Neste sentido, Roy (1985) define o apoio à decisão como 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, ou simplesmente favorecer um comportamento que venha acrescentar coerência à evolução do processo, aos objetivos e sistemas de valores utilizados pelo interventor.

Uma abordagem mais abrangente, utilizada por Andriole (1989), citada 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 Systems – 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 CARLSON apud DAVIS e MCDONALD, 1993).

O desenvolvimento dos sistemas de apoio a 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. (1995) citados por Westmacott (2001), afirmam que o uso de técnicas de modelagem através de

computadores 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.

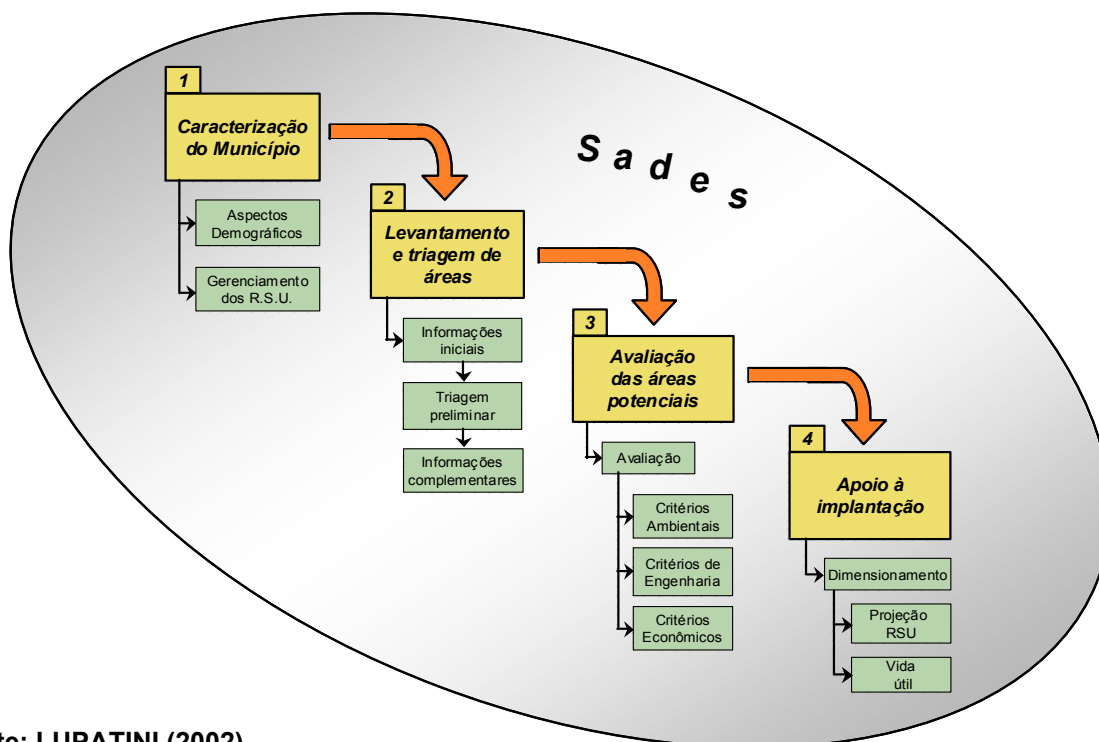
Segundo Kainuma, Nakamori e Morita citados por Westmacott (2001), a maneira humana de pensar nem sempre é normativa ou racional, porém muitas vezes condicional, caracterizando que as pessoas utilizam toda sua experiência para alcançar uma decisão. Desta maneira, por maiores que sejam os esforços no sentido de 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 METODOLOGIA

3.1. ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

A metodologia de desenvolvimento do programa foi baseada no trabalho de Lupatini (2002), pelo motivo da presente dissertação estar relacionada à uma continuidade da primeira versão do programa “SADES”, que foi desenvolvida como um Sistema de Apoio à Decisão em Escolha de Áreas para Aterros Sanitários, como pode ser visto na Figura 3.1.



Fonte: LUPATINI (2002)

Figura 3.1 – Metodologia de Desenvolvimento da primeira versão de SADES, como Sistema de Apoio à Decisão em Escolha de Áreas para Aterros Sanitários.

Esta nova versão de SADES dá continuidade, portanto, ao desenvolvido por Lupatini, através de um Sistema de Apoio ao Dimensionamento de Aterros Sanitários em Trincheiras para Municípios de Pequeno Porte. A metodologia proposta por Lupatini

foi adaptada aos objetivos deste módulo de dimensionamento de SADES segundo a seguinte estrutura básica (Figura 3.2):

Ambos os trabalhos da primeira versão do Programa SADES desenvolvida por Lupatini (2002), como os da nova versão de Dimensionamento e Estimativa de Custos foram desenvolvidos no âmbito do Projeto intitulado “Tecnologias de Apoio ao Desenvolvimento de Aterros Urbanos para Pequenos Municípios” do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB), Edital 03, Rede III.

- ***Aquisição de conhecimentos:*** nesta etapa adquiriu-se conhecimentos através de pesquisa na internet, pesquisa bibliográfica a publicações científicas (anais de congressos, dissertações, livros, manuais técnicos, ...). Dentre os conhecimentos adquiridos pode-se referenciar alguns como:
 - Métodos de operação de aterros,
 - Métodos de drenagem de águas pluviais,
 - Desenvolvimento de programas,
 - Métodos de drenagem e tratamento de líquidos percolados,
 - Criação de modelos conceituais,
 - Definição das seções de canais abertos de drenagem,
 - Definições de elementos de custos de aterros sanitários,
 - Estimativa de custos de aterros sanitários,
 - Definição e compatibilização de parâmetros de projeto, etc.

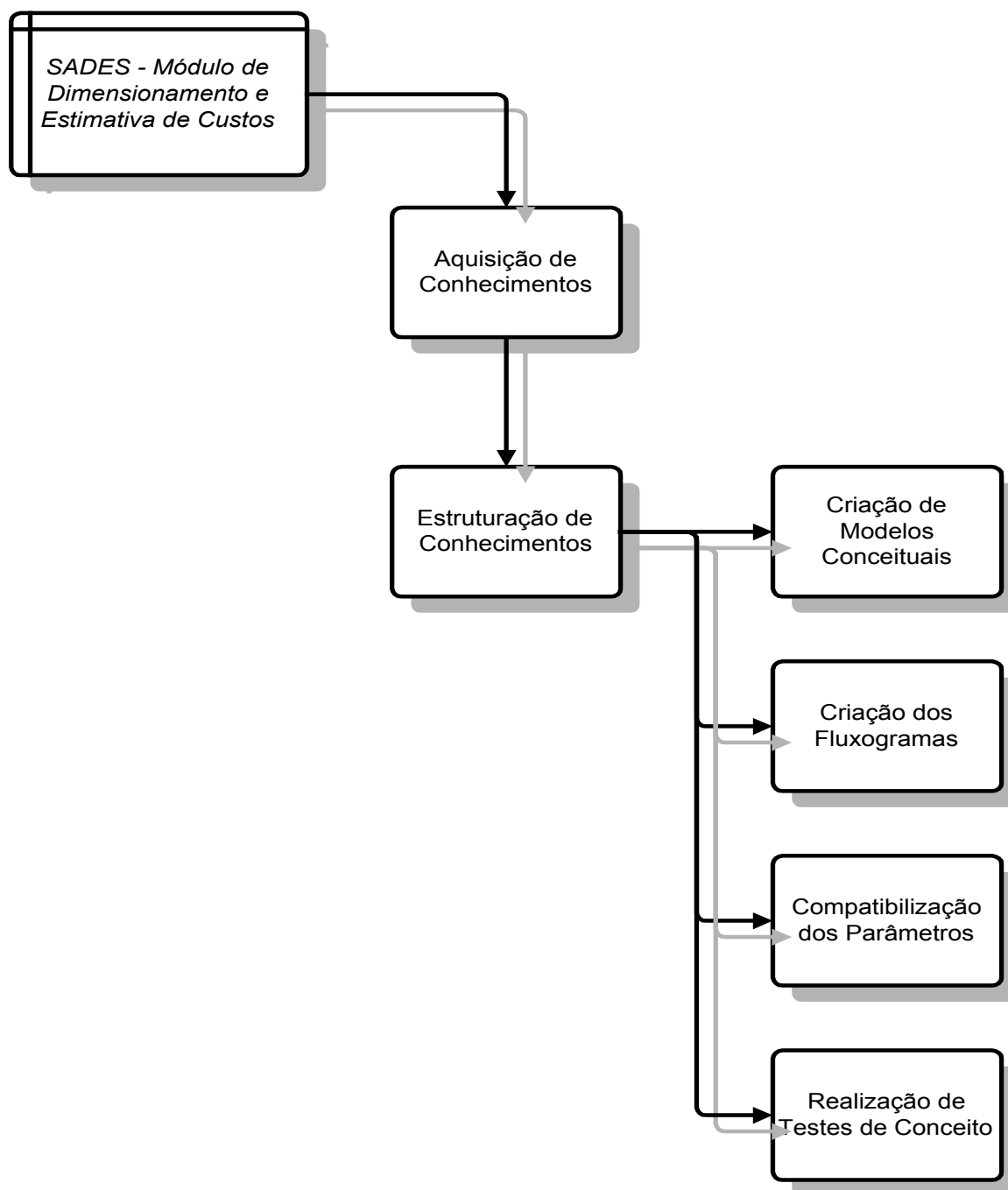


Figura 3.2 - Estrutura Básica da Metodologia de Desenvolvimento do SADES

Através da aquisição de conhecimentos foi possível tomar algumas decisões importantes para a realização deste módulo, como resultado disto apresenta-se alguns exemplos:

- O método de dimensionamento das trincheiras adotado foi o da CETESB (1997), (Aterros Sanitários em Valas) devido à sua consistência e relativa simplicidade (importante para os usuários do programa);
- No dimensionamento da drenagem de águas pluviais os dados de precipitação adotados para cálculo de intensidade de chuva foram os da CETESB (1997), devido a compreender um grande número de localidades (80) para todo o Brasil, com dados confiáveis, pois existem outras publicações com dados de precipitação para todo um estado, mas não há dados disponíveis com abrangência Nacional, como foi visto no QUADRO 2.6 anteriormente.
- No cálculo das seções de drenagem de águas pluviais a forma adotada das seções foi a trapezoidal. Segundo NETTO e ALVAREZ (1991), as seções econômicas de canais abertos que apresentam melhor desempenho (menor perímetro molhado e o maior raio hidráulico) são as circulares e semicirculares. Entretanto, em virtude da dificuldade para execução das seções circulares e semicirculares, dá-se preferência as seções trapezoidais as quais apresentam facilidade de execução aliada a bons desempenhos.

Estruturação de Conhecimentos: esta etapa compreendeu a criação dos modelos conceituais, criação dos fluxogramas, compatibilização dos parâmetros e realização de testes de conceito.

Criação dos Modelos Conceituais: compreende o desenvolvimento de modelos onde são apresentados os objetivos a serem atingidos com o programa e como fazer para se chegar até estes objetivos. Desenvolvem-se esquemas onde são determinados objetivos principais e objetivos secundários, e através dos cumprimentos dos objetivos secundários, pode-se chegar aos objetivos principais.

Os modelos Conceituais foram realizados para as quatro etapas que compreendem a realização deste trabalho: a) *Dimensionamento das trincheiras*, b) *Dimensionamento*

da drenagem de águas pluviais c) Dimensionamento da drenagem de líquidos percolados e, d) Estimativa de custos de Aterros Sanitários.

Criação dos Fluxogramas: é através dos fluxogramas que se desenvolve a lógica do programa. Os fluxogramas fazem a conexão entre os conhecimentos e lógicas desenvolvidas pelo especialista em aterros sanitários, que detém o domínio das operações e cálculos envolvidos, e o programador, que detém o domínio das lógicas de programação e desenvolvimento de sistemas computacionais.

Compatibilização dos parâmetros: nesta etapa foram compatibilizados parâmetros já constantes da base de dados de SADES (sistema de apoio à decisão para escolha de áreas para aterros) com parâmetros utilizados nesta etapa de dimensionamento, como: peso específico dos resíduos, aspectos demográficos, aspectos quantitativos, atributos físicos do relevo, etc.

Realização de Testes de Conceito: através desta etapa de testes de conceito é que se verifica a consistência da lógica do programa. A verificação é realizada através da inserção de valores nas fórmulas e cálculos para garantia de que o programa funcione anteriormente conceitualmente antes que seja realizado o seu desenvolvimento computacional. Os testes são realizados através de criação de municípios hipotéticos, por exemplo, bem como seus dados de população, atributos físicos, relevo, intensidade de chuvas, etc.

3.2. FLUXOGRAMA GERAL METODOLÓGICO

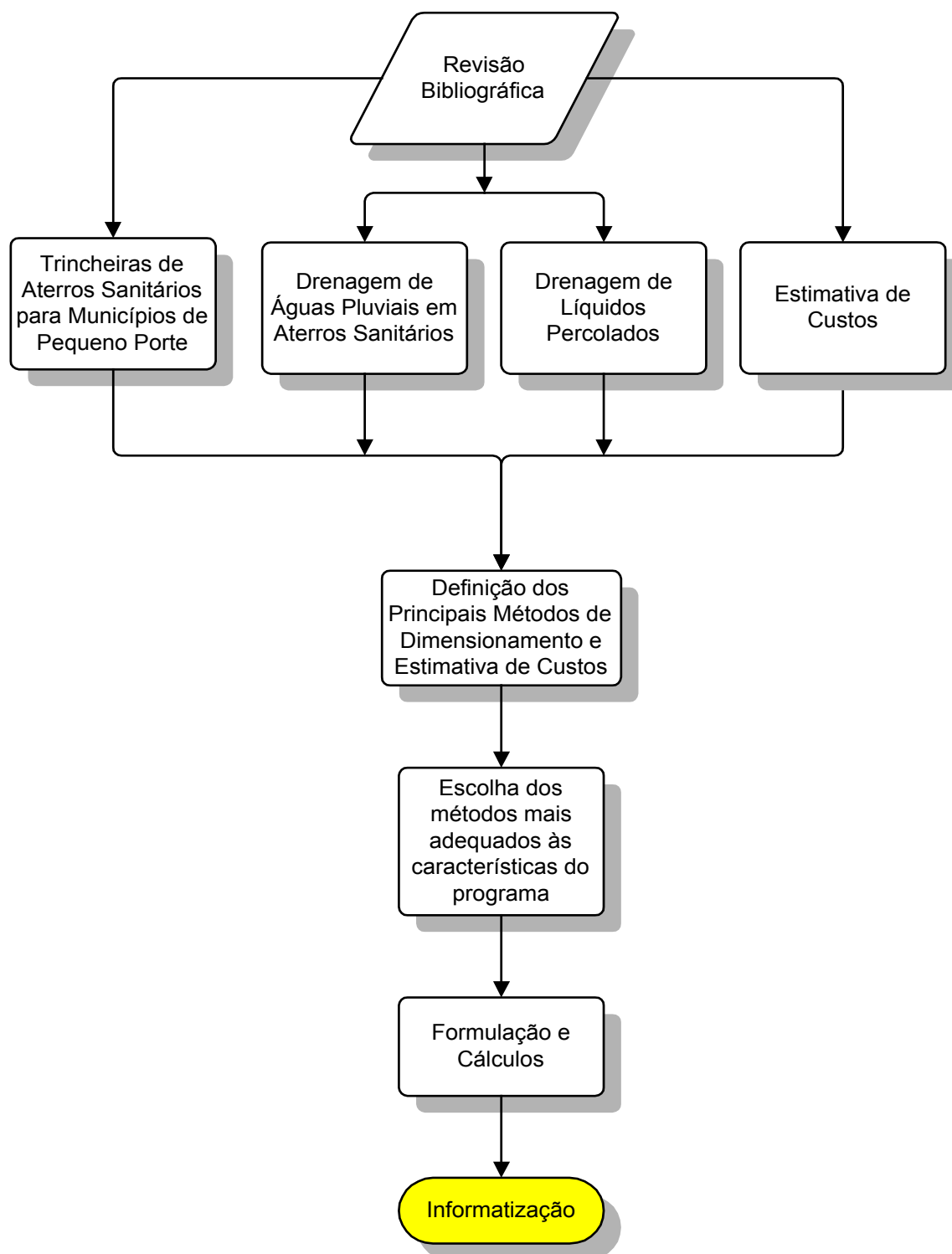


Figura 3.3 – Fluxograma Geral Metodológico

3.3. DEFINIÇÃO DOS MODELOS CONCEITUAIS

Como visto no item 3.1, a criação dos Modelos Conceituais compreende o desenvolvimento de modelos onde são apresentados os objetivos a serem atingidos com o programa computacional e como fazer para se chegar até estes objetivos. Desenvolvem-se esquemas onde são determinados objetivos principais e objetivos secundários, e através dos cumprimentos dos objetivos secundários, pode-se chegar aos objetivos principais. Os modelos Conceituais foram realizados para as quatro etapas: 1) *dimensionamento das trincheiras*, 2) *dimensionamento da drenagem de águas pluviais*, 3) *dimensionamento da drenagem de líquidos percolados* e, 4) *estimativa de custos*.

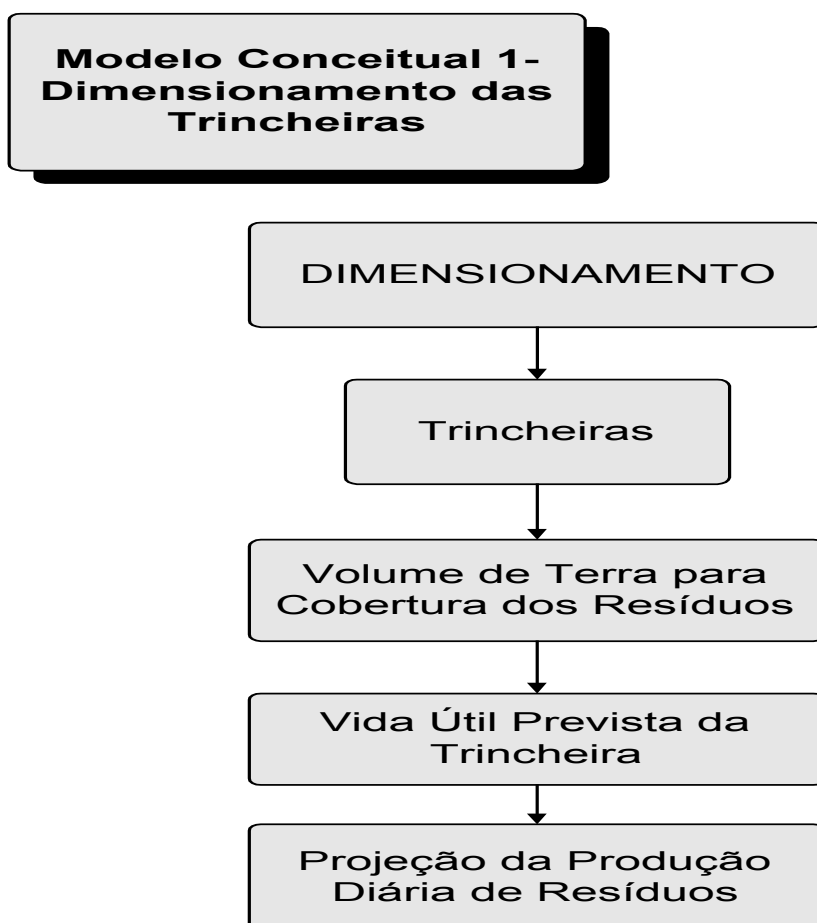


Figura 3.4 - Modelo Conceitual 1 – Dimensionamento das Trincheiras

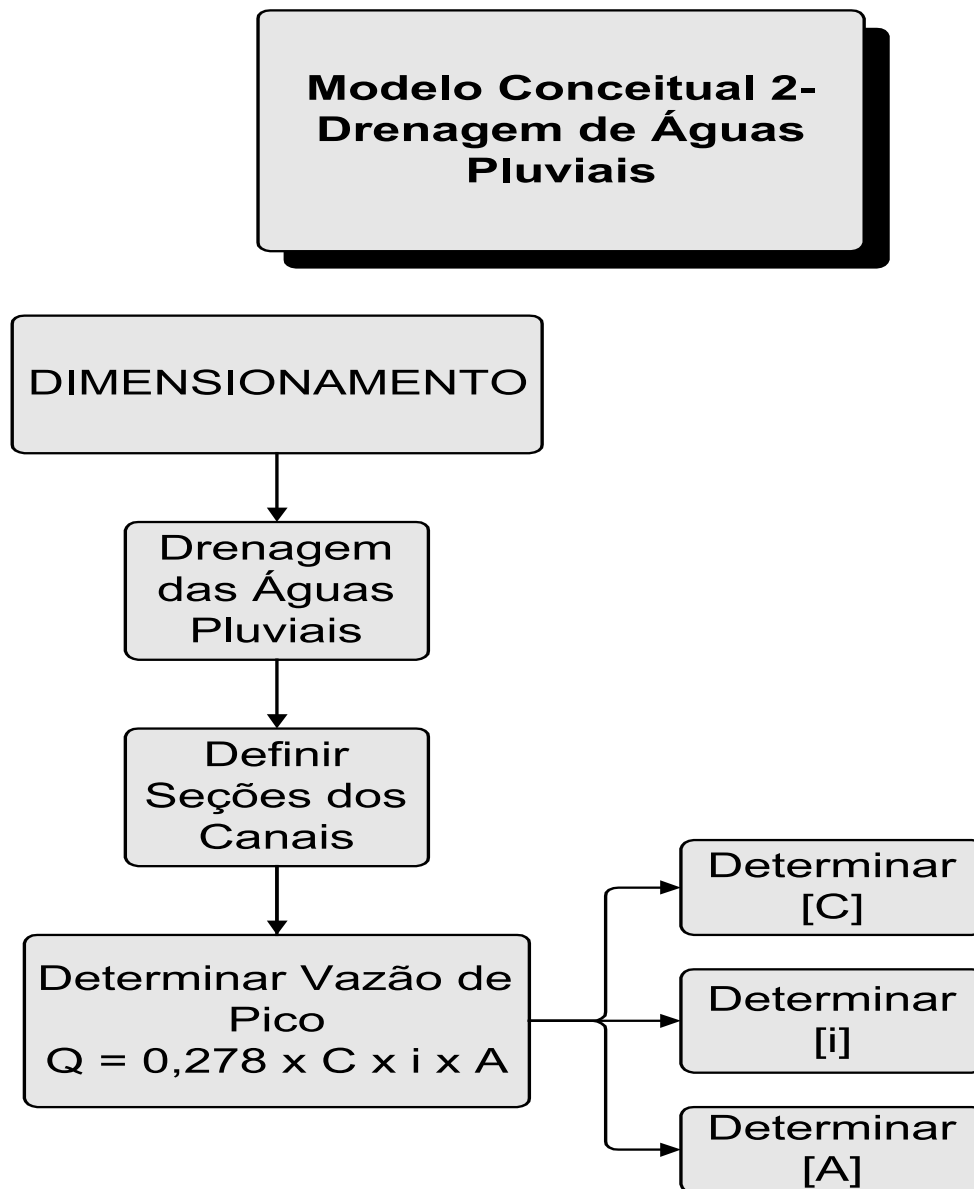


Figura 3.5 - Modelo Conceitual 2 – Drenagem de Águas Pluviais

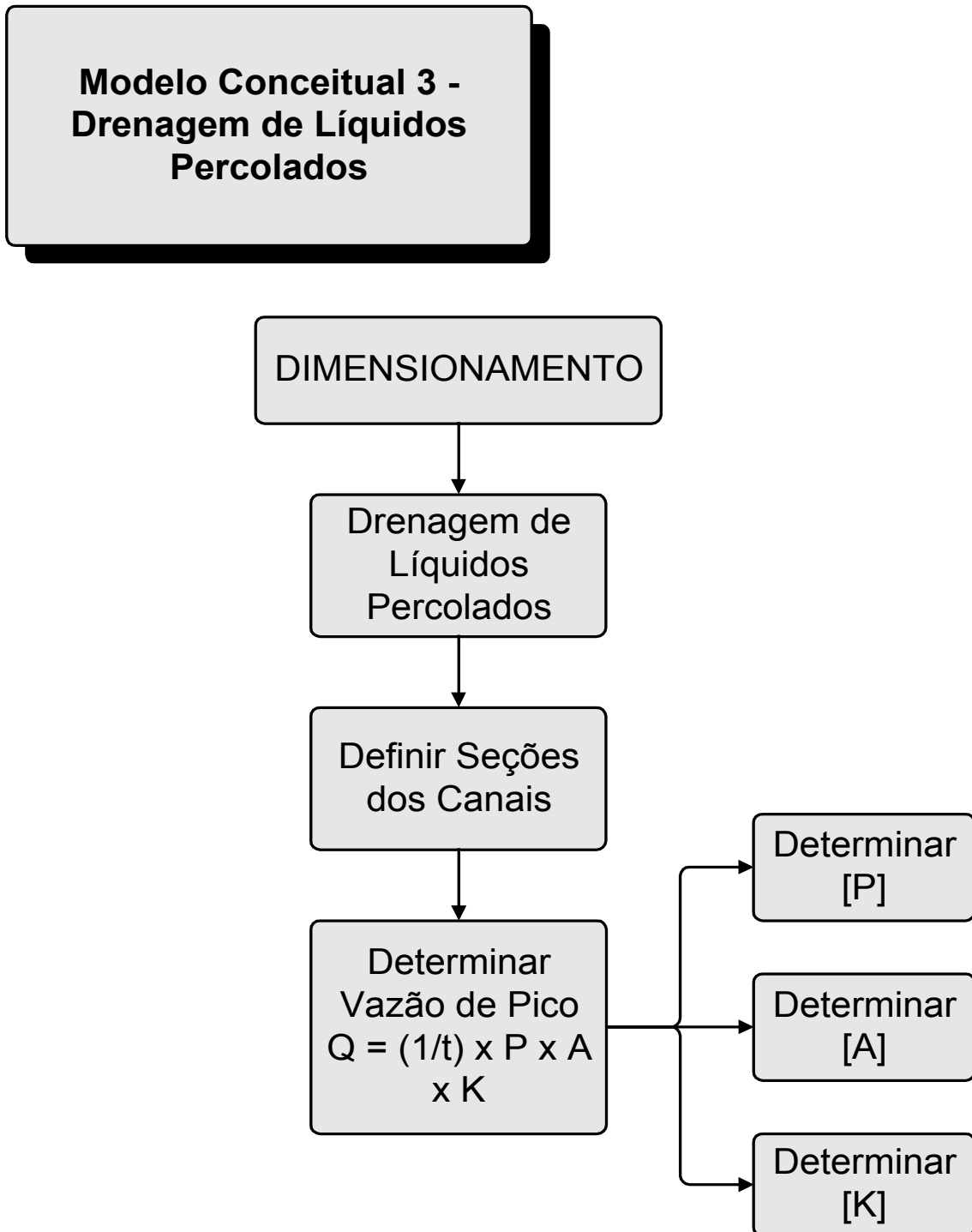


Figura 3.6 - Modelo Conceitual 3 – Drenagem de Líquidos Percolados

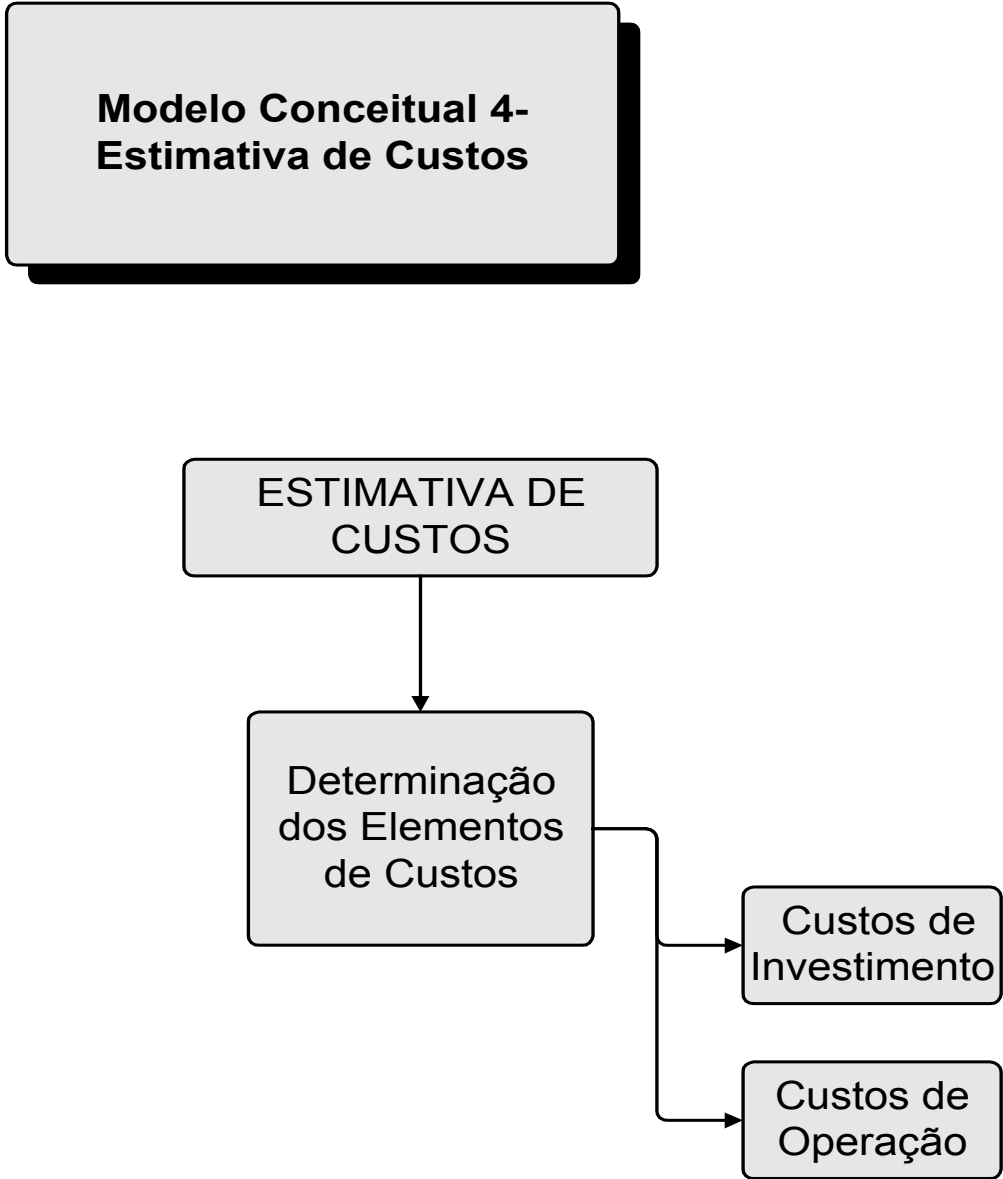


Figura 3.7 - Modelo Conceitual 4 – Estimativa de Custos

3.4. DEFINIÇÃO DOS FLUXOGRAMAS

È através dos fluxogramas que se desenvolve a lógica do programa. Eles realizam a conexão entre os conhecimentos e lógicas desenvolvidas pelo especialista em aterros sanitários, que detém o domínio das operações e cálculos envolvidos, e o programador, que detém o domínio das lógicas de programação e desenvolvimento de sistemas computacionais. Os fluxogramas foram desenvolvidos através de uma seqüência de procedimentos necessários para se atingir os objetivos dos Modelos Conceituais. Trata-se de um refinamento de itens a serem desenvolvidos, calculados, escolhidos para alcance do objetivo desejado.

Estes permitem um melhor entendimento do problema por parte do programador. È através dos fluxogramas que se dá início ao processo de informatização dos procedimentos e cálculos desenvolvidos. A partir dos fluxogramas começam a surgir as dúvidas do programador quanto à lógica do sistema, e então inicia-se o processo de integração entre o especialista em aterros sanitários e o programador, para que juntos, através de troca de informações e conhecimentos, possa-se chegar finalmente ao programa. Os fluxogramas foram desenvolvidos da mesma maneira dos Modelos Conceituais, separados em: *Dimensionamento das Trincheiras*, *Dimensionamento da Drenagem de Águas Pluviais*, *Dimensionamento da Drenagem de Líquidos Percolados* e *Estimativa de Custos*.

3.4.1. Dimensionamento das trincheiras

Para se dimensionar trincheiras de aterros sanitários deve-se conhecer as características da área disponível, para saber informações prévias ao cálculo, como a altura em relação ao lençol freático, fator que pode limitar a altura máxima da trincheira. Sabendo-se das limitações da área em questão, conforme sua área total disponível, altura máxima de escavação, comprimento disponível de acordo com a geometria da área em questão, pode-se iniciar o cálculo.

O cálculo de dimensionamento das trincheiras e conseqüente vida útil do aterro basicamente consistem na relação do volume de resíduos gerados diariamente pelo município e o volume (cubagem) disponível de acordo com a área disponível e as dimensões das trincheiras. Para o dimensionamento das trincheiras foi utilizada a metodologia proposta por CETESB (1997). Pode-se adotar a seguinte seqüência de cálculo:

$$V_1 = \frac{P_l}{\gamma} \quad V_1 = L_v \times H_v \times C_v$$

Onde:

V_1 = volume de resíduos a ser aterrado (m^3)

P_l = produção diária de resíduos sólidos (kg/hab. dia x população atendida)

γ = massa específica dos resíduos sólidos no interior da trincheira ($\cong 0,5t/m^3$)

L_v = largura da vala ou trincheira (m)

H_v = profundidade da trincheira (m)

C_v = comprimento da trincheira (m)

$$V_e = V_1 + V_{tc}$$

Onde:

V_e = volume de escavação (m³)

V_1 = volume de resíduos a ser aterrado (m³)

V_{tc} = volume de terra para cobertura dos resíduos (m³)

$$V_{tc} = 0,2 \times \left(\frac{P_l}{\gamma \times H_v} \right) + (1,41 \times H_v \times L_v)$$

Onde:

V_{tc} = volume de terra para cobertura dos resíduos (m³)

H_v = profundidade da trincheira ($\cong 3,0$ metros)

L_v = largura da trincheira ($\cong 3,0$ metros)

Como para a maioria dos aterros em trincheiras,

$$\gamma \cong 0,5 \text{ t/m}^3$$

$$L_v = H_v = 3,0 \text{ metros}$$

$$V_{tc} = 0,13 \times P_l + 2,54$$

A seguir, são apresentados os fluxogramas criados para o desenvolvimento do programa pelo especialista em programação de computadores e desenvolvimento de sistemas:

Fluxograma Dimensionamento Trincheiras

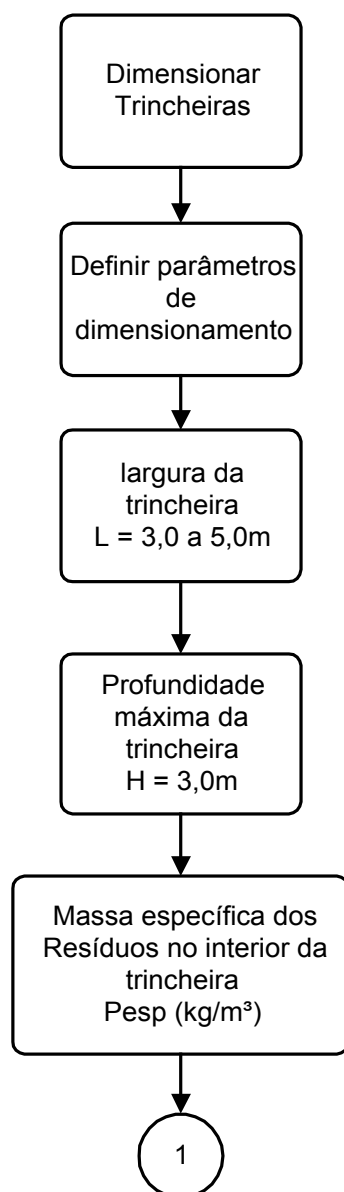


Figura 3.8 - Fluxograma de desenvolvimento dos cálculos de dimensionamento das trincheiras

Fluxograma Dimensionamento Trincheiras

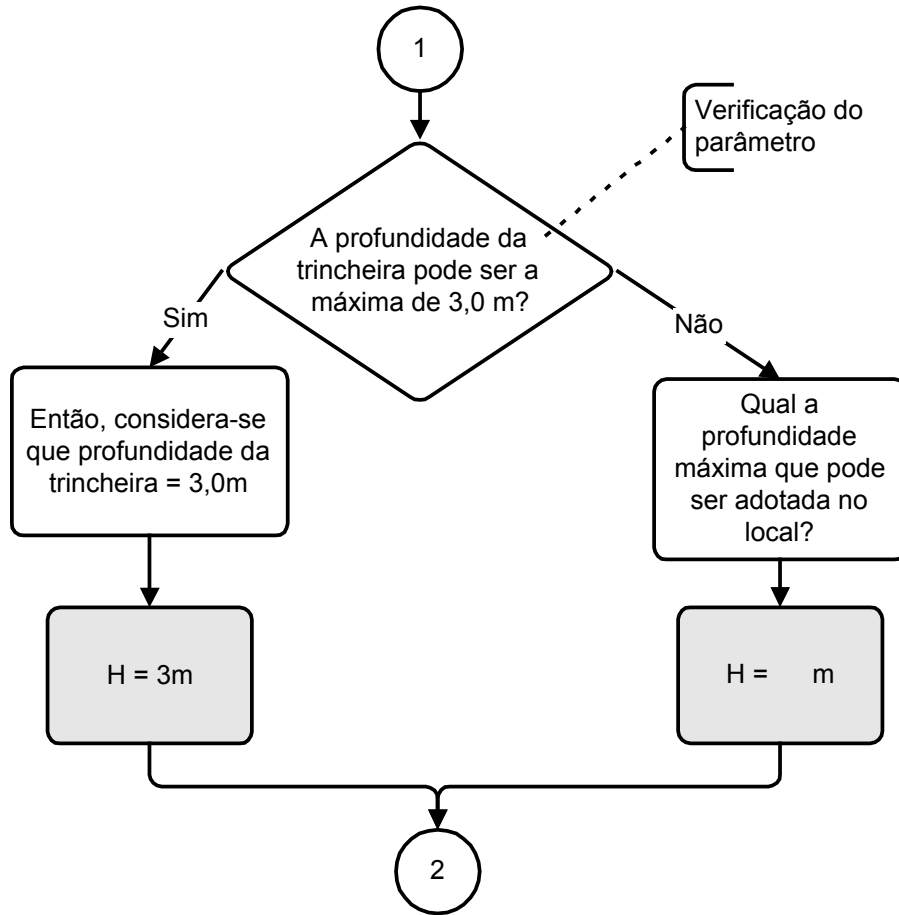


Figura 3.9 - Fluxograma de verificação dos parâmetros construtivos locais

Fluxograma Dimensionamento Trincheiras

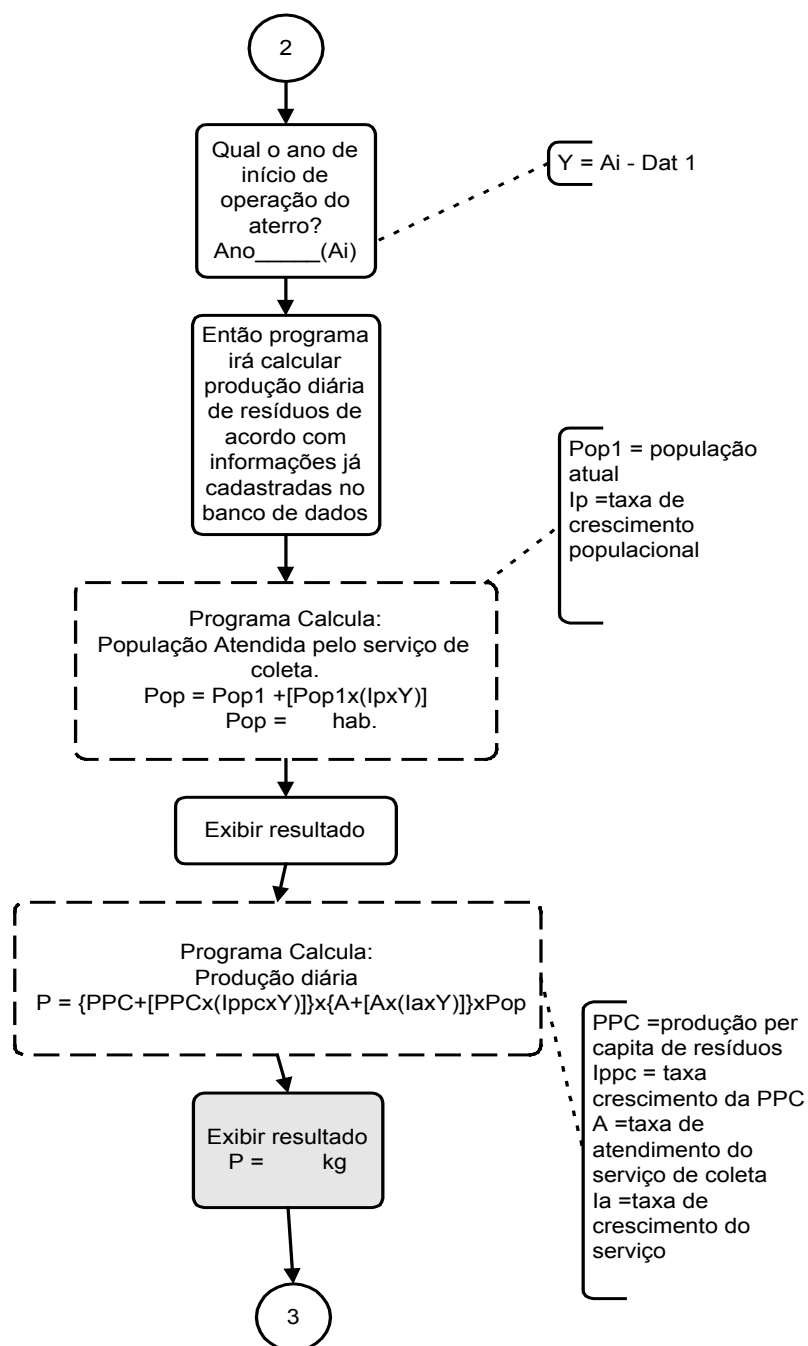


Figura 3.10 - Fluxograma de desenvolvimento dos cálculos de dimensionamento das trincheiras

Fluxograma Dimensionamento Trincheiras

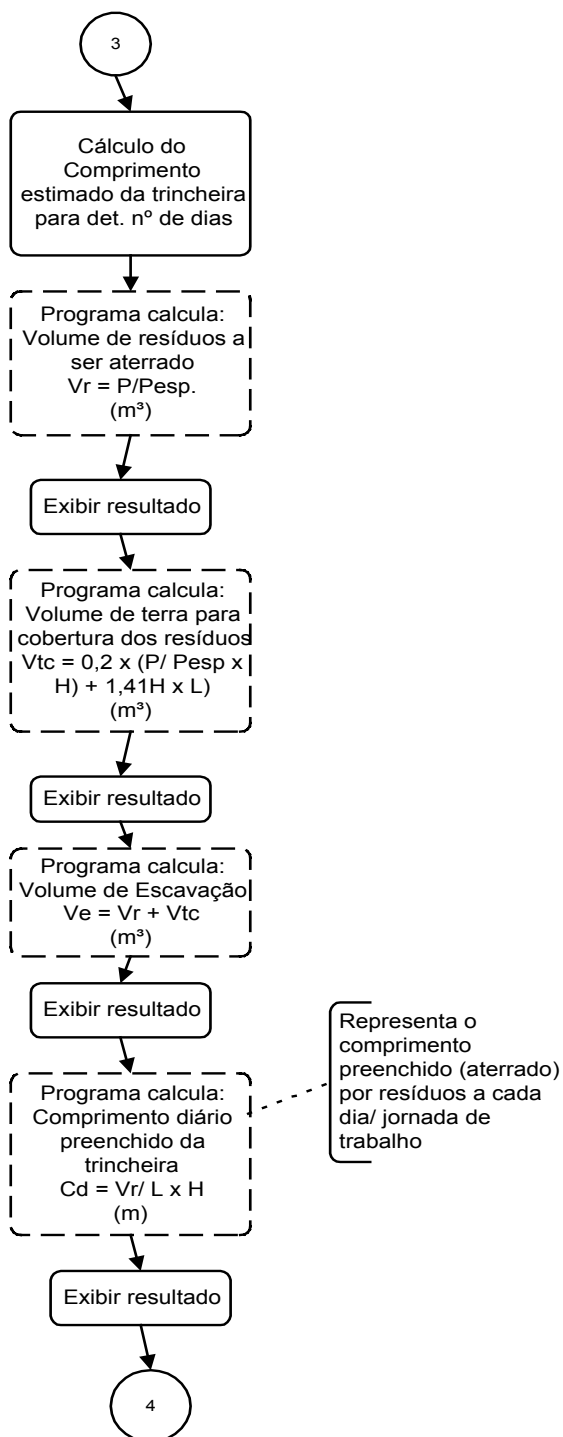


Figura 3.11 - Fluxograma de desenvolvimento dos cálculos de dimensionamento das trincheiras

Fluxograma Dimensionamento Trincheiras

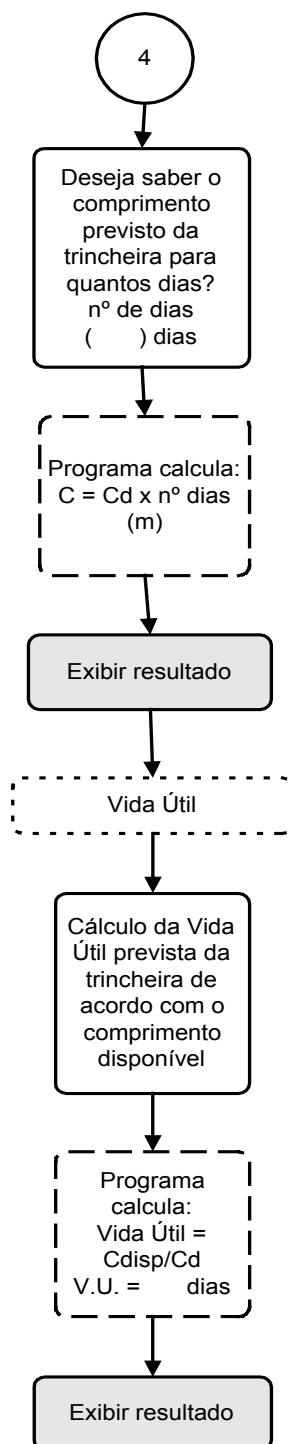


Figura 3.12 - Fluxograma de desenvolvimento dos cálculos de dimensionamento das trincheiras

3.4.2. Dimensionamento dos Canais de Drenagem de Águas Pluviais

Para o dimensionamento dos canais de drenagem de águas pluviais, que têm como objetivo “isolar” a área do aterro para que através da massa de resíduos dispostos nas trincheiras somente infiltrem águas pluviais precipitadas sobre as trincheiras e que não haja influência de águas precipitadas de outras áreas próximas, desenvolveu-se uma seqüência de cálculos e procedimentos que foram descritos em fluxogramas para seu desenvolvimento por parte do programador.

Para este dimensionamento foi adotado basicamente o procedimento de CETESB (1997), onde se procurou realizar os cálculos de maneira que este procedimento fosse o mais simples possível na integração com o usuário do programa. Para se dimensionar os drenos, necessita-se conhecer o valor da vazão a ser drenada. Para se calcular a vazão a ser drenada, no entanto, necessita-se anteriormente conhecer dados pluviométricos, coeficiente de escoamento superficial, características do solo, do material do canal, da declividade do terreno, tempo de concentração, entre outros.

Todos estes tipos de informação são solicitados ao usuário ou calculados com auxílio do programa para se chegar ao dimensionamento. De acordo com CETESB (1997), o Quadro a seguir apresenta os valores do coeficiente de escoamento superficial (C).

QUADRO 3.1 – Valores do Coeficiente de Escoamento Superficial – (C)

Tipo de cobertura	Solo Arenoso Declividade (em %)		Solo Argiloso Declividade (em %)	
	≤7	>7	≤7	>7
Áreas com matas	0,20	0,25	0,25	0,30
Campos cultivados	0,30	0,35	0,35	0,40
Áreas gramadas	0,30	0,40	0,40	0,50
Solos sem cob. vegetal	0,30	0,60	0,60	0,70

CETESB (1997).

A equação da intensidade de uma chuva depende da duração (t) e do período de retorno (T). A chuva crítica é aquela que gera a maior vazão esperada numa dada seção de estudo, e tem duração igual ao tempo de concentração da bacia (tc), isto é, aquele tempo gasto para que uma gota de água precipitada no ponto mais distante na bacia em relação à seção considerada atinja esta seção. Há diversas fórmulas para estimar o valor de tc (Genovez, 2001).

Uma das mais utilizadas é Formula da Califórnia Culverts Practice, isto é:

$$tc = 57 \times \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Onde:

tc = tempo de concentração, em minutos;

L = comprimento do talvegue máximo da bacia (km);

H = desnível da bacia (diferença entre os pontos de maior e menor cota) (m);

Para a determinação da intensidade da chuva crítica, utiliza-se, entre outras, a seguinte equação:

$$i(tc, T) = \frac{1}{tc} \times (0,21 \times \ln T + 0,52) \cdot (0,54 \times tc^{0,25} - 0,50) \times P(60,10) \times 60$$

Onde:

i = intensidade de chuva crítica (mm/hora);

tc = tempo de concentração (min);

$P(60, 10)$ = precipitação com duração de 60 minutos e período de retorno de 10 anos (mm), já ocorrido (no QUADRO 3.2 tem-se valores para algumas cidades);

T = período de retorno, devendo-se ser igual à própria vida útil do aterro. (ano)

A vida útil dos aterros sanitários manuais executados pelo método da trincheira foi adotada como sendo de 10 anos, conforme o que foi desenvolvido no projeto do PROSAB com o qual está relacionado este trabalho. (CETESB, 1997). Neste sentido, $T = 10$ é razoável. A CETESB (1997) apresentou os valores de $P(60,10)$ para 80 localidades no Brasil, que são apresentados no Quadro 3.2. Existem fontes que compreendem todo um estado, mas não que compreendam todos os estados com dados confiáveis.

Por este motivo, para o dimensionamento dos canais de drenagem de águas pluviais serão utilizados os dados da CETESB (1997), que apresentam uma maior abrangência de dados para o Brasil. Para outras regiões, serão utilizados os dados das regiões mais próximas disponíveis.

QUADRO 3.2 – Valores de Precipitação para 80 localidades brasileiras

Estado	Cidade	P(60,10) mm	Estado	Cidade	P(60,10) mm
AL	Maceió	55	RJ	Jardim Botânico	67
AM	Manaus	68	RJ	Niteroi	64
AM	Paritins	80	RJ	Nova Friburgo	60
AM	Vaupés	80	RJ	Petrópolis	76
BA	Salvador	60	RJ	Pinheiral	64
CE	Fortaleza	54	RJ	Praça XV	74
CE	Guaramiranga	54	RJ	Praça Saens Peña	60
CE	Quixeramobim	66	RJ	Resende	70
ES	Vitória	56	RJ	Rod. Pres. Dutra km 47	
GO	Formosa	57	RJ	Santa Cruz	57
GO	Goiânia	70	RJ	Teresópolis	66
MA	São Luiz	59	RJ	Vassouras	58
MA	Turiassu	66	RJ	Volta Redonda	67
MA	Alto Tapajós	80	RN	Natal	58
MG	Barbacena	58	RO	Porto Velho	72
MG	Belo Horizonte	62	RS	Alegrete	62
MG	Passa Quatro	44	RS	Bagé	49
MG	Sete Lagoas	52	RS	Caxias do Sul	54
MG	Cuiabá	68	RS	Cruz Alta	65
MG	Catalão	60	RS	Encruzilhada	48
PA	Belém	62	RS	Irai	56
PA	Soure	86	RS	Passo Fundo	43
PA	Taperinha	76	RS	Porto Alegre	64
PA	Juaretê	82	RS	Rio Grande	68
PB	João Pessoa	50	RS	Santa Maria	62
PB	São Gonçalo	62	RS	Santa Vitória do Palmar	62
PE	Nazaré	44	RS	São Luiz Gonzaga	64
PE	Fernando de Noronha	70	RS	Uruguaiana	56
PE	Olinda	60	RS	Viamão	37
PI	Teresina	90	SC	Blumenau	72

PI	Barra do Corda	70	SC	Florianópolis	70
PR	Curitiba	68	SC	São Francisco do Sul	65
PR	Jacarezinho	52	SE	Aracaju	66
PR	Paranaguá	70	SP	Avaré	64
PR	Ponta Grossa	54	SP	Lins	52
RJ	Alto Itatiaia	60	SP	Piracicaba	58
RJ	Bangu	68	SP	Santos – Itapema	140
RJ	Cabo Frio	50	SP	Santos	84
RJ	Campos	55	SP	São Carlos	70
RJ	Ipanema	72	SP	São Simão	51

CETESB (1997).

Neste trabalho, não há dados disponíveis para o Distrito Federal e para os Estados do Acre, Amapá, Mato Grosso do Sul, Roraima e Tocantins. Por este motivo serão utilizados os dados disponíveis de localidades mais próximas aos dados indisponíveis para este projeto.

O QUADRO 3.3 apresenta os taludes usuais dos canais de drenagem que devem ser adotados em função da natureza das paredes. No Programa SADES optou-se por incluir no cálculo dos drenos apenas os valores da tangente de θ para os materiais mais usados em campo para construir canais de drenagem.

QUADRO 3.3 - Taludes Usuais dos Canais

Natureza das Paredes	Cotg θ	θ
Servem em qualquer terreno sem revestimento	3:1 2 ½:1	18°26' 21°48'
Corte ou aterro em terreno solto ou arenoso	2:1 1 ¾:1	26°34' 29°46'
Terreno firme, sem revestimento	1,73:1	30°00'
Terreno firme, sem revestimento	1 ½:1	33°41'
Terreno muito firme, paredes rochosas, ou com revestimento de madeira ou laje	1 1/3:1 1 ¼:1	36°52' 38°40'
Terreno argiloso firme	1:1	45°00'
Conglomerado, terreno muito resistente	¾:1	53°08'
Terreno de rocha estratificada; alvenaria de pedra seca; revestimento de concreto	0,58:1 1:1 ¾ ½:1	60°00' 60°15' 63°26'
Cortes em rocha firme	¼:1	75°57'

Fonte: NEVES, (1960).

Dada a equação (3.1)

$$Q = A \times \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} = A \times \frac{1}{n} \left(\frac{A}{S} \right)^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \quad (3.1)$$

Então,

Para a máxima vazão, tem que ter o máximo raio hidráulico (R) ou o mínimo perímetro molhado (S). A forma que pode ter o mínimo perímetro molhado é o círculo. Entretanto, na prática é difícil construir o canal circular aberto. Então se adota comumente as formas trapezoidal e retangular. No caso de retângulo ou trapézio, a seção tem que ser mais próxima a círculo, ou seja, seus taludes e fundo tangenciam um semicírculo cujo centro se focaliza na superfície livre. Agora se trata de uma seção trapezoidal. Usando a equação

$$A = (b + m \times H) \times H \therefore b = \frac{A}{H} - m \times H \quad (3.2)$$

e a equação $S = b + 2\sqrt{1+m^2} \times H \quad (3.3),$

Substituindo a equação (3.2) em (3.3), obtém-se:

$$S = \frac{A}{H} - m \times H + 2\sqrt{1+m^2} \times H$$

Supondo que m e A são constantes, determinar o valor de H para ter o valor mínimo de S . Derivando-se esta equação em relação a H ,

$$\frac{dS}{dH} = -\frac{A}{H^2} - m + 2\sqrt{1+m^2} = 0 \therefore H^2 = \frac{A}{2\sqrt{1+m^2} - m}$$

Então, quando m é determinado (constante),

$$A = H^2 (2\sqrt{1+m^2} - m) \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned}
 b &= 2H(\sqrt{1+m^2} - m) \\
 B &= 2H\sqrt{1+m^2} \\
 S &= 2H(2\sqrt{1+m^2} - m) \\
 R &= \frac{A}{S} = \frac{1}{2}H \quad (3.5)
 \end{aligned}$$

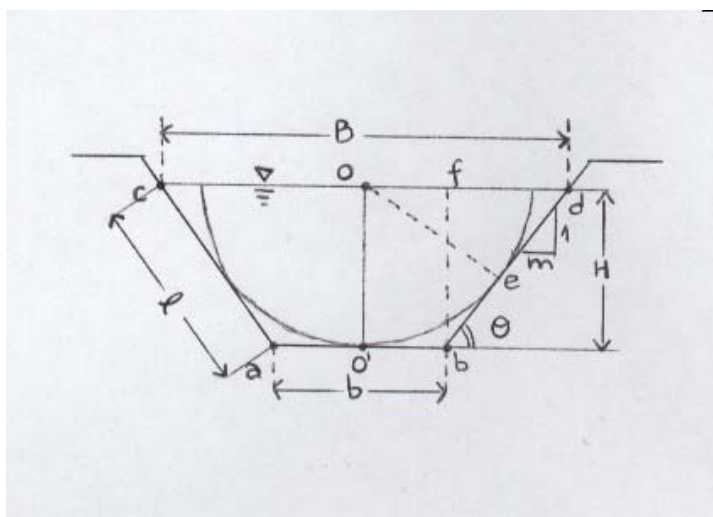
Na Figura 3.13,

$$l = H\sqrt{1+m^2}$$

Geometricamente,

$$dO=db,$$

$$Oe=bf=OO'=H$$



Fonte: Kobiyama (2003)

Figura 3.13 - Seção de canal trapezoidal

Quando se pode escolher o valor de m ,

$$m = \frac{1}{\sqrt{3}} \therefore \theta = 60^\circ$$

$$A = \sqrt{3}H^2$$

$$b = \frac{2}{\sqrt{3}}H$$

$$B = \frac{4}{\sqrt{3}}H$$

$$S = 2\sqrt{3}H$$

$$R = \frac{1}{2}H$$

No caso do canal retangular, $m=0$. Então, usando a equação (3.4) , neste caso,

$$A = 2H^2$$

$$b = B = 2H$$

$$S = 4H$$

$$R = \frac{1}{2}H$$

A determinação das dimensões da seção trapezoidal do canal de drenagem é realizada como segue. (KOBAYAMA, (2003))

A partir da equação (3.1) $Q = A \times \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$, e sabendo-se que:

$$* R = \frac{1}{2} \times H \text{ e que} \quad (3.5)$$

$$* A = H^2 \left(2\sqrt{1+m^2} - m \right) \quad (3.4)$$

$$* \text{tg } \theta = \frac{1}{m} \quad (3.6)$$

Substituindo (3.4) e (3.5) em (3.1), tem-se

$$Q = H^2 \times \left(2\sqrt{1+m^2} - m \right) \times \frac{1}{n} \times \left(\frac{1}{2}H \right)^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

$$n \times I \times Q = H^2 \times (2\sqrt{1+m^2} - m) \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2}{3}} \times (H)^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{n \times I \times Q}{(2\sqrt{1+m^2} - m) \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2}{3}}} = H^{\frac{3}{8}}$$

$$H = \left[\frac{n \times Q}{(I)^{\frac{1}{2}} \times (2\sqrt{1+m^2} - m) \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{2}{3}}} \right]^{\frac{3}{8}} \quad (3.7)$$

onde:

n – coeficiente de rugosidade (adimensional);

I – declividade (m/m);

Q – Vazão (m³/s);

θ – (ângulo de inclinação do talude da seção trapezoidal) tabelado em função do material do canal.

A seguir apresentam-se os fluxogramas desenvolvidos para facilitar o entendimento do programador, necessários à integração do que foi desenvolvido pelo especialista em aterros sanitários com o a linguagem comumente utilizada pelos programadores.

Fluxograma Drenagem Águas Pluviais

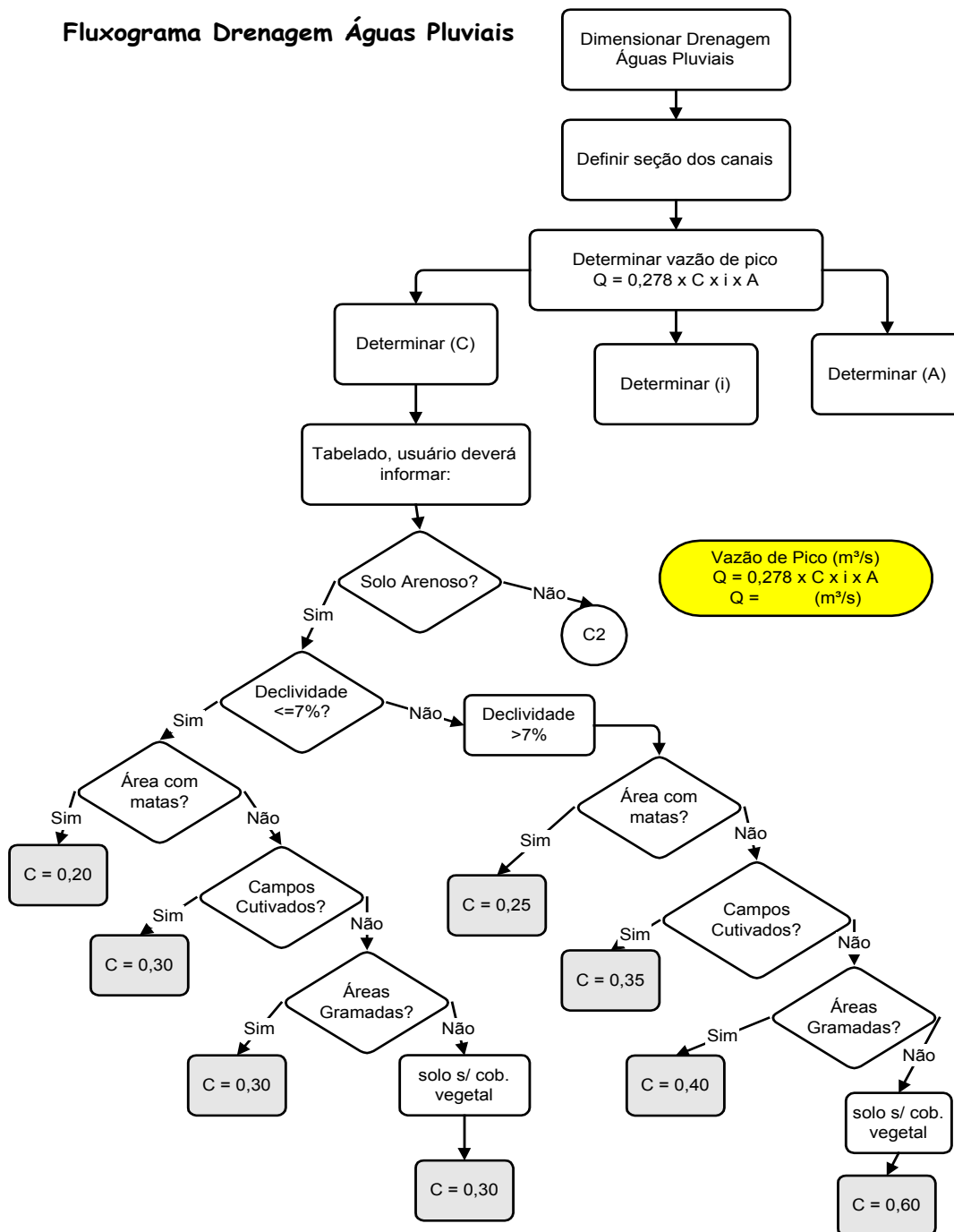


Figura 3.14 - Fluxograma de determinação do coeficiente de escoamento superficial (C)

Fluxograma Drenagem Águas Pluviais

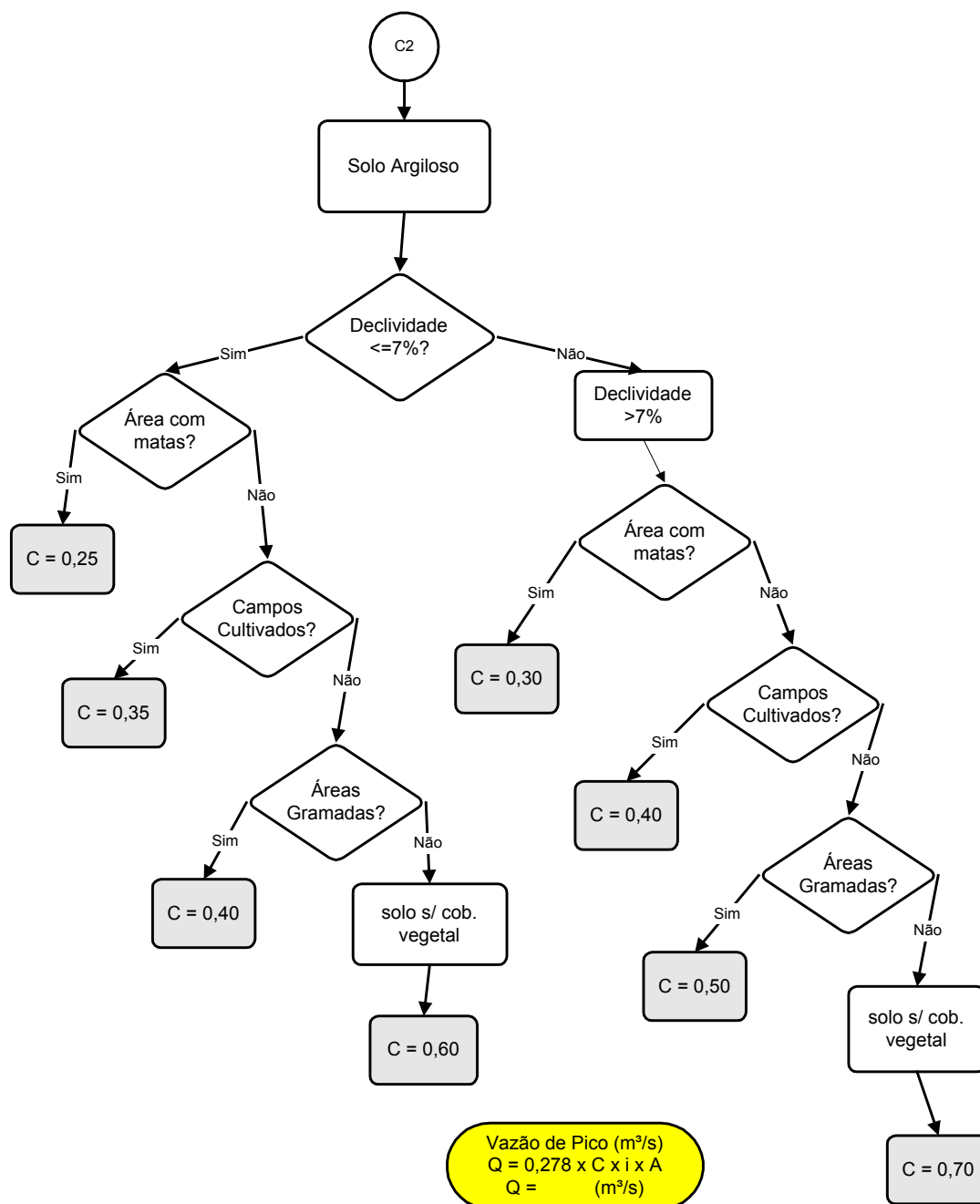


Figura 3.15 - Fluxograma de continuação da determinação do coeficiente de escoamento superficial (C)

Fluxograma Drenagem Águas Pluviais

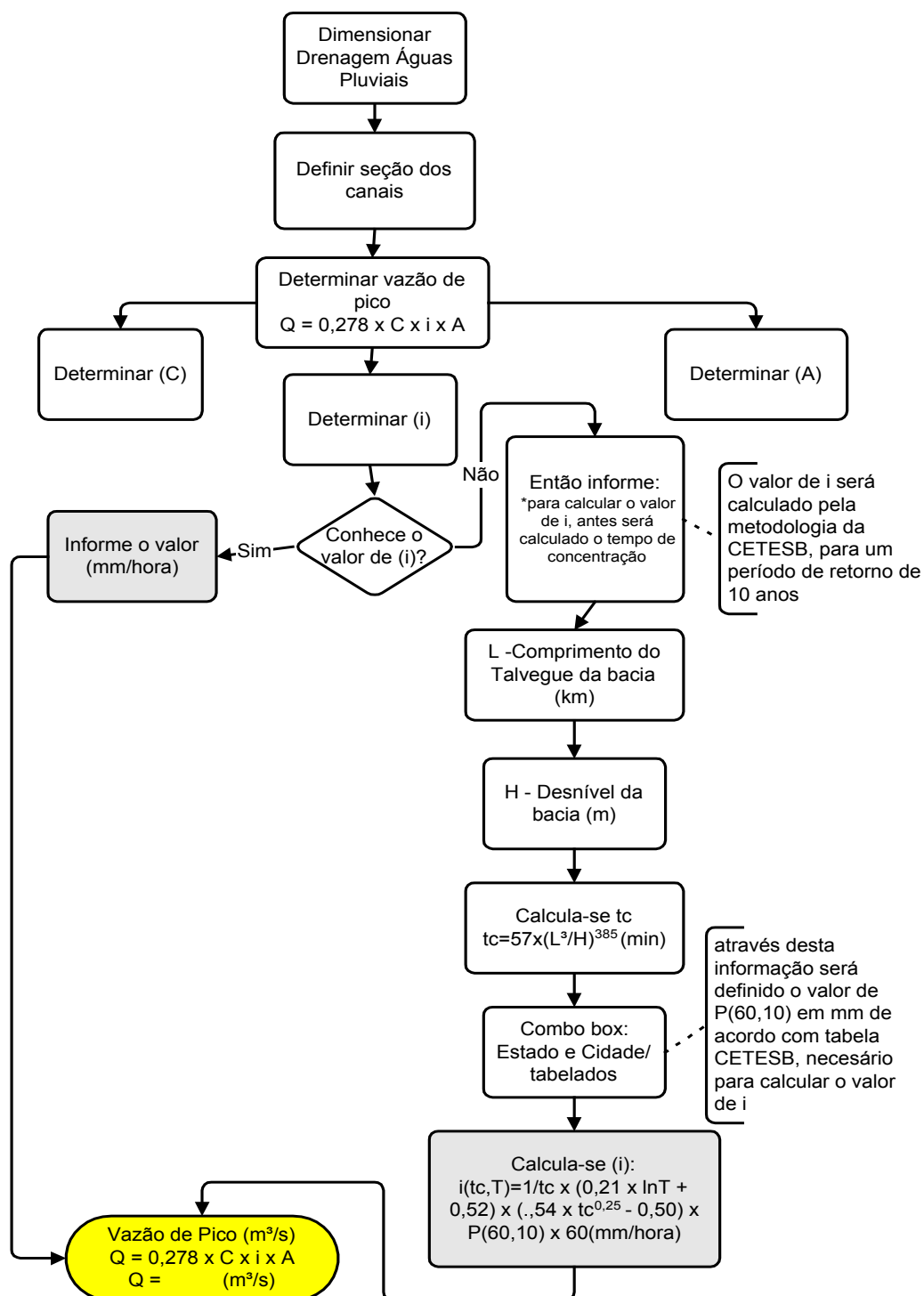


Figura 3.16 - Fluxograma de cálculo de intensidade de chuvas (i)

Fluxograma Drenagem Águas Pluviais

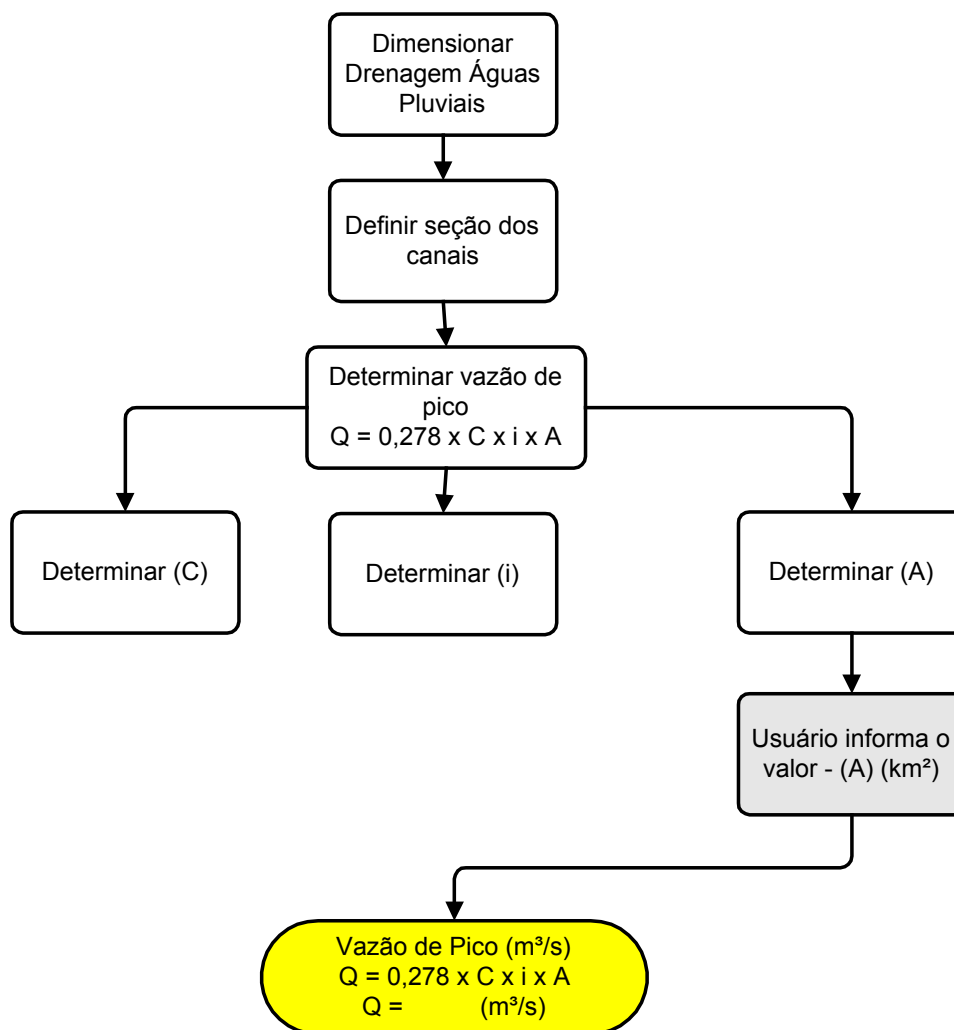


Figura 3.17 - Fluxograma de determinação de área do aterro (A), informada pelo usuário.

3.4.3. Dimensionamento dos Canais de Drenagem de Líquidos Percolados

O dimensionamento dos canais de drenagem de líquidos percolados na base do aterro pode ser realizado por dois métodos principais: o método suíço e o balanço hídrico. São apresentadas a seguir estas duas metodologias. Dependendo da disponibilidade de dados do aterro, o programa SADES possibilita ao usuário escolher o método de cálculo da estimativa das vazões dos líquidos percolados. A diferença entre os métodos é basicamente que o Método do Balanço Hídrico apresenta resultados mais precisos, porém necessita de um maior número de dados medidos, com base em processos analíticos e em séries hidrológicas históricas.

a) Estimativa da Quantidade de Líquidos Percolados Produzidos utilizando o “Método Suíço”

Para se calcular a vazão de líquidos percolados a ser drenada utilizou-se o método conhecido por “Método Suíço”, por sua simplicidade de cálculo, e por ser um dos métodos mais adotados para cálculo de volume de líquidos percolados. O cálculo da vazão de líquidos percolados é feito através da fórmula:

$$Q = \left(\frac{1}{t}\right) \times P \times A \times K$$

Onde:

P = precipitação média anual (mm/ano)

Q = vazão média (l/s)

A = área do aterro (m²)

t = nº de segundos em 1 ano (31.536.000)

K = coeficiente dependente do grau de compactação dos resíduos

Para o desenvolvimento do cálculo informatizado da vazão de líquidos percolados foi criado o seguinte fluxograma:

Fluxograma Drenagem Líquidos Percolados (Método Suíço)

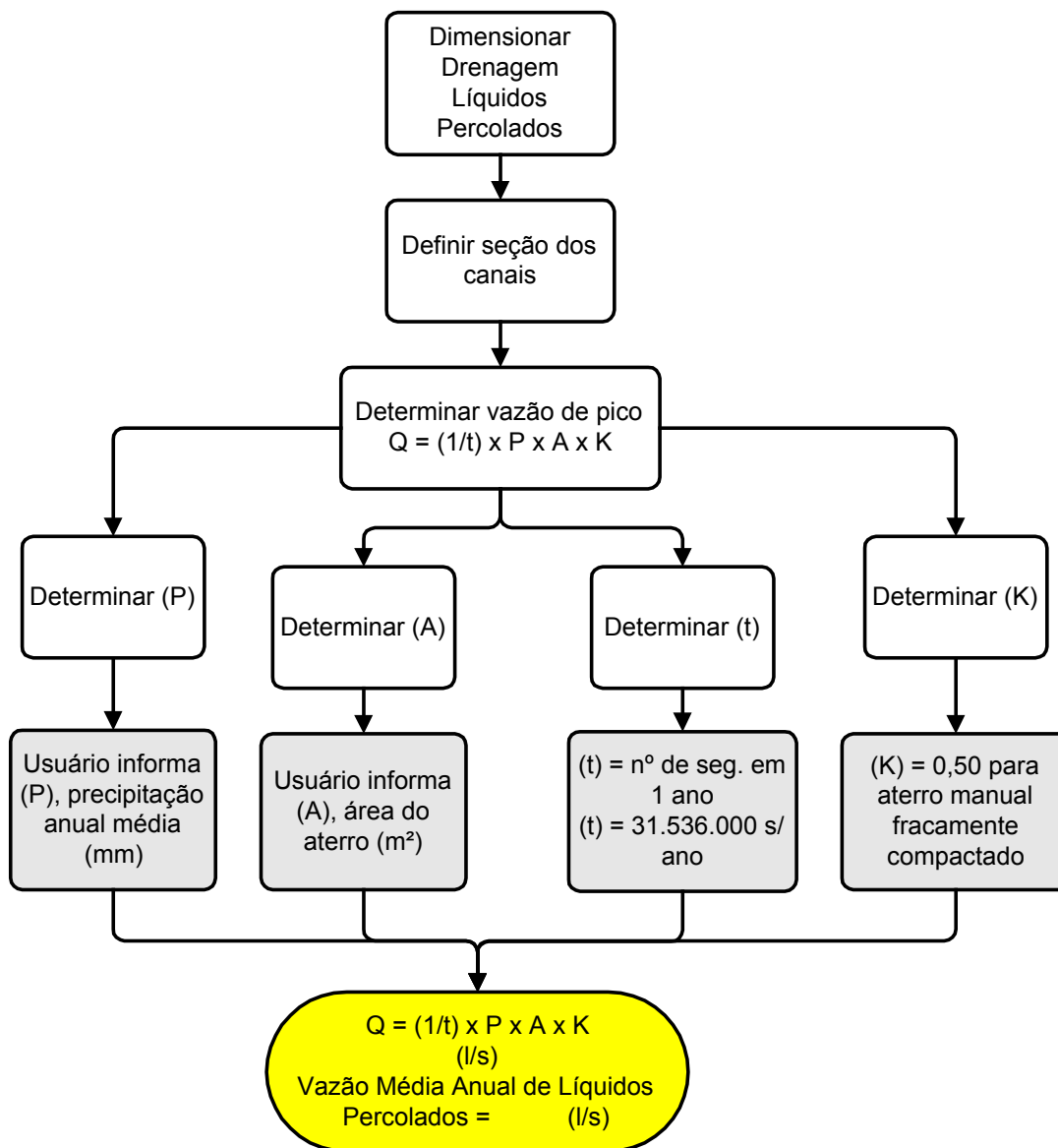


Figura 3.18 - Fluxograma de desenvolvimento dos cálculos de vazão de líquidos percolados

b) Estimativa da Quantidade de Líquidos Percolados Produzidos utilizando o “Método do Balanço Hídrico”

O método do Balanço Hídrico, um dos modelos atualmente mais utilizados em aterros sanitários para determinação dos volumes de líquidos gerados, foi proposto por Fenn em 1975 e depois desenvolvido por Kmet em 1982 (Bendz et al, 1997).

Esse método foi uma adaptação do “balanço hídrico” publicado pelo C. W. Thornthwaite em ano 1955. Esse estudo é conhecido sob a denominação de “Teoria de Thornthwaite”, aplicado no campo da conservação de solo e da água.

Para o entendimento do balanço hídrico aplicado em aterros sanitários é necessário ter um bom conhecimento dos conceitos básicos e da terminologia do método.

Método do Balanço Hídrico é um método complexo, que se aplica nos casos em que existe uma grande disponibilidade de dados de precipitação e evapotranspiração, medidos no local do aterro ou disponibilizados pela mais próxima estação meteorológica. Para a confiabilidade dos dados, esses devem ser bem validados, comparados com dados provenientes das outras estações situadas na proximidade do local estudado. Os parâmetros meteorológicos utilizados devem ser as médias aritméticas mensais.

Algumas condições básicas para utilização do método são apresentadas a seguir (Neto et al, 1999):

- Cobertura do solo de 60 cm de espessura;
- Infiltração no aterro proveniente somente da precipitação incidente;
- Características hidráulicas dos resíduos e do material de cobertura uniformes;
- Movimento da água no aterro é considerado somente no sentido vertical.

Com as informações sobre o tipo de solo utilizado, a área do aterro estudado e a declividade, a planilha será ativada.

Os dados de precipitação e evapotranspiração devem ser informados pelo usuário. O cálculo será feito mês a mês durante um ano, utilizando as escolhas do usuário sobre o tipo de solo, declividade, área do aterro, estação seca ou úmida do ano, condições nas quais o cálculo será conduzido automaticamente.

Para a continuação do cálculo de dimensionamento da rede de drenagem, o método permite utilizar como volume de lixiviados aquele escolhido pelo usuário, do mês que apresenta a mais desfavorável situação do ano.

Apesar do fato que o método em si é bastante complicado, o presente programa oferece a possibilidade de calcular o volume de lixiviados numa maneira rápida e bastante confiável.

Equação básica do método do balanço hídrico:

$$PER = P - ES - AAS - ER$$

Em qual:

PER - volume de líquido percolado, valores médios mensais calculado pela fórmula anteriormente apresentada;

P - índice de precipitação pluviométrica, valores médios mensais informados pelo usuário;

ES - escoamento superficial, calculado pela fórmula $ES = C' \times P$;

C' - coeficiente de escoamento superficial calculado como $C' = \alpha \times C$, onde α representa um coeficiente que depende do tipo da estação e C representa um coeficiente que depende de tipo de solo, valores apresentados no Quadro 3.4.

QUADRO 3.4 – Valores do Coeficiente de Escoamento Superficial (C´)

Tipo de Solo	Declividade (%)	COEFICIENTE (α)	
		Estação Seca	Estação Úmida
Arenoso C = 0.30	0 a 2	0.17	0.34
	2 a 7	0.34	0.50
Argiloso C = 40	0 a 2	0.33	0.43
	2 a 7	0.45	0.55

Fonte: Rocca et al, 1993.

I - infiltração calculada pela diferença entre a precipitação e escoamento superficial, conforme a formula $I = P - ES$;

AS - armazenamento de água no solo;

ASc - armazenamento de água na camada de cobertura, representando a quantidade máxima de água armazenada no solo;

AAS - troca de armazenamento de água no solo

ER - evapotranspiração real.

$\Sigma \text{ Neg } (I - EP)$ representa a perda potencial de água acumulada, e representa a quantidade de água armazenada no solo, que é perdida pela evapotranspiração. Calcula-se, somando-se em cada mês somente os valores negativos de $(I - EP)$. Para valores de $(I - EP)$ positivos será atribuído o valor zero para a soma $\Sigma \text{ Neg } (I - EP)$.

Os valores positivos de $(I-EP)$, que representam adições na quantidade de água armazenada, devem ser somados aos valores de (AS) no mês anterior a partir do ultimo mês que apresenta valor negativo de $(I - EP)$, até que se atinge a capacidade de campo. Qualquer excesso no valor de (AS) em relação à capacidade de campo, se transforma em líquido percolado.

O cálculo do armazenamento de água no solo no caso em que $(I-EP) > 0$, ser faz através da formula $AS = AD \times a$, no qual "a" representa a espessura da camada de

cobertura considerada igual a 0,60 e AD representa a água disponível no solo, valores apresentados no Quadro 3.5.

QUADRO 3.5 – Umidade do Solo (mm H₂O/m de Solo)

Tipo de Solo	Capacidade Campo	Ponto Murchamento	Água Disponível
Arenoso	200	50	150
Siltoso	300	100	200
Argiloso	375	125	250

Fonte: Rocca et al, 1993.

A evapotranspiração real (ER) representa a quantidade real da perda de água durante um certo mês. Para os meses em que a infiltração é maior que a evapotranspiração potencial ($I-EP > 0$), a evapotranspiração ocorre no seu Máximo nível, sendo igual a (EP).

Nos meses em que a infiltração é menor que a evapotranspiração potencial ($I-EP < 0$), a evapotranspiração real é condicionada ao grau de umidade do solo, e calculada pela seguinte expressão: $ER = EP + [(I - EP) - AAS]$

Cálculo da Vazão Mensal de Líquidos Percolados

$$Q_n = \frac{PER \cdot Area_{aterro}}{2.592.000} (l / s)$$

Para o cálculo da vazão de líquidos percolados, precisa-se conhecer a área do aterro (que será informada pelo usuário). O cálculo da altura mensal percolada é calculada pela seguinte fórmula: $PER = P - ES - AAS - ER$, apresentada anteriormente.

As compilações e adaptações dos cálculos e lógica do programa SADES pelo método do Balanço Hídrico foram desenvolvidos por Ioana Nicoleta Firta, em CASTILHOS JUNIOR et al (2003). Segundo FIRTA, o cálculo do método é conduzido em uma

planilha que centraliza todos os parâmetros envolvidos na equação geral do balanço hídrico. A planilha é atualizada somente no momento em qual o usuário informa a área do aterro sanitário e a declividade. Com as informações sobre o tipo de solo utilizado, a área do aterro estudado e a declividade, a planilha é ativada. Os dados de precipitação e evapotranspiração devem ser informados pelo usuário.

O cálculo é feito mês a mês durante um ano, utilizando as escolhas do usuário sobre o tipo de solo, declividade, área do aterro, estação seca ou úmida do ano, condições nas quais o cálculo será conduzido automaticamente. Para a continuidade do cálculo, o método permite utilizar como volume de lixiviado, aquele do mês que apresenta a situação mais desfavorável do ano. Apesar do fato que o método em si é bastante complicado, o presente programa oferece a possibilidade de calcular o volume de lixiviado numa maneira rápida e bastante confiável. Equação básica do método do balanço hídrico:

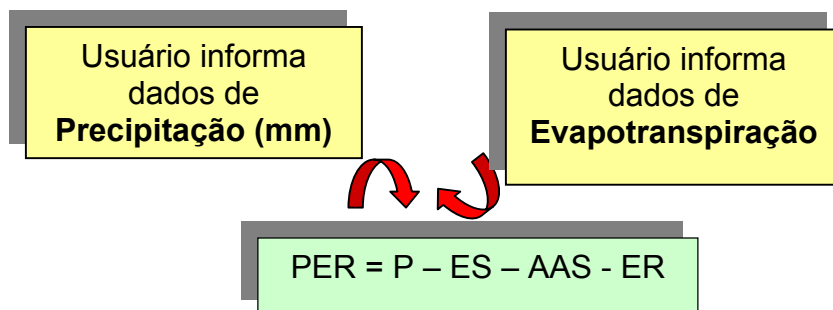


Figura 3.19 – Equação básica do método do Balanço Hídrico

Fluxograma para Cálculo da Vazão Mensal de Líquidos Percolados

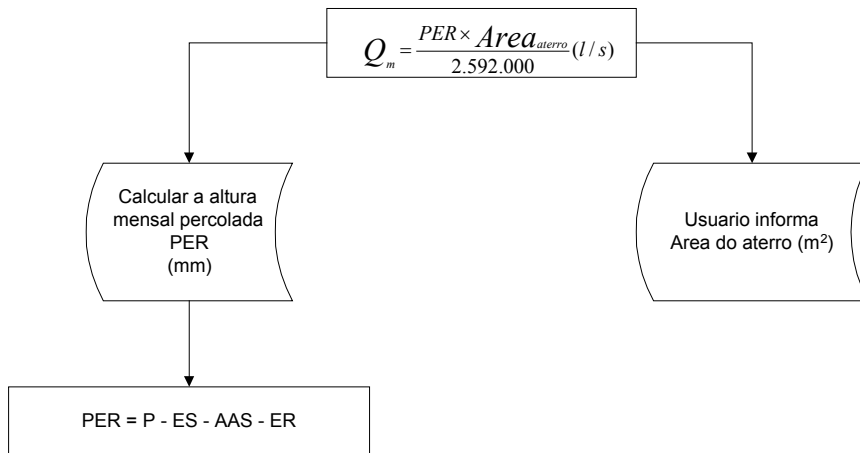
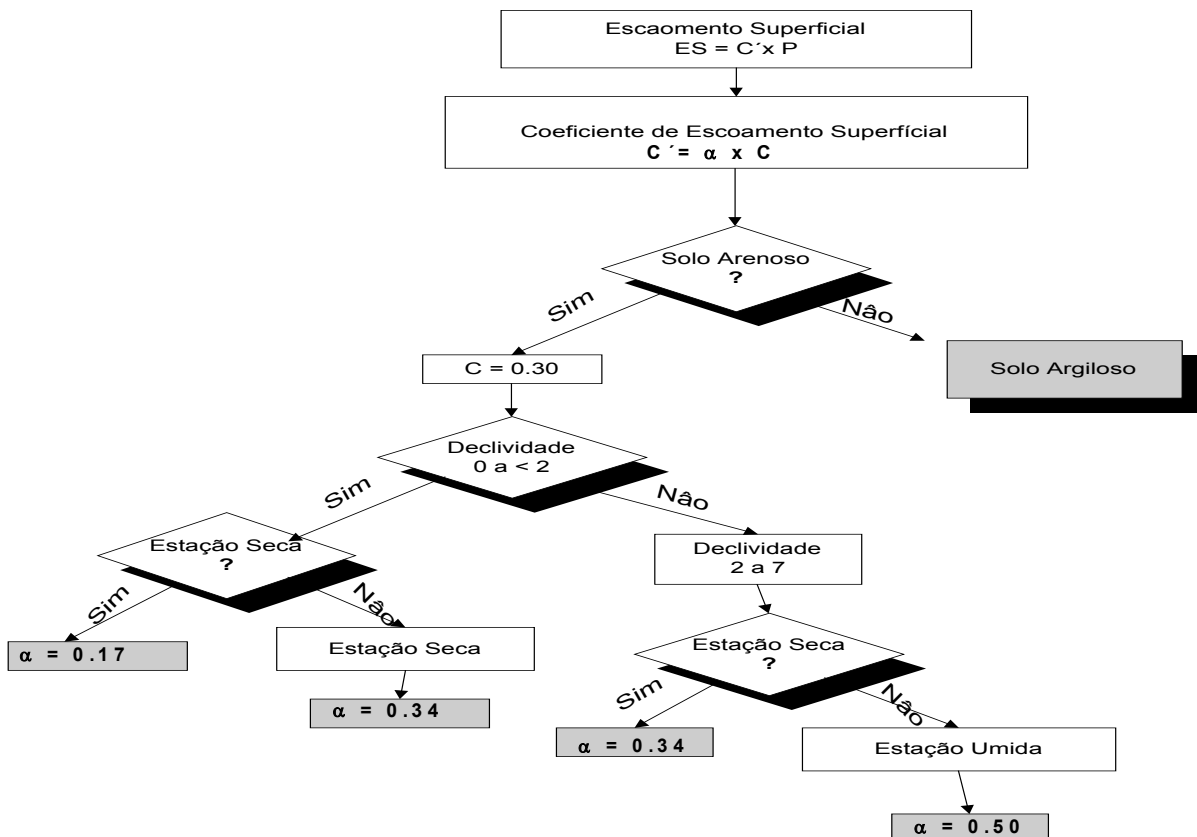


Figura 3.20 - Fluxograma de cálculo da vazão mensal de Líquidos Percolados

Para cada parâmetro da equação de cálculo da altura de percolado foi elaborado um fluxograma., a exemplo do Fluxograma do Escoamento Superficial:



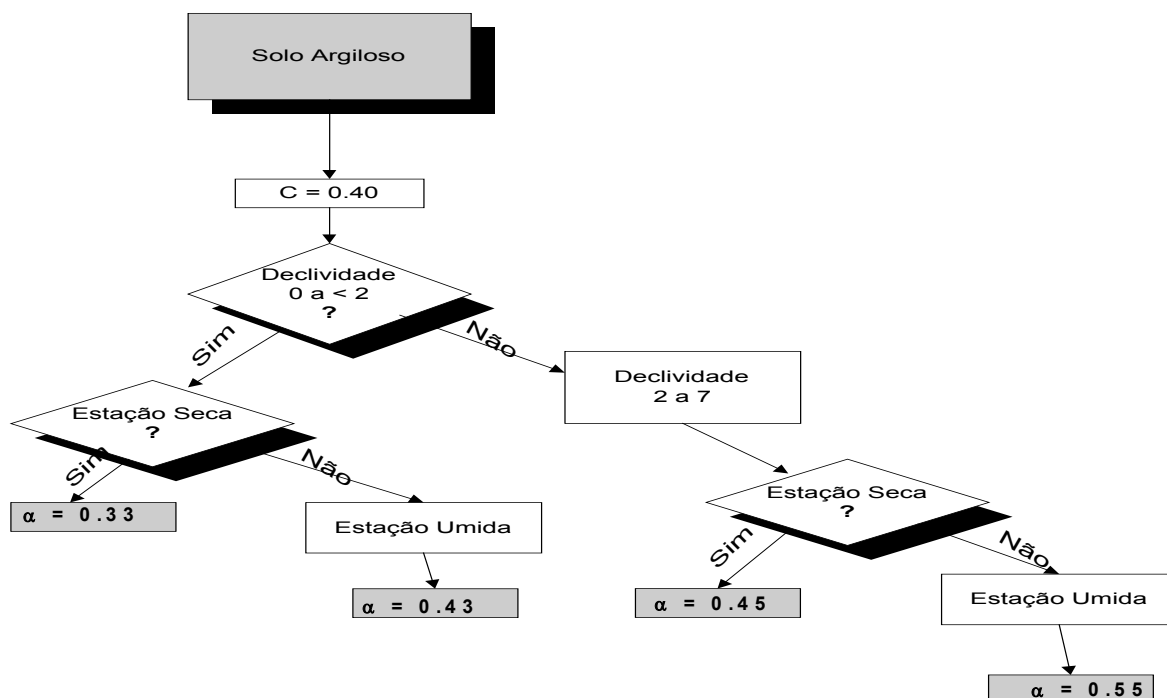


Figura 3.21 - Fluxograma de Escoamento Superficial

3.4.4 Dimensionamento dos Custos de Aterros Sanitários

A análise de custos preconizada por Jaramillo (1997) para aterros sanitários, discrimina duas classes principais de custos: os custos de **INVESTIMENTO** e os custos de **OPERAÇÃO**. Para estimativa dos custos de investimento (custo anual do capital), são previstos dois procedimentos de cálculo. O primeiro procedimento consiste em calcular o custo anual (depreciação), a partir dos custos totais de investimento, com base neste dado calcula-se o investimento médio anual que permitirá a recuperação do capital investido:

$$CaI = CT / v.u.$$

Equação (3.8)

Onde:

CaI = Custo anual de investimento (\$/ano)

CT = Custo total (\$)

v.u. = vida útil do aterro (anos)

$$IMA = C_{total} \frac{(n+1)}{2n} \times i \quad \text{Equação (3.9)}$$

Onde:

IMA = Investimento médio anual (R\$/ano), C_{total} = Custo total do item, n = Vida útil do item em anos, i = juros anual.

O segundo procedimento consiste na utilização das tabelas ou formulas de recuperação de capital:

$$FRC = \frac{i}{1 - \left(\frac{1}{(1+i)^{v.u.}} \right)} \quad \text{Equação (3.10)}$$

Onde:

FRC = Fator de recuperação do capital.

i = juros anual do empréstimo ou juros bancários municipais (%)

v.u. = vida útil do aterro (anos)

Para efeito de cálculo utiliza-se somente o método de Fator de Recuperação de Capital.

$$Cc = CT \times FRC \quad \text{Equação (3.11)}$$

Onde:

Cc = custo de capital (R\$/ano)

CT = Custo total (R\$)

FRC = Fator de recuperação de capital

$$C_{uniI} = Cc / R \quad \text{Equação (3.12)}$$

Onde:

C_{uniI} = Custo unitário de investimento (\$/ton)

Cc = Custo de capital (\$/ano)

R = Rendimento (ton/ano)

Os custos de operação por sua vez, correspondem ao somatório dos seguintes elementos de custo: mão-de-obra, equipamentos, despesas gerais, serviços de engenharia, custos imprevistos. Os custos anuais de mão-de-obra podem ser calculados segundo a expressão:

$$C_{mo} = 12N(Fb \times So) + 12P(Fb \times Ss) + 12Na(Fb \times Sa) \quad \text{Equação (3.13)}$$

Onde:

C_{mo} = Custo da mão-de-obra (\$/ano)

N = Número de operários

Fb = Fator de benefícios (1,4-2,0)

So = Salário do operário (\$/ano)

P = Proporção da jornada do supervisor (0,2-0,25)

Ss = Salário do supervisor (\$/ano)

Na = Número de trabalhadores administrativos

Sa = Salário dos trabalhadores administrativos (\$/ano)

$$CaO = C_{mo} + Ce + Cdg + Cse + Ci \quad \text{Equação (3.14)}$$

Onde:

CaO = Custo anual de operação (\$/ano)

C_{mo} = Custo mão-de-obra (\$/ano)

Ce = Custo de equipamentos (\$/ano)

Cdg = Custo de despesas gerais (\$/ano)

Cse = Custo de serviços de engenharia (\$/ano)

Ci = Custos imprevistos (\$/ano)

$$C_{uniO} = CaO / R \quad \text{Equação (3.15)}$$

Onde:

C_{uniO} = Custo unitário de operação (\$/ton)

CaO = Custo anual de operação(\$/ano)

R = Rendimento (ton/ano)

$$C_{uniAterro} = C_{uniI} + C_{uniO} \quad \text{Equação (3.16)}$$

Onde:

$C_{uniAterro}$ = Custo unitário do aterro (\$/ton)

C_{uniI} = Custo unitário de investimento(\$/ton)

C_{uniO} = Custo unitário de operação (\$/ton)

$$Ca_{Aterro} = CaI + CaO \quad \text{Equação (3.17)}$$

Onde:

Ca_{Aterro} = Custo anual do aterro (\$/ano)

CaI = Custo anual de investimento (\$/ano)

CaO = Custo anual de operação (\$/ano)

Fluxograma Estimativa de Custos

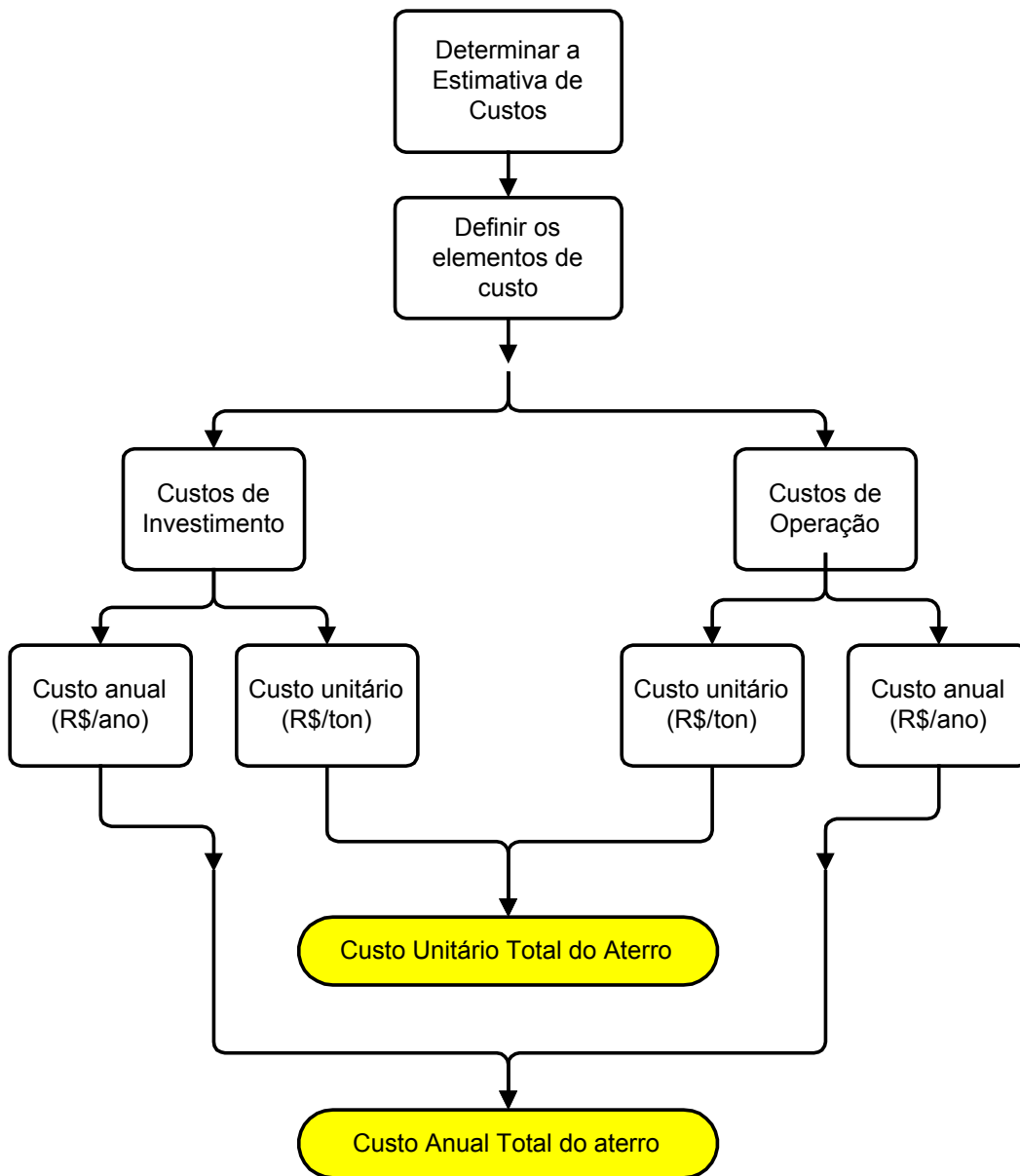


Figura 3.22 - Fluxograma de desenvolvimento do cálculo de custos de aterros sanitários

Os fluxogramas relativos a cada elemento componente da estimativa de custos que foram desenvolvidos encontram-se a seguir, conforme Figuras 3.23 a 3.39.

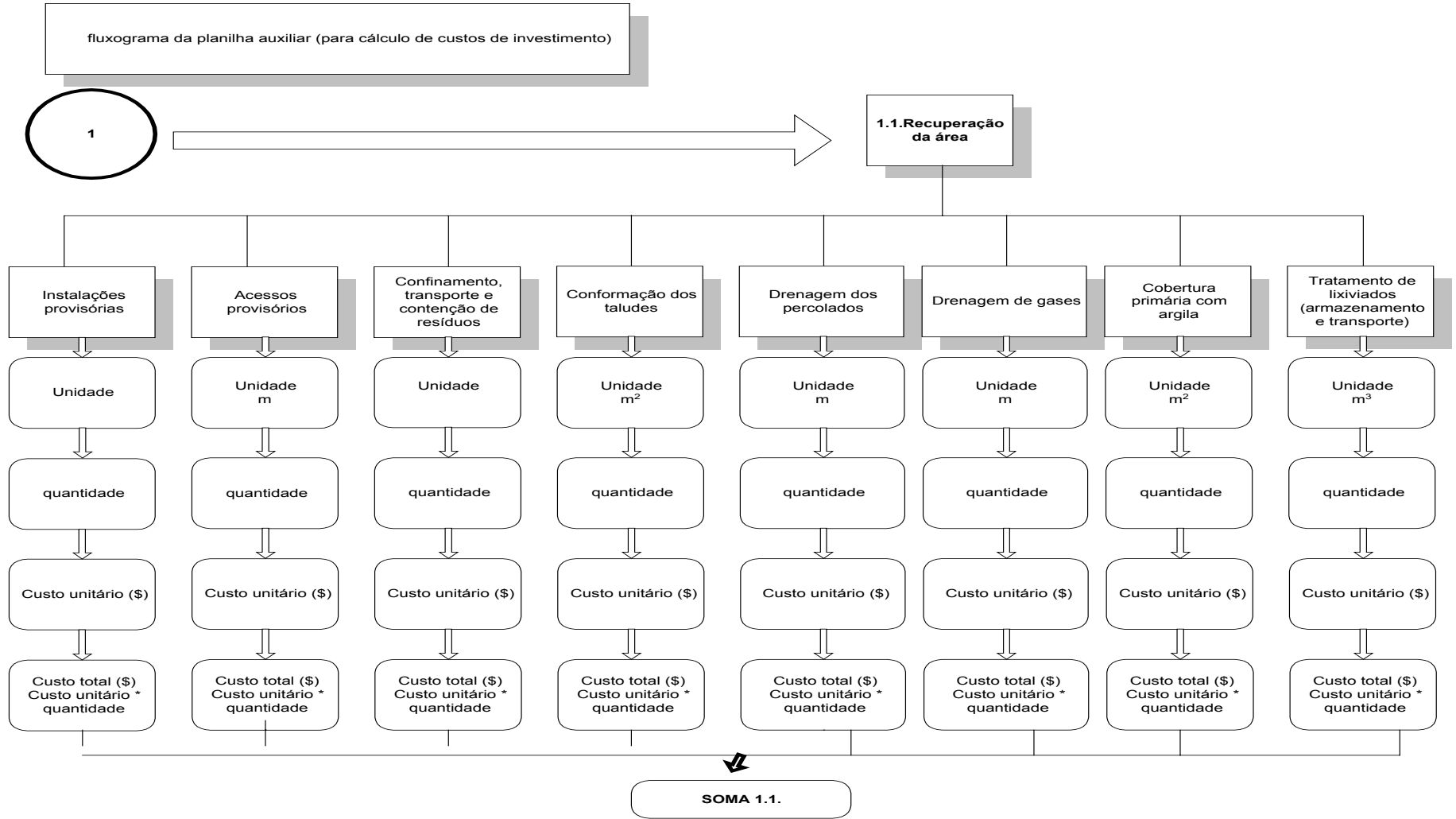


Figura 3.23 - Determinação dos elementos de custo investimento – Recuperação de área.

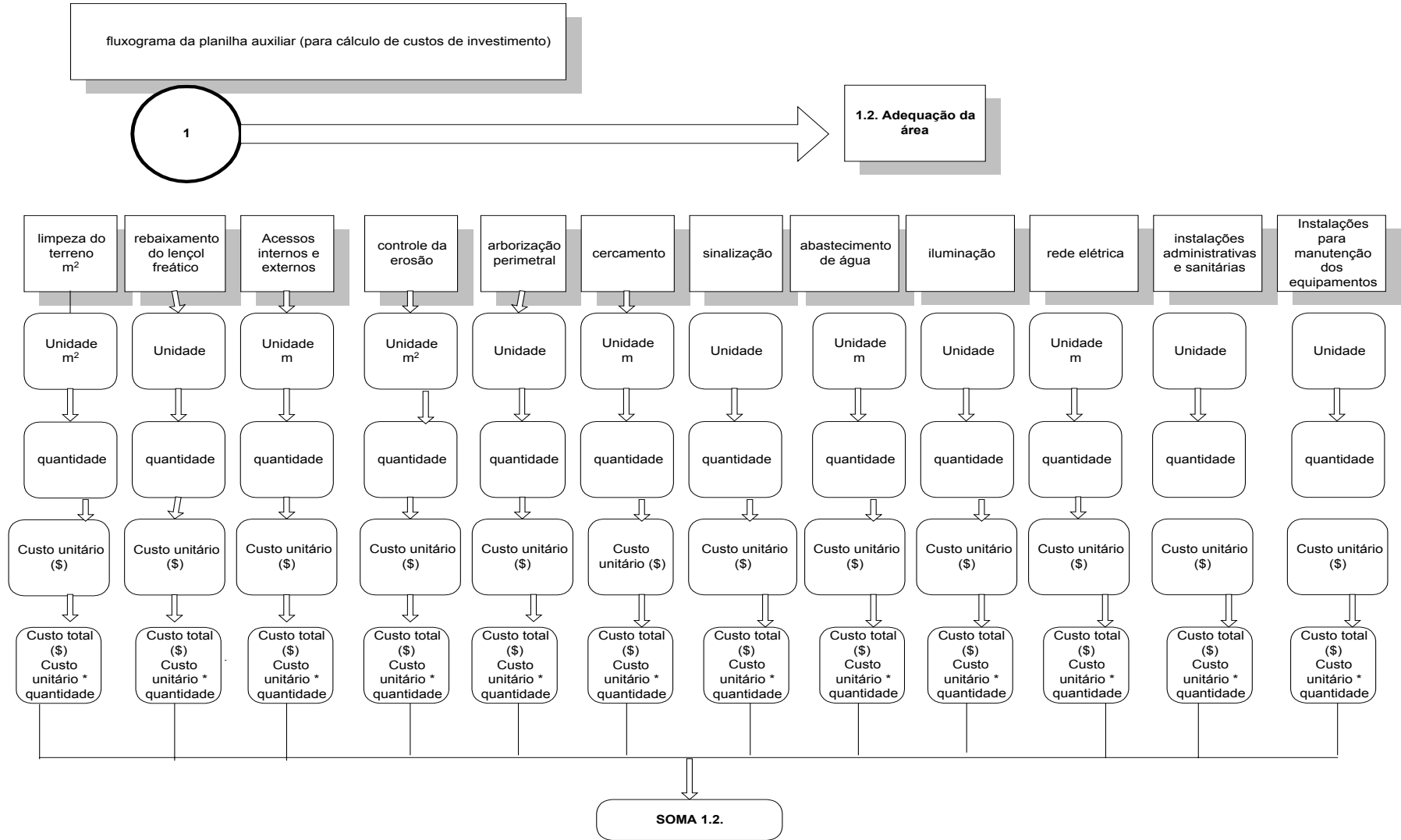


Figura 3.24 - Determinação dos elementos de custo investimento – Adequação da área.

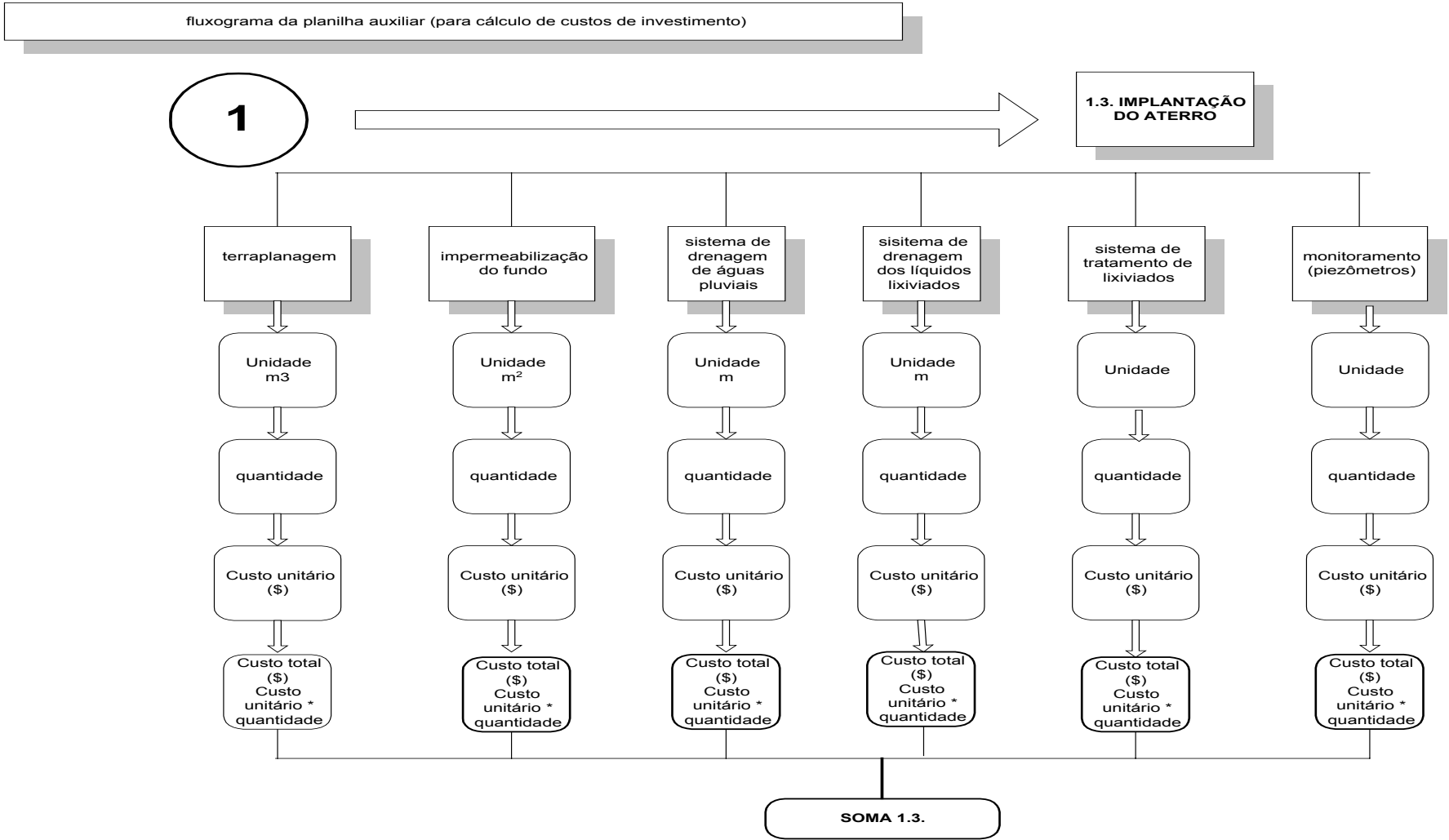


Figura 3.25 - Determinação dos elementos de custo investimento – Implantação do aterro.

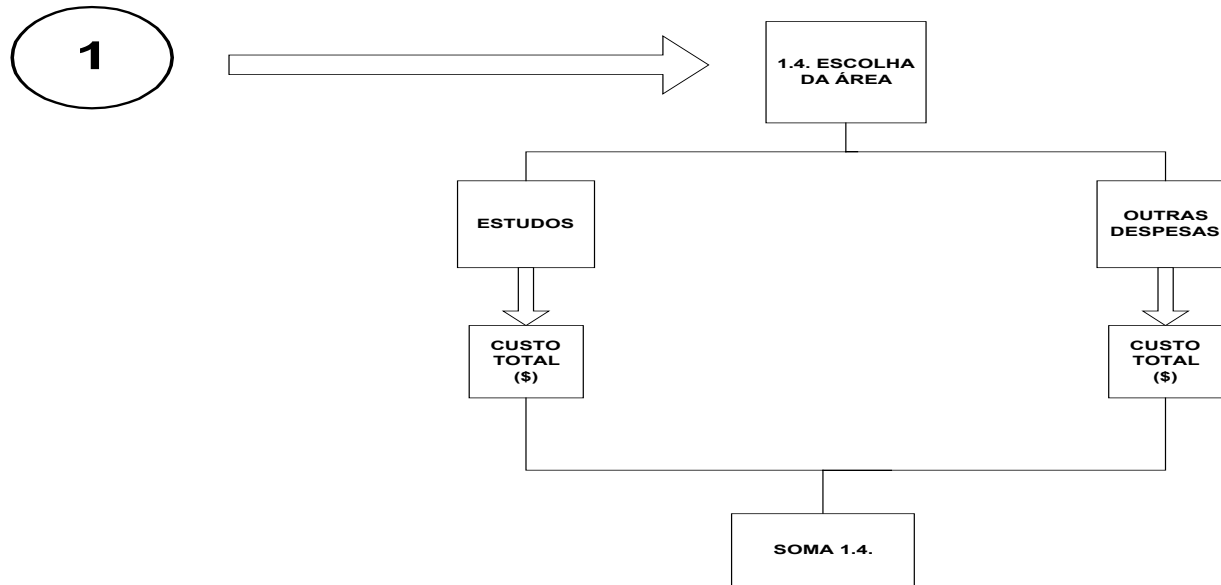


Figura 3.26 - Determinação dos elementos de custo investimento – Escolha da área.

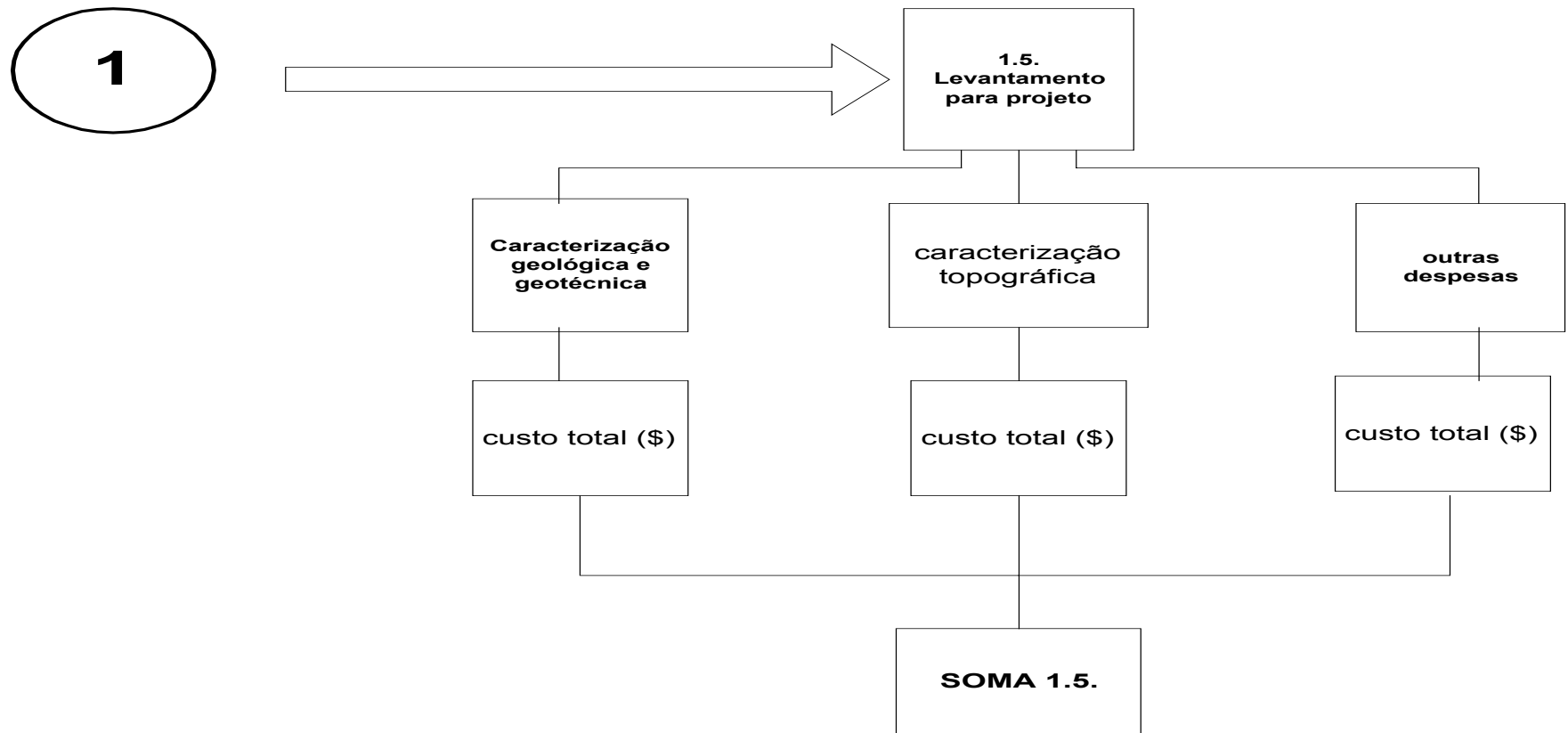


Figura 3.27 - Determinação dos elementos de custo investimento – Levantamento para projeto.

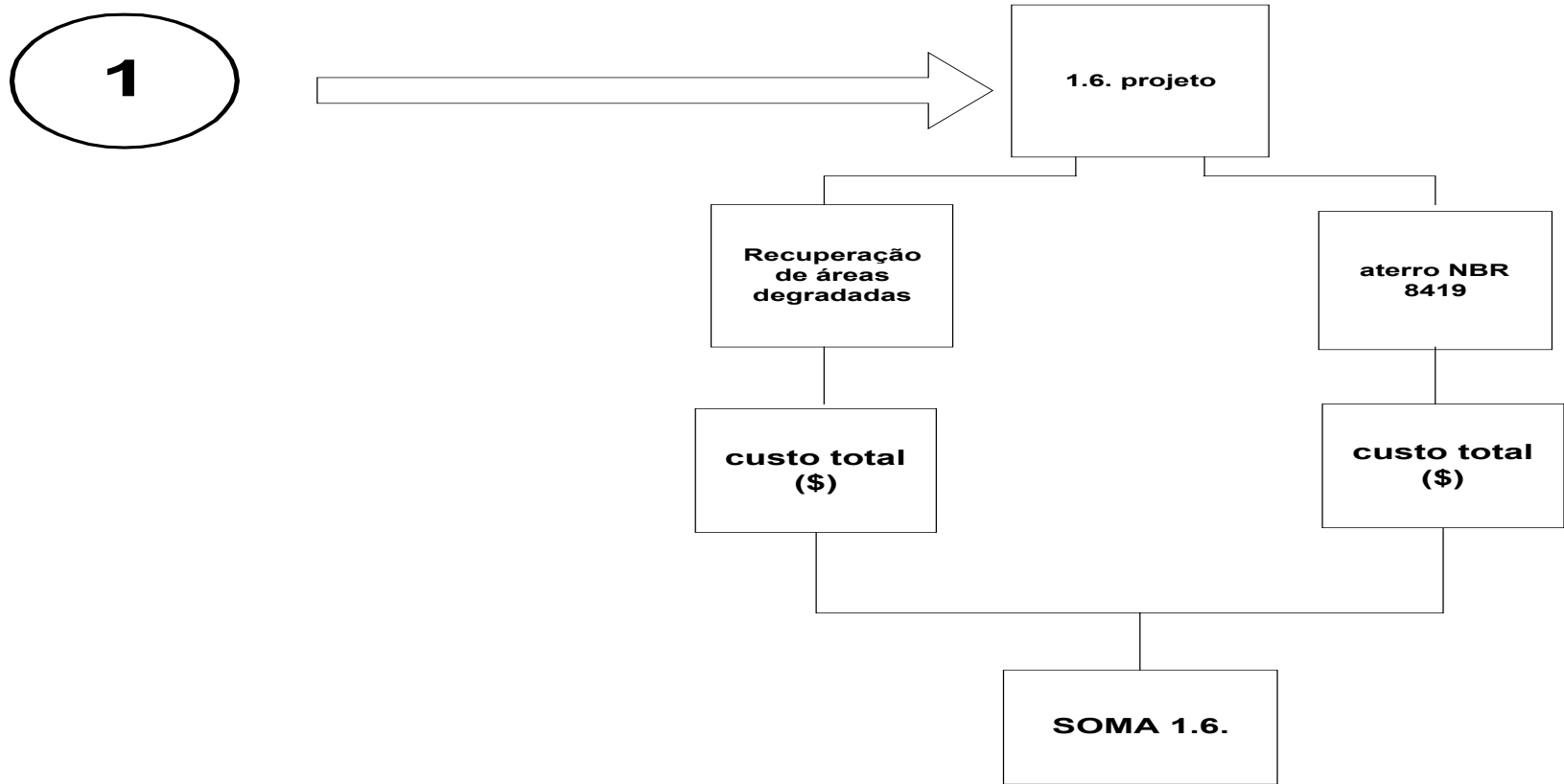


Figura 3.28 - Determinação dos elementos de custo investimento – Projeto.

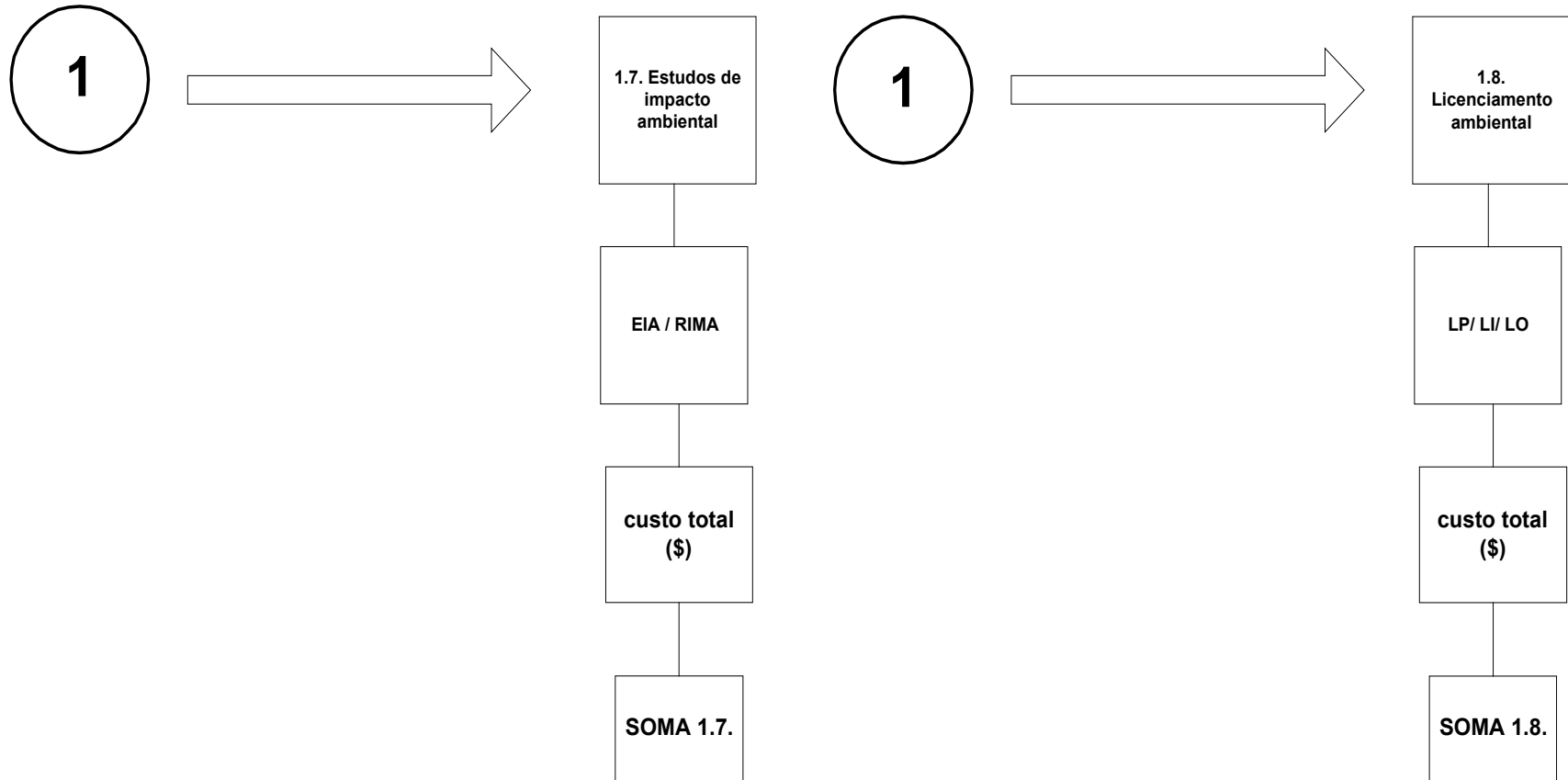


Figura 3.29 - Determinação dos elementos de custo investimento – Estudos de impacto ambiental e Licenciamento ambiental.

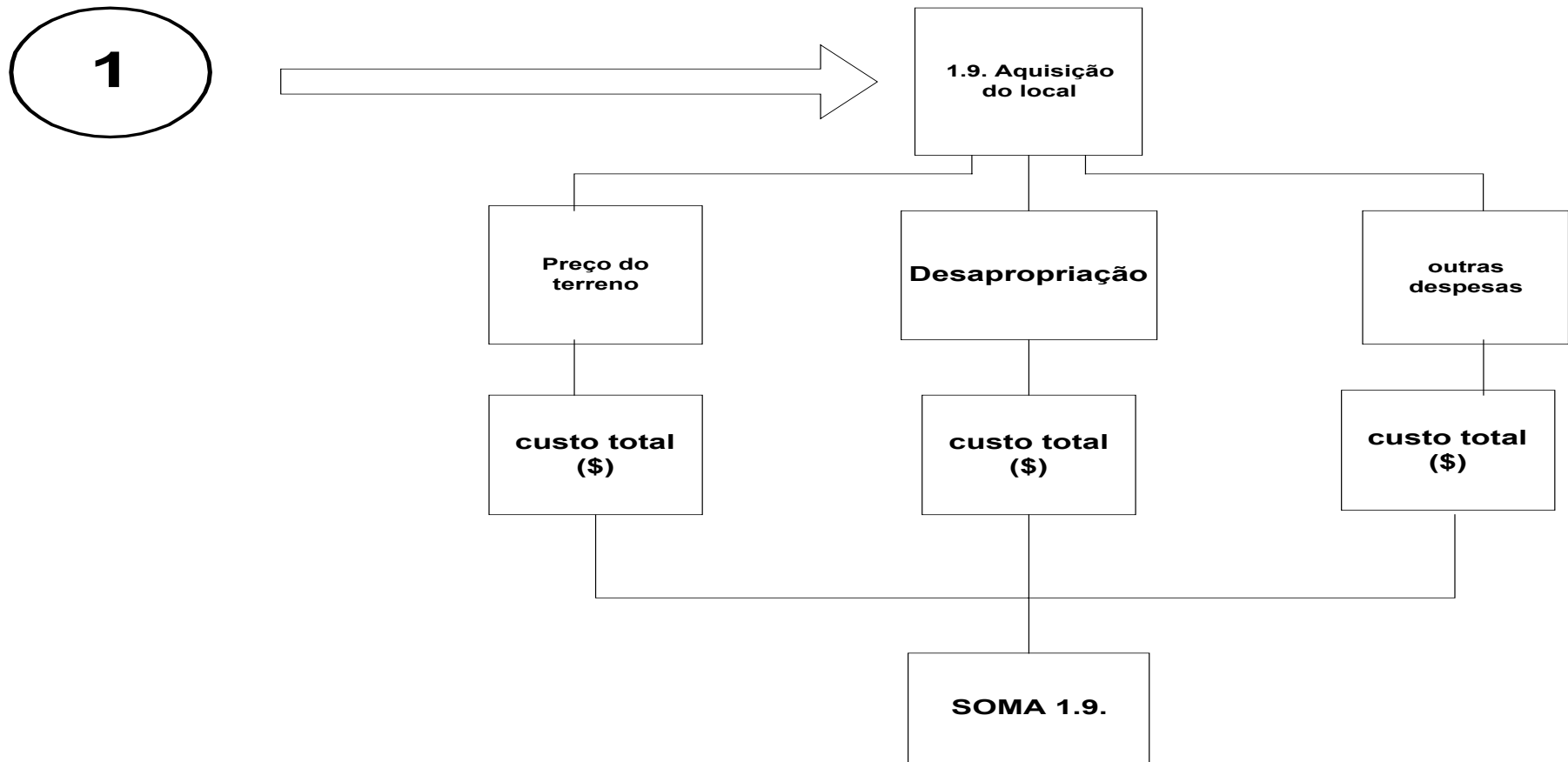


Figura 3.30 - Determinação dos elementos de custo investimento – Aquisição do local.

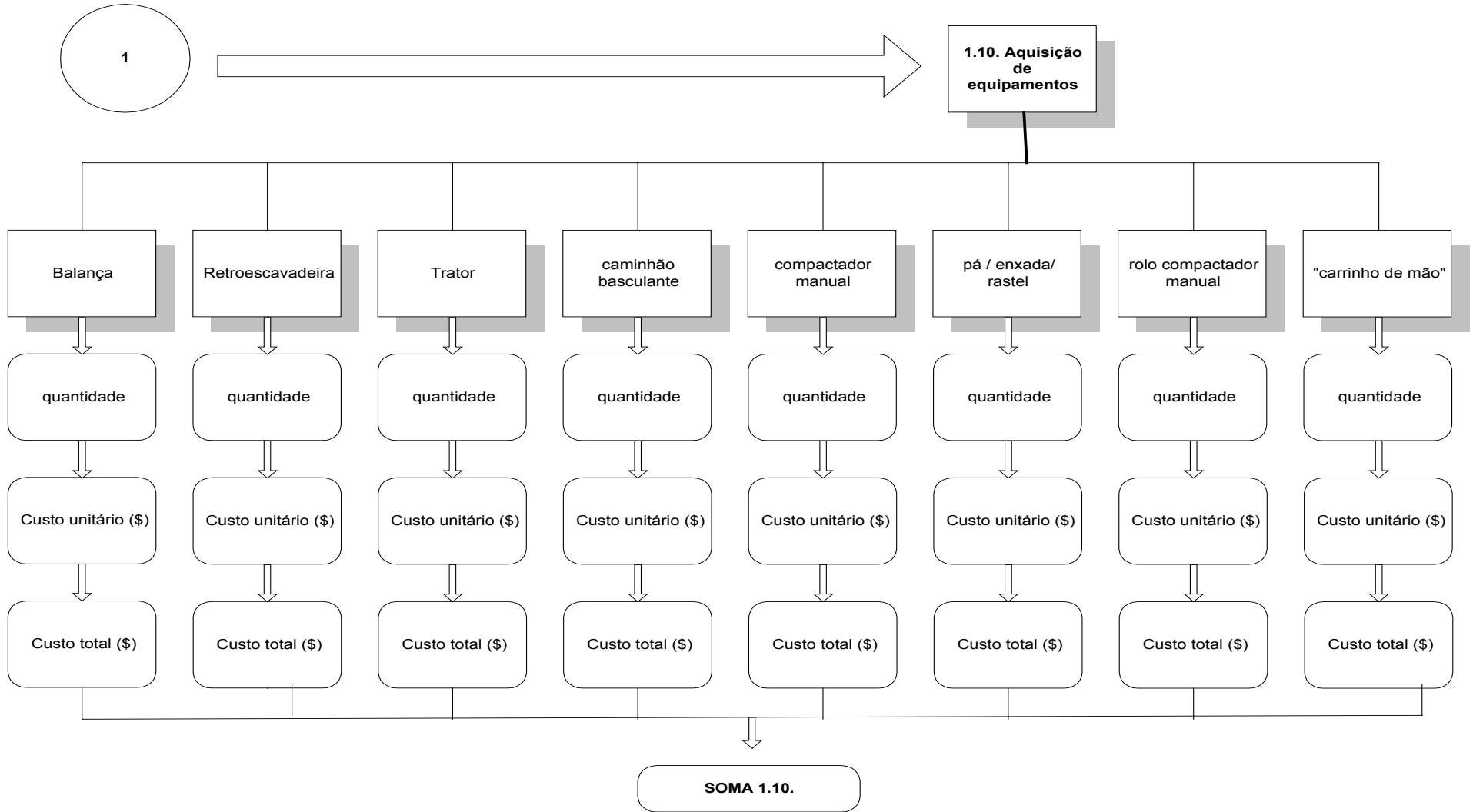


Figura 3.31 - Determinação dos elementos de custo investimento – Aquisição de equipamentos.

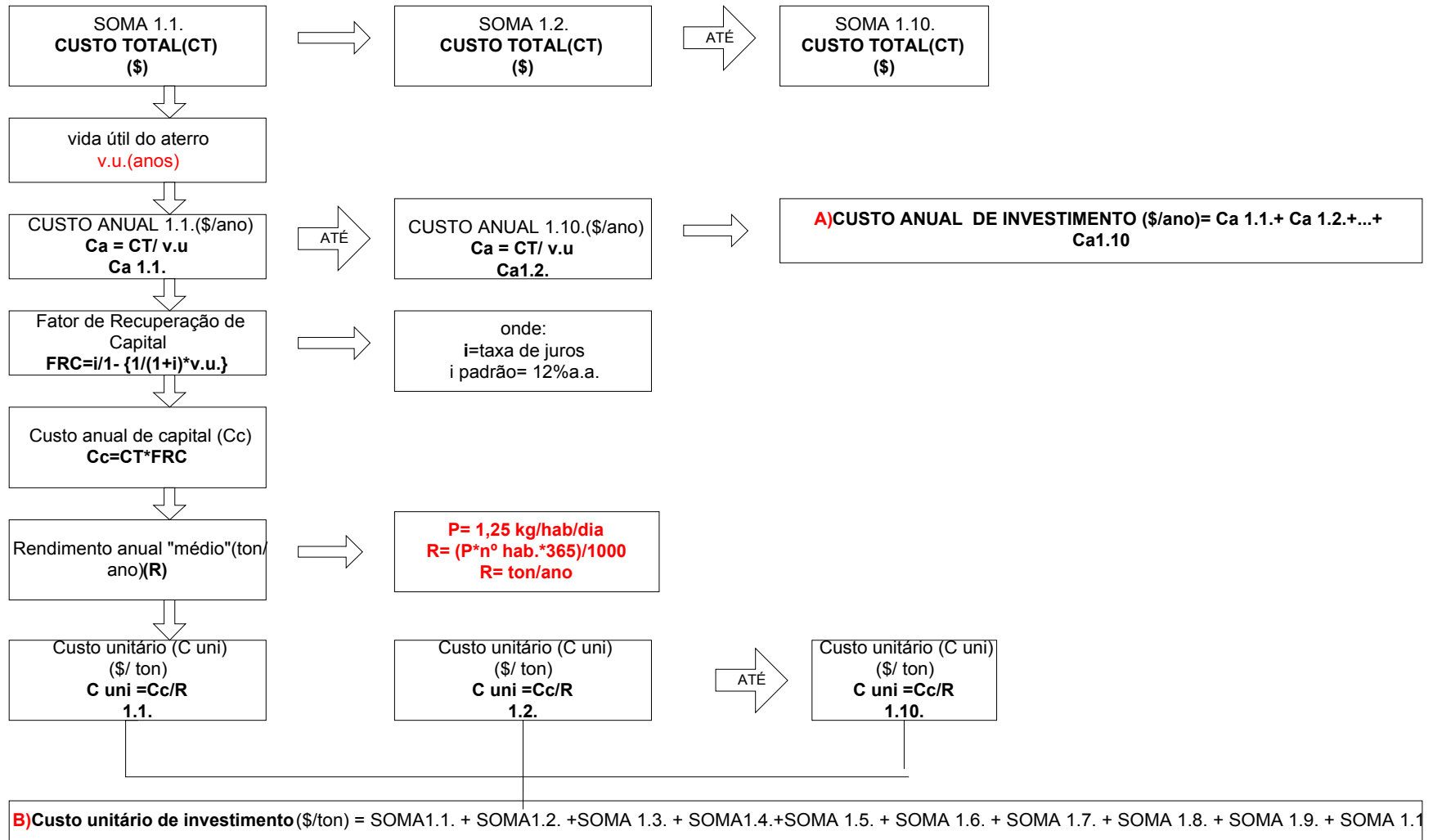


Figura 3.32 - Definição do método de cálculo da estimativa dos custos de investimento.

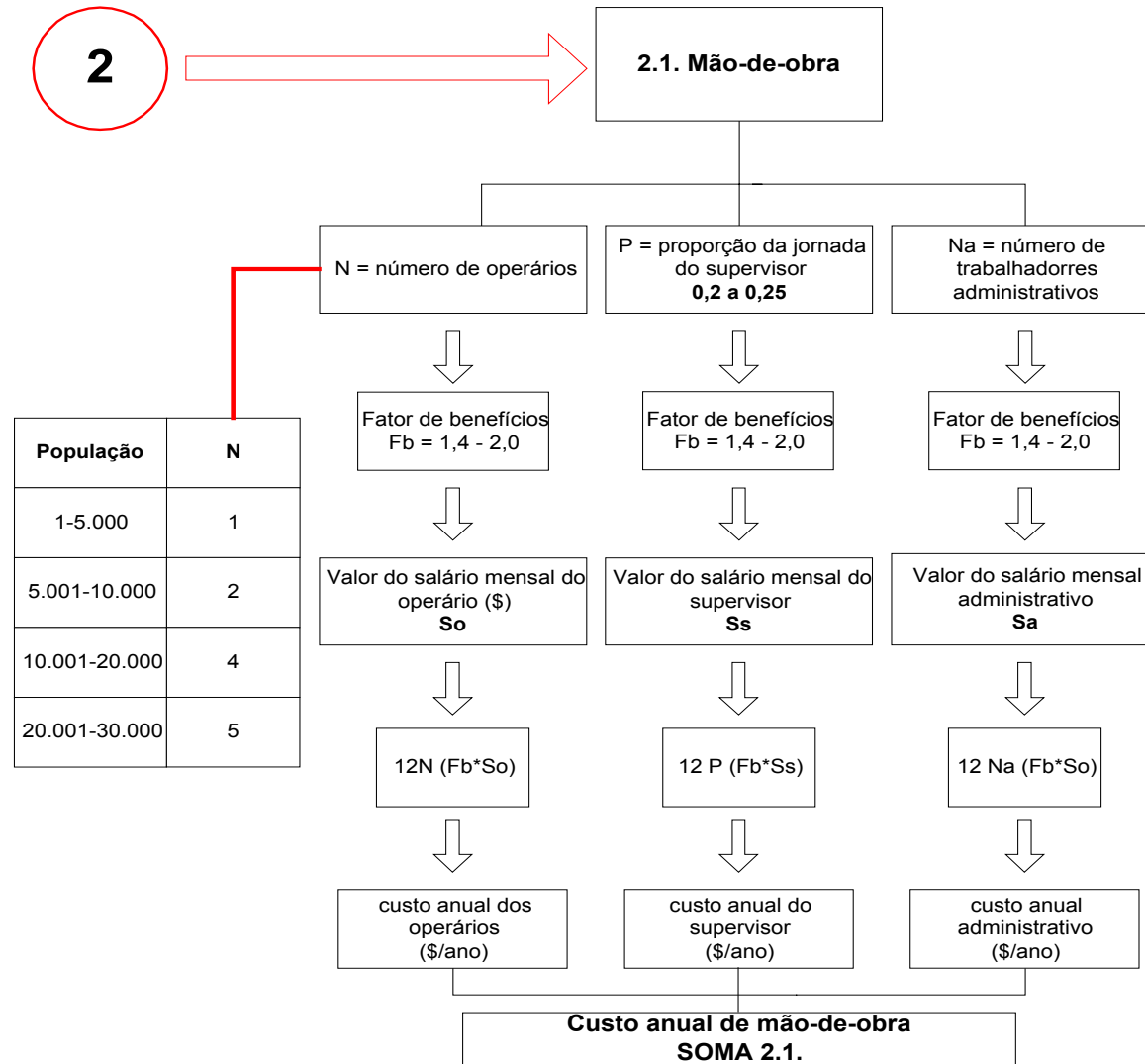


Figura 3.33 - Definição do método de cálculo da estimativa dos custos de operação - Mão-de-obra.

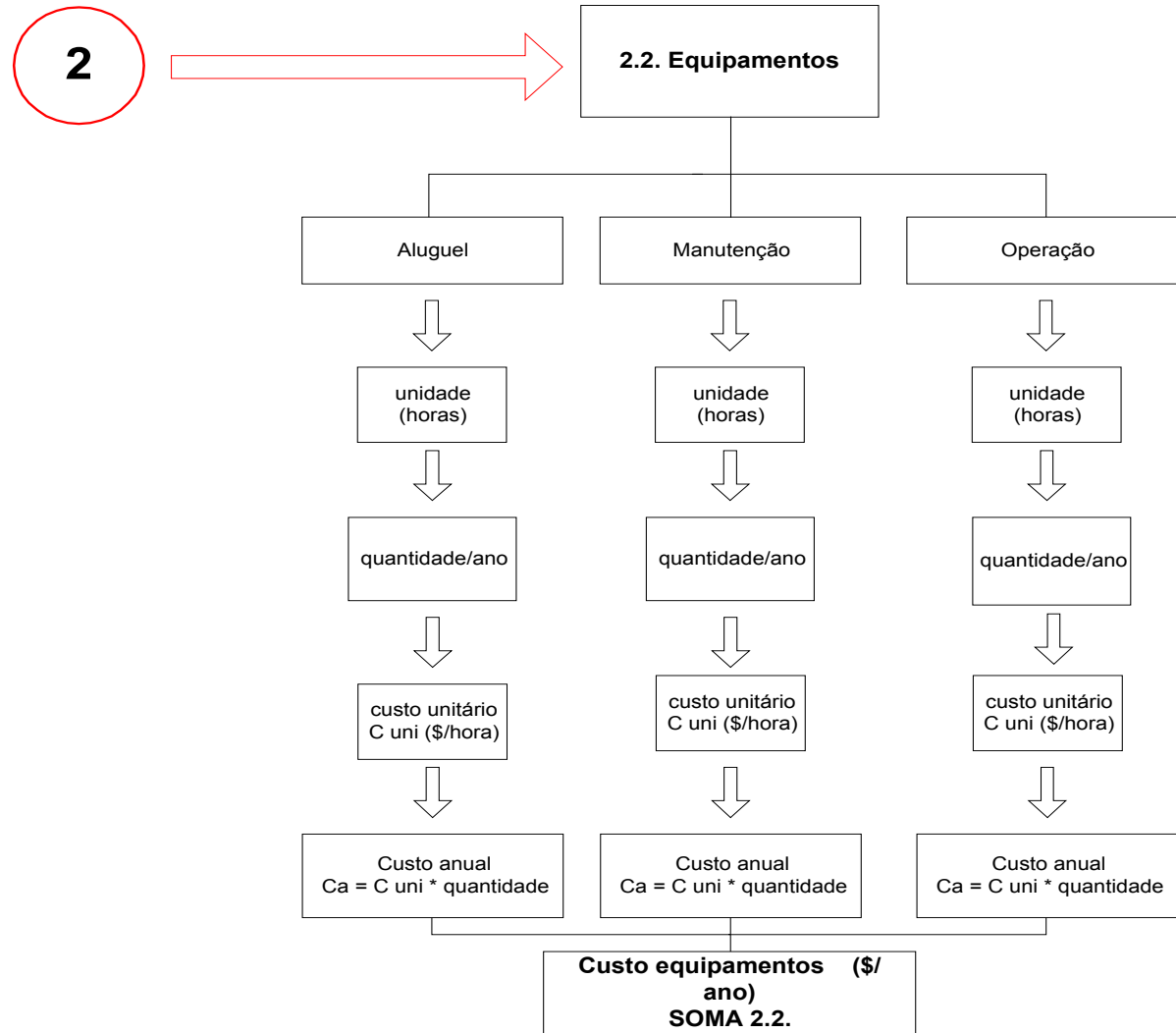


Figura 3.34 - Definição do método de cálculo da estimativa dos custos de operação – Equipamentos.

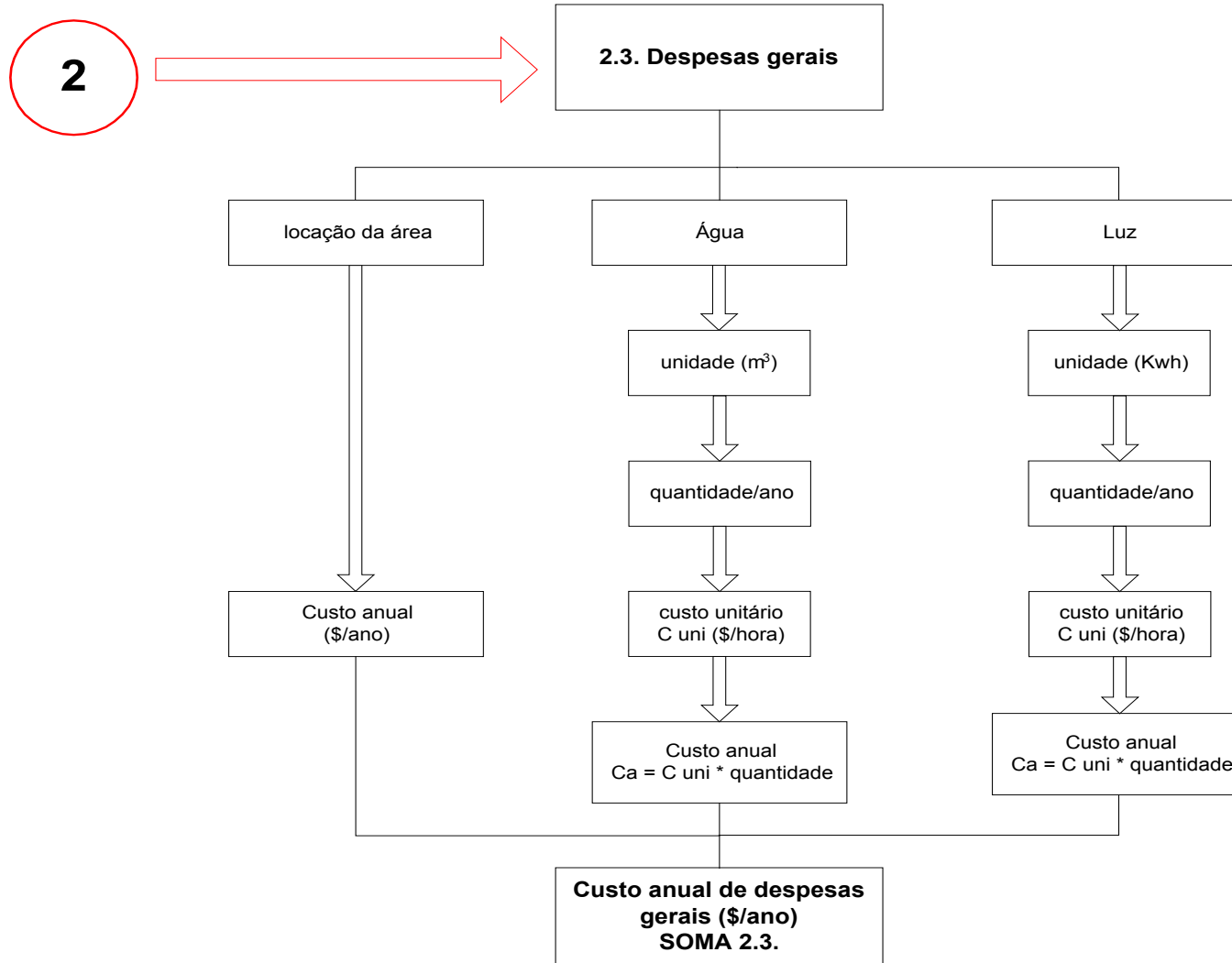


Figura 3.35 - Definição do método de cálculo da estimativa dos custos de operação - Despesas gerais.

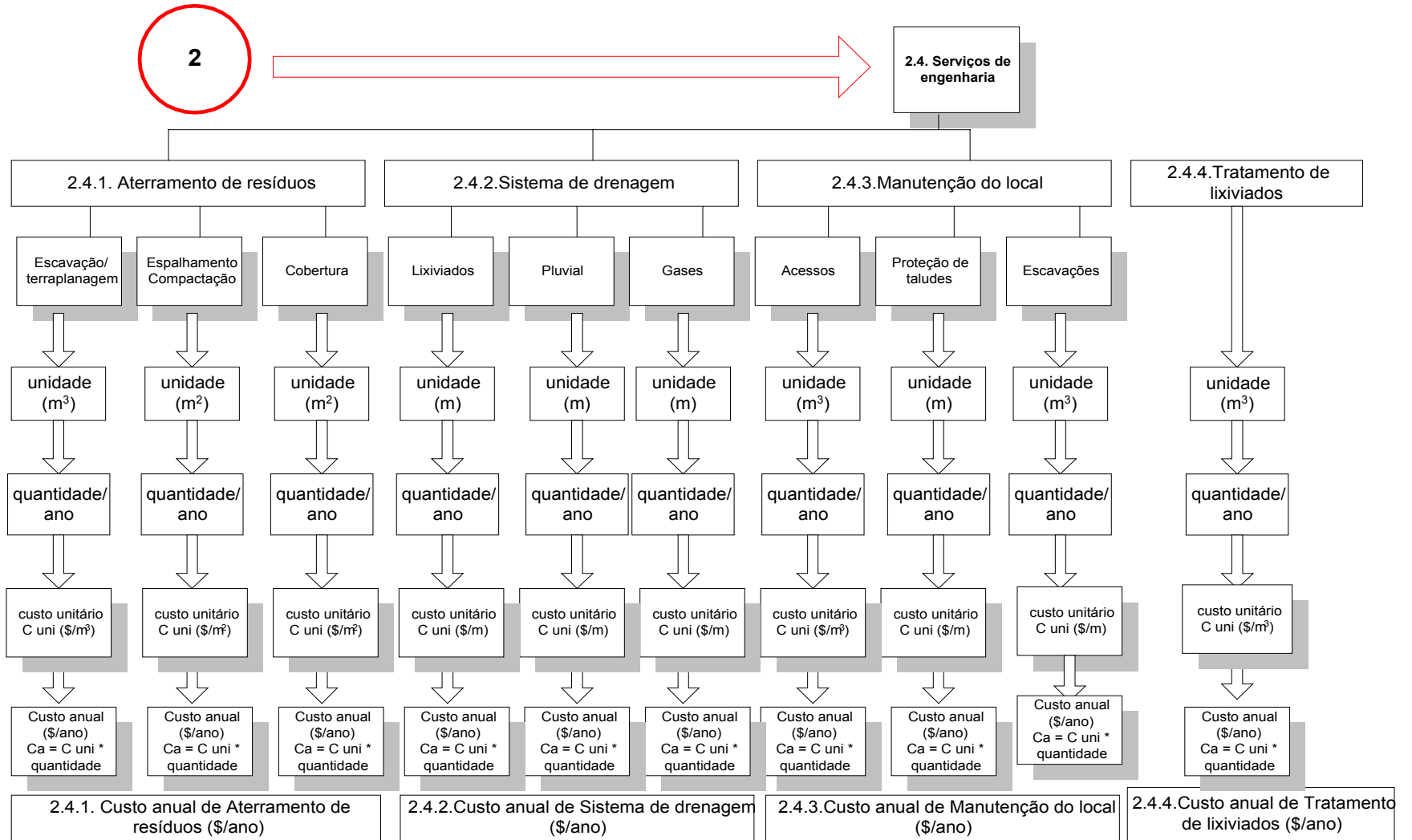


Figura 3.36 - Definição do método de cálculo da estimativa dos custos de operação - Serviços de Engenharia.

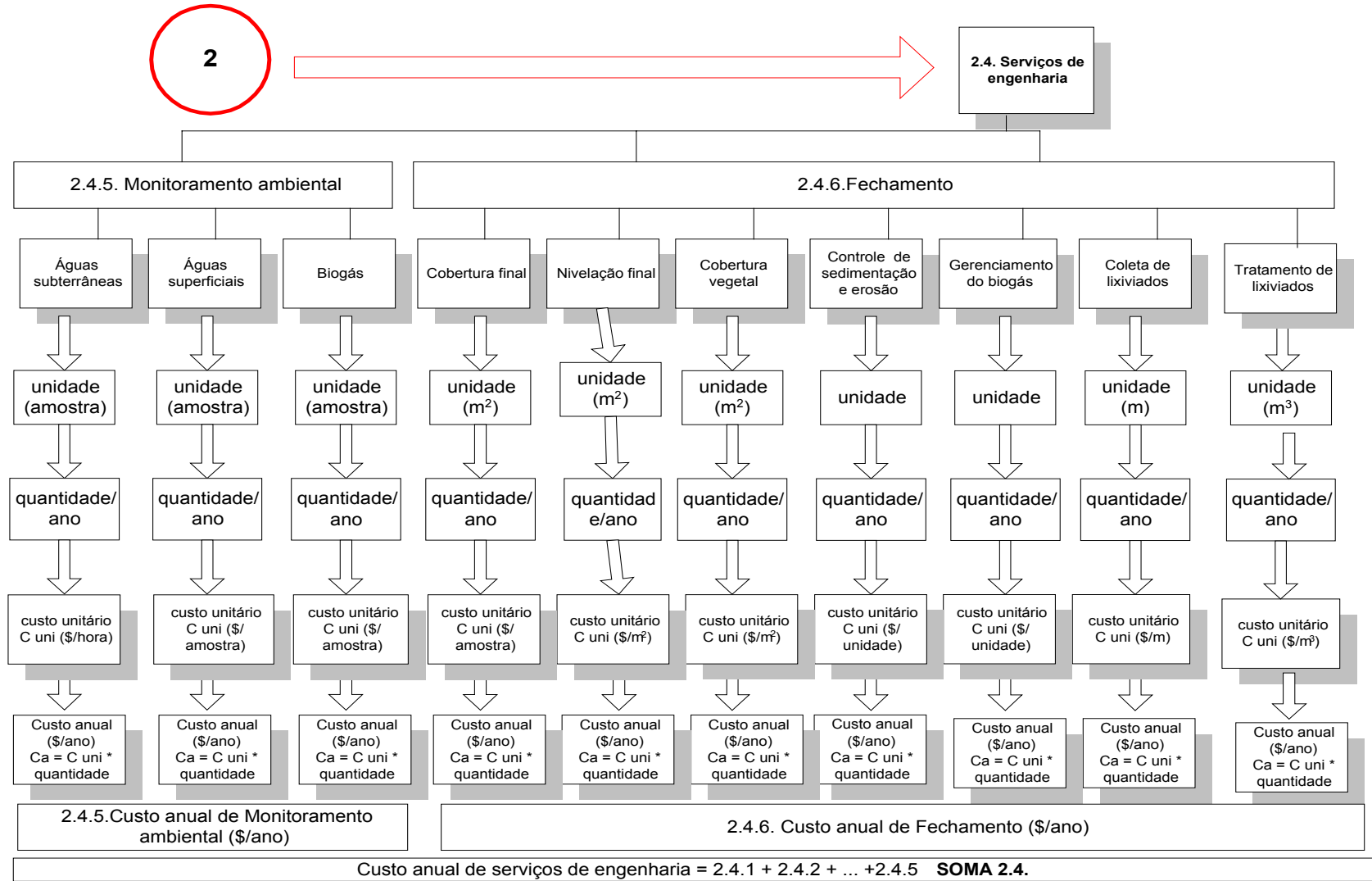


Figura 3.37 - Definição do método de cálculo da estimativa dos custos de operação - Serviços de Engenharia.

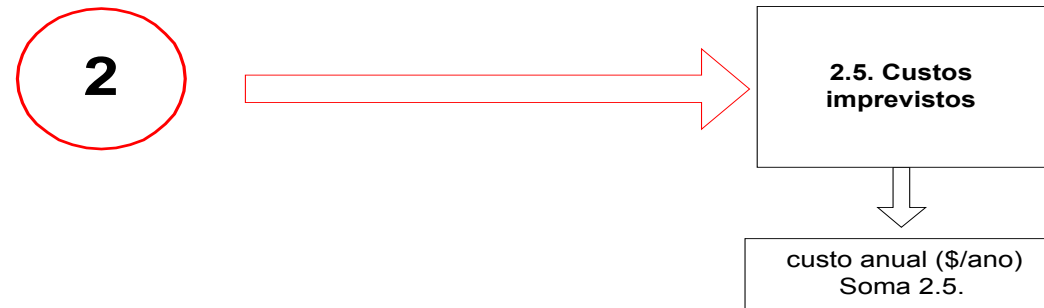


Figura 3.38 - Definição do método de cálculo da estimativa dos custos de operação - Custos Imprevistos.

$$\mathbf{A')CUSTO ANUAL DE OPERAÇÃO}(\$/\text{ano}) = 2.1.+ 2.2.+ 2.3 + 2.4.+ 2.5.$$

(Cao)

$$\mathbf{B')CUSTO UNITÁRIO DE OPERAÇÃO} (\$/\text{ton}) = \text{Cao}/R$$

Onde:
R= rendimento médio do aterro (ton/ano)

$$\text{CUSTO UNITÁRIO TOTAL } (\$/\text{ton})= \mathbf{B')CUSTO UNITÁRIO DE OPERAÇÃO} + \mathbf{B)CUSTO UNITÁRIO DE INVESTIMENTO}$$

$$\text{CUSTO ANUAL TOTAL } (\$/\text{ano})= \mathbf{A')CUSTO ANUAL DE OPERAÇÃO} + \mathbf{A)CUSTO ANUAL DE INVESTIMENTO}$$

Figura 3.39 - Definição do método de cálculo da estimativa dos custos totais -Unitário e Anual.

3.5. PROGRAMAÇÃO: Linguagem, Programas e Integração c/ Modelo Fase 1

O desenvolvimento do sistema informatizado baseou-se 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 e principalmente pela versão anterior de “SADES” (sistema de apoio à decisão em escolha de áreas para aterros) ter sido desenvolvida também nesta plataforma. O desenvolvimento em Visual Basic permite ampla integração com banco de dados (MS –Access, SQL Server, entre outros), servidores internet (ISS) e com sistema operacional Windows amplamente divulgado atualmente. O fator mais positivo desta ferramenta a ser destacado é a sua característica de desenvolvimento componetizado (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 operações e usuários proposto pelo sistema. Outra característica positiva desta ferramenta é o suporte a SQL e multi-usuários. A integração deste módulo de dimensionamento com o módulo anterior de escolha de áreas para aterros, foi feita pelo especialista através de análise de dados necessários ao dimensionamento e detecção de quais destes dados já constavam na base de dados (MS–Access), para evitar conflitos de valores e redundância de informações solicitadas ao usuário. As seguintes ferramentas foram utilizadas no projeto:

a) Linguagem de Desenvolvimento VISUAL BASIC Vrs. 6.0 do pacote Microsoft

VISUAL STUDIO ENTERPRISE. Principal Linguagem de Desenvolvimento de recurso 100% gráfico e Orientada a Objeto em até 3 camadas (Encapsulamento, Ocultação de Informações e implementações e Classes)

b) Controles Activex (Objeto OCX)

SiliCaixa Vrs. 1.0.0 – Autor: Beto Ribeiro

VideoSoft VSDOCX Vrs. 1.0.020

c) Linguagem e Banco de Dados Microsoft Access 2000

Este aplicativo e SGBD (Sistema Gerenciador de Banco de Dados) fazem parte da ferramenta Office da Microsoft Corporation, porém, toda instalação do Sistema SADES colocara no equipamento do cliente uma cópia do Banco de Dados Access, independente do mesmo possuir ou não a ferramenta Office da Microsoft. (vide ULA Visual Studio Enterprise).

d) Install Shield Express 3.03 da Install Shield Software Corporation

Para gerar o pacote de distribuição (instalação do SADES), foi utilizada esta ferramenta, que instala em qualquer versão de sistema operacional (Windows 9x/Me/2000 e XP), bem como realiza a desinstalação do SADES, quando houver necessidade, de forma limpa sem resíduos dos “registradores”.

e) Adobe ImageStyler 1.0 do ADOBE e MS Paint Brush

Ferramentas utilizadas para desenho de capa, logomarcas, “Forms” de tela e dos Ícones de acesso aos programas.

f) Visio Versão 3.0 da Shapeware Corporation

Esta ferramenta foi escolhida pelo próprio usuário, para poder melhor, mostrar as suas necessidades no módulo de CUSTOS. Diagrama de Fluxogramação com Lógicas e Processos.

Finalmente, o sistema SADES foi desenvolvido 70 % com a aplicação do conceito de L.P.O.O. (Linguagem de Programação Orientada o Objeto) e 30 % em Estrutura Modular. Isto, para facilitar futuras imigrações para modelos WEB ou migração para outras linguagens 100 % Orientadas a Objeto, como Java, C#, etc. A parte de mensagens de erro foi realizada 100% em DLL (orientada a objeto), podendo ser acrescida de novas mensagens, a partir da necessidade do crescimento do projeto para o futuro.

O Acesso ao Banco de Dados (Access 2000) é feito utilizando-se o componente “Controle de Acesso aos Dados” MSDAC versão 2.7 (última versão) e Objeto de Dados Activex (ADO) através do drive OLE DB da Microsoft, sendo considerada a melhor interface de acesso, além de, mais rápido e mais seguro. Todos os campos de dados possuem seu Dicionário, das quias estão contidas no próprio banco de dados Access 2000, através de explicações claras e detalhadas, bem como o seu tipo e tamanho.

O aplicativo escolhido para encapsulamento e distribuição do pacote de instalação foi o Install Shield Express 3.01, possibilitando a escolha de qualquer sistema operacional da Microsoft padrão Windows. Entre eles: Windows 95, Windows 98, Windows ME, Windows NT 4.0, Windows 2000 e Windows XP.

4. RESULTADOS

4.1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO MODELO

4.1.1. Dimensionamento

Os resultados referentes ao módulo de dimensionamento de aterros em trincheiras para municípios de pequeno porte são apresentados após a realização das etapas metodológicas anteriormente propostas. A Figura 4.1 refere-se à tela inicial de abertura do programa computacional denominado *SADES*.

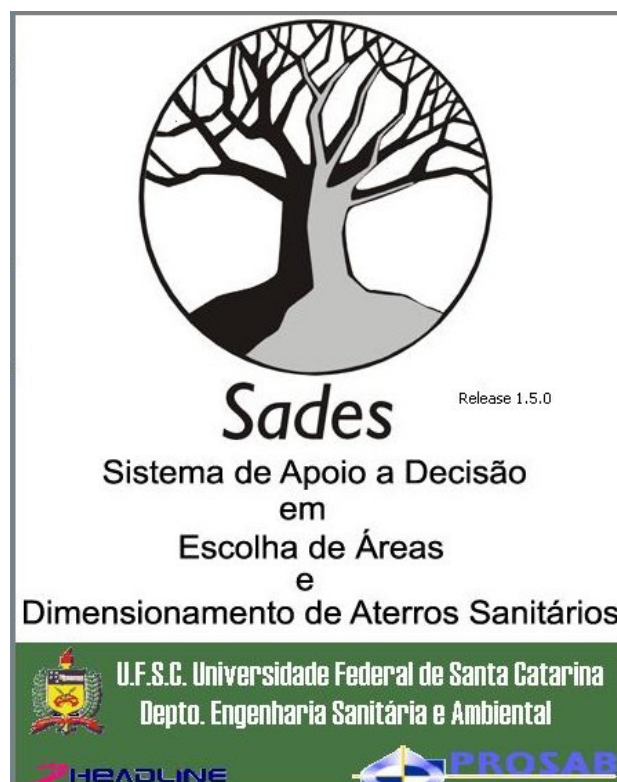


Figura 4.1–Tela inicial de abertura do programa SADES

Logo após a tela inicial de abertura do programa *SADES*, a tela com o menu principal das funções do programa é automaticamente aberta, onde o usuário irá escolher a opção desejada (cadastramento de novas áreas para utilização do sistema de apoio à

decisão em escolha de áreas, dimensionamento das principais estruturas de aterros sanitários e, cálculo dos custos de aterros sanitários). A Figura 4.2 apresentada a seguir mostra a tela das funções principais do menu do programa *SADES*.

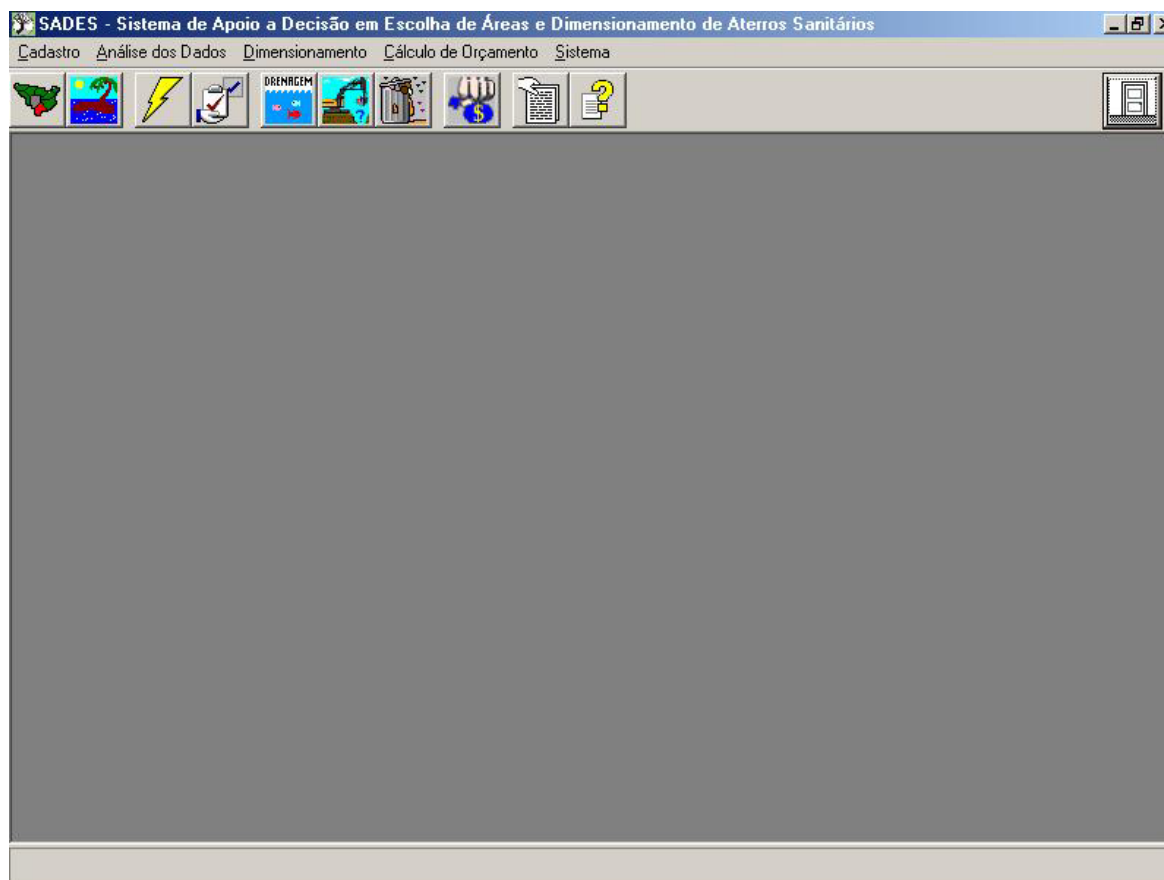


Figura 4.2 – Tela do Menu Principal do programa *SADES*

As Figuras 4.3, 4.4 e 4.5 referem-se ao Módulo de dimensionamento das principais estruturas de aterros sanitários em trincheiras para municípios de pequeno porte. As Figuras representam as telas do programa *SADES*, onde o usuário cadastra as informações referentes às áreas disponíveis do município para implantação do aterro e depois de escolhida a área através de análise multi-critério, o programa auxilia no dimensionamento das principais estruturas do aterro. Na Figura 4.3 e 4.4 apresenta-se, respectivamente, a tela do dimensionamento das trincheiras do aterro e a tela dos drenos de águas pluviais.

DIMENSIONAMENTO DE TRINCHEIRAS

Prontuário: Município: **Morro do Sol** - 1 Data Cadastro:

Bairro ou Setor do Município:

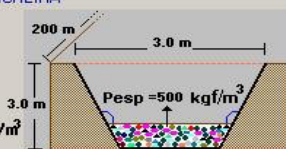
DIMENSIONAMENTO DA TRINCHEIRA

Largura Máxima 3 m

Profundidade 3 m

Comprim. Disponível: 200 m

Peso Específico dos Resíduos 500 kgf/m³



PRODUÇÃO DIÁRIA DE RESÍDUOS

Ano Início da Operação do Aterro? 2004

População Atual 7000

Taxa de Crescimento Populacional: 1,25 %

População Atendida 7088 hab.

Taxa Atendim. Serviço de Coleta ... 92 %

Taxa de Crescimento do Serviço 0 %

Produção per Capita de Resíduos ... 0,9 kg/hab x dia

Taxa de Crescimento da PPC 0 %

Produção Diária 5868,86 kg

VOLUME DE TERRA PARA COBERTURA DOS RESÍDUOS

Volume de Resíduos a ser Aterrado 11,73 m³

Volume de Terra p/ Cobertura dos Resíduos .. 3,32 m³

Volume de Escavação 15,05 m³

Comprimento Diário Preenchido da Trincheira: 1,30 m
(Representa o comprimento preenchido (aterrado) por resíduos a cada dia / jornada de trabalho.)

VIDA ÚTIL PREVISTA DA TRINCHEIRA

Nº de Dias para Previsão da Trincheira 30

Previsão de Comprimento para Trincheira 39 m

Vida Útil em Número de Dias 154 dias

Figura 4.3 – Tela do módulo de dimensionamento das trincheiras

DRENAGEM DAS ÁGUAS PLUVIAIS

Prontuário: Município: **Morro do Sol** - 1 Radianos Data Cadastro:

Bairro ou Setor do Município:

COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Tipo de Solo: 2 - ARGILOSO

DECLIVIDADE DO TERRENO

<= 7 % > 7 %

Tipo de Cobertura do Terreno: 4 - SOLOS SEM COBERTURA VEGETAL

VALOR DO COEFICIENTE = 0,6

ÁREA DA BACIA CONTRIBUINTE

Informe a Área 0,15 km²

VAZÃO DE PICO (FINAL)

3,0024 (m³/s)

INTENSIDADE DE CHUVA CRÍTICA

Conhece o valor da intensidade de chuva crítica ?

SIM 120 mm/h NÃO

Intensidade de Chuva Crítica= 120 mm/h

SEÇÕES DOS CANAIS

Talude do Canal em Função da Natureza das Paredes

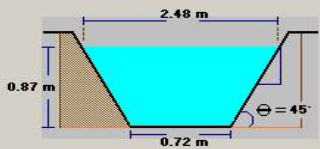
2) Corte em Terreno Argiloso Firme = 45°00' 45°00'

Valores do Coeficiente de Rugosidade (n), em Função da Natureza das Paredes

2) Terra = 0,025 Valor de "n" 0,025

DECLIVIDADE DO CANAL DE DRENAGEM

0,015 m / m



Calcula

Retorno

Figura 4.4 – Tela do módulo de dimensionamento dos drenos das águas pluviais

No dimensionamento dos drenos de líquidos percolados, onde o usuário ainda pode optar pelo método de cálculo da estimativa de vazão a ser drenada, seja pelo “Método Suíço”, conforme pode ser visto na figura 4.5 ou ainda pelo “Método do Balanço Hídrico”, conforme figuras abaixo. Procurou-se desenvolver o programa de modo à sempre simplificar a interação do usuário, sem comprometer a qualidade dos resultados dos cálculos.

DRENAGEM DE LÍQUIDOS PERCOLADOS

Prontuário: Município: **Morro do Sol** - 1 Data Cadastro:

Bairro ou Setor do Município: Escolha o Método: SUÍÇO BALANÇO HÍDRICO

Método Suíço

VAZÃO MÉDIA ANUAL DE LÍQUIDOS PERCOLADOS: 1600 mm/ano Área do Aterro: 600 m² DECLIVIDADE DO CANAL DE DRENAGEM: 0,015 m/m

TIPO DE ATERRO	PESO ESPECÍFICO DOS RESÍDUOS	K
Aterro Fracamente Compactado	400 a 700 kgf/m ³	0,25 a 0,50
Aterro Fortemente Compactado	Acima de 700 kgf/m ³	0,15 a 0,25

K = Coeficiente em Função do Grau de Compactação: 0,5

VALOR DA VAZÃO = 0,0152 litros/seg

SEÇÕES DOS CANAIS

Talude do Canal em Função da Natureza das Paredes: 2) Corte em Terreno Argiloso Firme = 45°00' θ Graus: 45°00'

Valores do Coeficiente de Rugosidade (n), em Função da Natureza das Paredes: 2) Terra = 0,025 Valor de "n": 0,025

SECCÃO

0 m

0 m

$\theta = 45^\circ$

Retorno

Figura 4.5 – Tela do módulo de dimensionamento dos drenos dos líquidos percolados pelo método Suíço

As Figuras 4.6 e 4.7 correspondem às telas do dimensionamento dos drenos de líquidos percolados pelo método do Balanço Hídrico, desenvolvidos por Firta (2003). A Figura 4.6 corresponde à tela inicial do método do Método do Balanço Hídrico e a Figura 4.7 corresponde à tela que apresenta a Planilha Anual do Método do Balanço Hídrico.

DRENAGEM DE LÍQUIDOS PERCOLADOS

Prontuário: Município: **Florianópolis** - 1 Data Cadastro:

Bairro ou Setor do Município Escolha o Método: SUIÇO BALANÇO HÍDRICO

Método do Balanço Hídrico

Escoamento Superficial: Arenoso Argiloso

Troca de Armazenamento de Água no Solo: Arenosa Siltosa Argilosa

Dados Complementar:
 Área do Aterro: 0 m²
 Declividade: 0 %

Capacid. Campo = 200 mmH₂O/mSolo
 Ponto de Murcha = 50 mmH₂O/mSolo
 Água Disponível = 150 mmH₂O/mSolo

PERÍODO = [dropdown]
 VALOR DA VAZÃO = 0 litros/seg

Informe a Área do Aterro p/ ver Planilha

SEÇÕES DOS CANAIS

Talude do Canal em Função da Natureza das Paredes [dropdown] θ Graus

Valores do Coeficiente de Rugosidade (n), em Função da Natureza das Paredes [dropdown] Valor de "n" [input]

S E C C Õ E S

Retorno

Figura 4.6 - Tela inicial do Método do Balanço Hídrico

DRENAGEM DE LÍQUIDOS PERCOLADOS

Prontuário: Município: **Florianópolis** - 1 Data Cadastro:

Bairro ou Setor do Município Escolha o Método: SUIÇO BALANÇO HÍDRICO

Método do Balanço Hídrico

PLANILHA ANUAL DE BALANÇO HÍDRICO

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
EP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ESTAÇÃO	SECA	SECA	SECA	SECA	SECA	ÚMIDA	ÚMIDA	ÚMIDA	SECA	SECA	SECA	SECA	
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
I - EP.....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
I - EP (-).	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
VP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

VER LEGENDA

LEGENDA

EP - Evapotranspiração Potencial P - Índice de Precipit. Pluviométrica ES - Escoamento Superficial
 C - Coeficiente de Escoamento Superf. I - Infiltração AS - Armazen. de Água no Solo
 AAS - Troca de de Armazen. de Água no Solo ER - Evapotranspiração Real PER - Volume de Líquido Percolado
 VP - Vazão de Pico

SEÇÕES

Talude do [dropdown] Valores de [dropdown]

Retorno

Figura 4.7 - Planilha anual do Método do Balanço Hídrico

4.1.2. Estimativa de Custos

Os resultados referentes ao módulo de estimativa de custos para o programa *SADES* são apresentados em função das etapas metodológicas realizadas. Os elementos de custo para a viabilização de um aterro sanitário foram classificados segundo as fases mais significativas do ciclo de vida destas instalações.

A utilização desta classificação justifica-se em virtude da necessidade dos tomadores de decisão conhecerem não somente os gastos totais com a implantação do aterro, mas principalmente, a previsão de desembolso referente a cada etapa ao longo da vida útil do mesmo. Esta abordagem também é referenciada na literatura através dos seguintes trabalhos: USEPA (1997), Jaramillo (1997), Cotrim e Reichert (2000), Reichert e Reis (2000).

A etapa de **OPERAÇÃO** compreende o período entre o aterramento da primeira carga de resíduos até o esgotamento da vida útil do aterro, anos mais tarde. Esta fase é caracterizada pelos trabalhos nas frentes de aterramento e o início da operação das instalações de controle ambiental. Os elementos de custos são: mão-de-obra, equipamentos, despesas gerais, serviços de engenharia, custos imprevistos.

A etapa de **FECHAMENTO** compreende ao período entre o fechamento do aterro (esgotamento da vida útil) até o decaimento do nível das emissões do aterro que justifique o não funcionamento das instalações de controle ambiental. Os elementos de custos de fechamento são os seguintes: engenharia para preparação e plano de fechamento, cobertura final, nivelção final, cobertura vegetal, controle de sedimentação e erosão, gerenciamento do biogás, coleta de líquidos percolados, tratamento de líquidos percolados.

A análise de custos preconizada por Jaramillo (1997) para aterros sanitários, discrimina duas classes principais de custos: os custos de **INVESTIMENTO** e os custos de **OPERAÇÃO**. Para determinar o Custo Anual de Investimento deve-se

calcular o Fator de Recuperação de Capital, em função da taxa de juros anual utilizada, e o Custo Anual de Capital de cada elemento. O Custo Unitário de Investimento calcula-se dividindo o Custo Anual de Capital pela produção anual de resíduo (ton/ano). O Custo Anual de Operação é calculado, de forma geral, pelo somatório dos Custos Unitários Anuais de cada elemento os quais são mãos-de-obra, equipamentos, despesas gerais, serviços de engenharia e custos imprevistos. As Figuras 4.8, 4.9 e 4.10 mostram a apresentação do software relativo à estimativa de custos. A Figura 4.8 apresenta a forma de cálculo dos custos de **investimento**, a Figura 4.9 a forma de cálculo dos custos de **operação** e a Figura 4.10 os resultados gerais dos custos de investimento, operação e total do aterro sanitário para municípios com população de até 30.000 habitantes.

A apresentação do programa é clara e de fácil utilização, pois permite que o usuário complete os campos com os dados, isto é, os custos unitários de cada elemento e obtenha automaticamente o resultado desejado. Os resultados são apresentados na página final do programa e o usuário poderá imprimir um relatório, sendo este gerado pelo programa, onde estarão os principais dados e resultados finais, auxiliando assim, a tomada de decisão.

Figura 4.8 – Tela do módulo de estimativa de custos de INVESTIMENTO

CÁLCULO DE ORÇAMENTO

Nº Orçamento: Município: **Florianópolis** - 1 Data Cadastro:

Bairro ou Setor do Município do Dimensionamento de Trincheiras: Vida Útil da Trincheira: Produção per cápta de Resíduo: m³/ano Densidade do Resíduo: ton/m³

Taxa de Juros: % Ano Dias Úteis ao Ano: Habitantes: Prod. de Resíduo: Rend Anual Medio: ton/an

CUSTO DE INVESTIMENTO **CUSTO DE OPERAÇÃO** **TOTAL GERAL DOS CUSTOS**

Mão de Obra **Equipamentos** **Despesas Gerais** **Serviço de Engenharia_1** **Serviço de Engenharia_2** **Imprevistos e TOTAIS**

Nº de Operários
Índice p/ Nº de Operários:
Fator de Benefício:
Salário Mensal do Opera.:
Custo Anual Operários:

Jornada do Supervisor
Proporc. Jornada Superv.:
Fator de Benefício:
Salário Mensal do Superv:
Custo Anual Operários:

Nº de Trab. Admin.
Índice p/ Nº de Administ.:
Fator de Benefício:
Salário Mensal do Admin:
Custo Anual Administ.:

CUSTO ANUAL DE MÃO DE OBRA (\$ / ano)
2.1

← Retorno

Figura 4.9 – Tela do módulo de estimativa de custos de OPERAÇÃO

CÁLCULO DE ORÇAMENTO

Nº Orçamento: Município: **Florianópolis** - 1 Data Cadastro:

Bairro ou Setor do Município do Dimensionamento de Trincheiras: Vida Útil da Trincheira: Produção per cápta de Resíduo: m³/ano Densidade do Resíduo: ton/m³

Taxa de Juros: % Ano Dias Úteis ao Ano: Habitantes: Prod. de Resíduo: Rend Anual Medio: ton/an

CUSTO DE INVESTIMENTO **CUSTO DE OPERAÇÃO** **TOTAL GERAL DOS CUSTOS**

CUSTO ANUAL DE INVESTIMENTO
1.1 + 2.1 + 3.1 + 4.1 + 5.1 + 6.1 + 7.1 + 8.1 + 9.1 + 10.1 **A** =

CUSTO UNITÁRIO DE INVESTIMENTO (\$ / ton)
1.3 + 2.3 + 3.3 + 4.3 + 5.3 + 6.3 + 7.3 + 8.3 + 9.3 + 10.3 **A'** =

CUSTO ANUAL DE OPERAÇÃO
2.1 + 2.2 + 2.3 + 2.4.1 + 2.4.2 + 2.4.3 + 2.4.4 + 2.4.5 + 2.4.6 + 2.5 **B** =

CUSTO UNITÁRIO DE OPERAÇÃO
 $\frac{\mathbf{B}}{\mathbf{REND. ANUAL M\u00c9DIO}} \Rightarrow \mathbf{B'}$ =

CUSTO UNITÁRIO TOTAL E CUSTO ANUAL TOTAL
CUSTO UNITÁRIO TOTAL (\$/ton) = A' + B' =
CUSTO ANUAL TOTAL (\$/ton) = A + B =

← Retorno

Figura 4.10 – Tela do módulo de estimativa de CUSTO TOTAL

4.2 TESTES DO MODELO INFORMATIZADO

De acordo com Lupatini (2003), basicamente a avaliação de softwares é questão ainda de várias proposições metodológicas. Alguns autores apontam para realização da avaliação em 3 etapas: técnica (correção de *bugs*), pragmática (desempenho) e por último a subjetiva (facilidade em utilizar o sistema).

Para avaliar o *software* desenvolvido, foram realizados inúmeros testes com inserção de valores (avaliação técnica) onde foram corrigidos os chamados ¹*bugs*, problemas comumente freqüentes na elaboração e desenvolvimento de programas computacionais, que compreendem desde problemas de rotina, lógica e até mesmo fórmulas e cálculos envolvidos.

Para realização da avaliação pragmática e subjetiva do software, foi criado um exemplo prático e hipotético (município denominado Morro do Sol), através dos seguintes dados e características:

- ❖ **População Atendida: 7.000 hab**
- ❖ **Taxa crescimento populacional: 1,25% a.a**
- ❖ **Serviço de Coleta: apenas convencional**
- ❖ **Taxa atendimento serviço de coleta: 92%**
- ❖ **Sem previsão de aumento do serviço para próximos anos**
- ❖ **Produção per-capita: 0,9 kg/hab.x dia (obtido através de pesagens, sem considerar taxa atendimento do serviço)**
- ❖ **Densidade dos resíduos após coleta convencional: 350kg/m³**
- ❖ **Peso específico (pretendido) no interior da trincheira: 0,5t/m³ (aterro de operação manual fracamente compactado)**
- ❖ **Largura da trincheira: 3 metros**
- ❖ **Profundidade da trincheira: 3 metros**

¹ Bugs: na linguagem da informática o termo é comumente utilizado para se referir a erros ou pequenas falhas no sistema.

- ❖ Comprimento disponível para cada trincheira: 200 m
- ❖ Precipitação média anual = 1.600 mm/ano
- ❖ Coeficiente K que depende do grau de compactação dos Resíduos = 0,50 (para aterros de operação manual, fracamente compactados)
- ❖ Comprimento do talvegue máximo da bacia L = 0,4 km
- ❖ Desnível da bacia (diferença entre os pontos de maior e menor cota) H= 30 m
- ❖ Vida Útil do aterro = 10 anos
- ❖ Precipitação com duração de 60 minutos e período de retorno de 10 anos $P(60,10) = 68$ mm
- ❖ Área da bacia de drenagem A = 0,15 km²
- ❖ Coeficiente de escoamento: para solo argiloso, com declividade ≤ 7 % e solo com áreas gramadas (CETESB,1997)
- ❖ Talude em função da natureza das paredes: Corte em Terreno Argiloso Firme 45°00
- ❖ Coeficiente de Rugosidade “n”: canais de terra 0,025 (A. P.)
- ❖ Coeficiente de Rugosidade “n”: canais de terra 0,025 (L. P.)
- ❖ Declividade do canal de drenagem A. P. : 0,015 m/m
- ❖ Declividade do canal de drenagem L. P. : 0,010 m/m

Assim, para avaliar o programa SADES foi igualmente elaborada uma ficha de avaliação, com perguntas de caráter pragmático e subjetivo, onde pessoas com diferentes níveis de conhecimento de dimensionamento de aterros sanitários pudessem inscrever suas opiniões de avaliação do programa. Para esta avaliação optou-se por convidar pessoas com três diferentes níveis de conhecimento:

- Especialista em dimensionamento e projetos de aterros;
- Técnico em projetos de aterros sanitários;
- Aluno de graduação do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

A ficha de avaliação utilizada neste teste encontra-se no ANEXO 1 deste trabalho.

Resultados da Avaliação

A chamada avaliação *técnica*, que consiste na verificação da lógica do sistema, procedimentos de cálculo, verificação de unidades e validação dos resultados já havia sido feita, através de inúmeras reuniões com o programador, onde eram resolvidos os problemas com os *bugs* do sistema. Antes de se considerar por concluído o programa foi também verificada a consistência dos resultados, conferindo os cálculos e resultados feitos pelo programa com o que foi calculado sem o auxílio do mesmo. Já para realizar as avaliações chamadas *pragmáticas* e *subjetivas* foi utilizada a ficha de avaliação, que aborda estes aspectos.

Os avaliadores fizeram uso do Programa SADES, onde puderam utilizar o programa para dimensionar as principais estruturas de aterros sanitários em trincheiras, como a Drenagem de Águas Pluviais, Drenagem de Líquidos Percolados e Dimensionamento das Trincheiras, além de fazer a estimativa de Custos de Aterros Sanitários.

De acordo com o que foi preenchido nas fichas de avaliação, pôde se observar que todos ficaram satisfeitos com a utilização do programa. Porém, como era de se esperar, o indivíduo especialista fez a avaliação mais crítica a respeito do programa.

O indivíduo especialista em aterros sanitários questionou a utilidade do programa, onde considerou que o programa não é útil para o dimensionamento das seções dos canais de drenagem de águas pluviais e de líquidos percolados, pois o programa apresenta a seção calculada e esta na prática não é adotada, pois o que ocorre é a utilização de seções comerciais, inclusive atentando para que as seções sempre são executadas no mínimo na medida da largura da concha da retro-escavadeira, utilizada na abertura dos canais de drenagem em campo.

O especialista também atentou para a inclusão do coeficiente de rugosidade (n) do PVC nos cálculos das seções dos canais de drenagem, visto que muito utilizado em campo. Já sua avaliação do programa para o dimensionamento das trincheiras, onde

o programa apresenta ao usuário também a estimativa de vida útil de cada trincheira para determinado número de dias de trabalho, ou ainda o comprimento diário preenchido (aterrado) a cada dia ou jornada de trabalho, foi mais positiva, onde o especialista considerou o programa bastante útil.

Quanto à estimativa de custos de aterros sanitários o especialista considerou o programa bastante útil, por apresentar um satisfatório número de elementos da composição dos custos, que auxilia o usuário a lembrar de todos os elementos envolvidos, porém questionou a dificuldade de entrar com os valores de custo unitário dos elementos, dificuldade esta que não se limita a este programa, e sim a qualquer estimativa de custos. Quanto ao aspecto de dificuldade de utilização do programa, este considerou o programa de fácil utilização para o usuário.

A avaliação do programa por parte do aluno de graduação do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental foi bastante positiva, pois considerou o programa muito útil em todos os aspectos. Foi questionada a clareza dos ícones de acesso às diferentes funções do programa, porém este foi um aspecto que foi desenvolvido na versão anterior de SADES (escolha de áreas para aterros sanitários), que teve que ser mantida, visto que a nova versão foi desenvolvida sobre a mesma plataforma. Quanto à dificuldade de utilização do programa, este avaliador considerou o programa de fácil utilização pelo usuário.

O técnico em aterros sanitários, que também é aluno do curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental fez uma avaliação bastante positiva do programa, onde o considerou útil sobre todos os aspectos. Este também considerou o programa de fácil utilização. O técnico ainda recomendou que este projeto tenha sua continuação para desenvolvimento do programa para dimensionamento de aterros sanitários em células.

4.3 CONCLUSÕES

O *produto final* das pesquisas realizadas (software) é uma ferramenta de fácil utilização e possibilita tanto a especialistas, bem como indivíduos que pouco conhecem esta área de estudo, tomar decisões acertadas no que diz respeito à disposição final de resíduos.

O objetivo geral do trabalho foi o desenvolvimento de um programa computacional (software), através de cálculos que foram posteriormente informatizados para auxiliar pequenas comunidades e prefeituras de cidades de pequeno porte para equacionar problemas referentes à disposição de resíduos sólidos urbanos de maneira a minimizar os impactos ao meio ambiente e garantir a saúde pública.

Os objetivos específicos foram o de desenvolver um sistema de dimensionamento de aterros sanitários em trincheiras, bem como seu sistema de drenagem de águas pluviais e de líquidos percolados e realizar a estimativa de custos de aterros sanitários, através da definição dos elementos que a compõe, divididos em *custos de investimento* e de *custos de operação*.

Este trabalho representa o desenvolvimento de uma tecnologia que pode ser adotada para facilitar o acesso a técnicas de disposição final de resíduos em aterros sanitários tanto por especialistas como por pessoas com menos conhecimento específico. Espera-se que este trabalho possa vir a servir como exemplo para que surjam novos projetos e para que sejam desenvolvidas novas tecnologias em busca do desenvolvimento sustentável e minimização dos impactos ao meio ambiente pelas atividades do homem.

O *software* pode ser utilizado também pelas prefeituras das cidades de pequeno porte e por pequenas comunidades como um auxílio a dimensionar aterros sanitários em trincheiras e estimar os custos de investimento e operação destes aterros com o

objetivo de apresentar estes resultados e até um pré-projeto para tentar conseguir recursos e financiamento deste empreendimento.

A divulgação e aplicação desta ferramenta nos municípios, além da realização de cursos de formação de curta duração, podem garantir o uso generalizado e sucesso dos resultados dos trabalhos realizados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Nos testes do modelo, foi feita uma avaliação do programa por indivíduos de diferentes níveis de conhecimento, porém a avaliação foi feita por apenas 3 indivíduos, cada um com diferente nível de conhecimento de dimensionamento de aterros sanitários. Recomenda-se que a avaliação seja feita com uma amostragem de pessoas que possa trazer um resultado mais significativo, podendo-se inclusive fazer uma análise estatística dos resultados da avaliação, que seria o mais recomendado.

Na revisão feita para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizadas apenas as referências com embasamento teórico, o que limitou de certa forma o desenvolvimento do mesmo. Seria interessante buscar experiências práticas na revisão.

Recomenda-se que o projeto tenha sua continuidade, onde novos estudos possam vir a ampliar as funções do programa, como o dimensionamento de aterros sanitários para cidades de maior porte, dimensionando os aterros e suas principais estruturas para aterros sanitários operados pelos métodos da área (em células) ou rampa também.

Outros tipos de pesquisas deveriam ser desenvolvidas como, por exemplo, no caso de dados de precipitação e equações de chuvas, que poderiam sofisticar o modelo, pois atualmente não existem estes dados disponíveis em abrangência nacional.

O programa necessita de incorporação de uma função do tipo “*help*”, para auxiliar os usuários na utilização das ferramentas do programa, bem como esclarecer dúvidas de caráter técnico na inserção dos valores ou solicitação de informações.

Seria necessária a elaboração de um manual de instruções e utilização do programa SADES, além de promover cursos de capacitação de curta duração para a utilização

do programa, a fim de promover ampla difusão do programa e correta utilização do mesmo.

Que as funções do programa sejam ampliadas como sistema de apoio à decisão da escolha do método de tratamento, bem como do dimensionamento das estações de tratamento dos líquidos percolados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABES. **Aterros Sanitários: Projeto, Construção, Operação e Gerenciamento**. Bauru – SP, 1999.
- AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LOS ESTADOS UNIDOS. **Guía para rellenos sanitarios**. California: Agencia de protección ambiental de Los Estados Unidos, 1997.
- ANDRIOLE, S. J. **Handbook of decision support systems**. TAB books Ink, 1989.
- ARRAES, R. A.; DINIZ, M. B.. **Simulação Econômica e Benefícios Sociais no Processamento de Resíduos Sólidos**. Fortaleza, [199_], 32 p. Trabalho não publicado.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 10004**. Resíduos Sólidos, Classificação. São Paulo, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - 8419**. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.
- 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. **NBR - 8419**. Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro, 1984.
- BENDZ, D., SINGH, V. P., AKESSON, M. 1997. **Accumulation of Water and Generation of Leachate in a Young Landfill**. Journal of Hydrology, N^o 203, p: 1-10.
- BENGTSSON, L., BENDZ, D., HOGLAND, W., ROSQVIST, H. AKESSON, M. **Water Balance for Landfills of Different Ages**. Journal of Hydrology, n. 158, p. 2003-2217.1994.
- BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. EESC-USP. São Carlos – SP. 1999.

- BORGES, M. E.; AMARAL, A. F. H.. **Projeto do Aterro Sanitário de Betim**. [s.l.]: Plambel, 1987. 105 p.. Projeto de aterro sanitário.
- BRAGA, B.; TUCCI, C.; TOZZI, M. **Drenagem Urbana – Gerenciamento, Simulação e Controle**. 1º Edição. Porto Alegre – RS. Editora da Universidade/ UFRGS. 1998.
- CASAROTTO FILHO, N.; KOPITCKE, B. H.. **Análise de investimentos**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 1994. 448 p..
- CASTILHOS JUNIOR, A. B. **Estudo da Previsão dos Volumes de Líquidos Percolados Gerados em Aterros Sanitários**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 16, Goiânia, 1991. Anais...Goiânia, 550p. p. 114-124. Rio de Janeiro. ABES, 1991.
- CASTILHOS JUNIOR, A. B., LANGE, L. C., GOMES, L. P., PESSIN, N. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.
- CEMPRE. Compromisso Empresarial para Reciclagem. <http://www.cempre.org.br>
- CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. **Cosepre: Costos de servicios prestados. Manual del usuario**. Versión 1.0 - windows 98. [s.l.]: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2001. 32 p. Disquete 3 1/2.
- CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. **Cosepre: Costos de servicios prestados. Documentación técnica**. Versión 1.0 - windows 98. [s.l.]: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2001. 32 p. Disquete 3 1/2.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Aterros Sanitários em Valas**. Apostilas Ambientais. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. São Paulo, 1997.
- COTRIM, S. L. da S.; REICHERT, G. A. **Consórcios municipais para aterros sanitários, uma alternativa ambiental e economicamente viável**. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre. Trabalhos técnicos. Porto Alegre: ABES, 2000. 6 p.. P 1-6..

- CRUCIANI, D. E. **A Drenagem na Agricultura**. 2ª edição. Editora Nobel. São Paulo, 1983.
- DALLEDONE FILHO, A. **Matemática financeira**. Curitiba, 2002, 41 p. Trabalho não publicado.
- 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.
- FENDRICH, R. **Chuvas Intensas para Obras de Drenagem (no estado do Paraná)**. Editora Champagnat. Curitiba, 1998.
- FENDRICH, R.; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M.; ZENY, A. S. **Drenagem e Controle da Erosão Urbana**. Curitiba – PR. Universidade Católica do Paraná/ Instituto de Saneamento Ambiental. 1984.
- FENN, D.G., HANLEY, K.J., DEGEARE, T.V. **Use of Water Balance Method for Predicting Leachate Generation at Waste Disposal Sites**. Cincinnati (Ohio): U.S. Environmental Protection Agency, 1975, 168p.
- GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia** – 2ª edição. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1988.
- GEE, J.R. **Prediction of Leachate Accumulation in Sanitary Landfills**. In: APPLIED RESEARCH & PRACTICE ON MUNICIPAL & INDUSTRIAL WASTE CONFERENCE, 4, 1981. Madison. Anais...Madison: University of Wisconsin, 1981.p.170-190.
- GENOVEZ, A. M. Vazões máximas. In: PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. (orgs). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. Págs 33-112.
- GONÇALVES, M. M.; DINIZ, A. M. M. B.; CARVALHAL, R. M. **Custos na limpeza urbana de Belo Horizonte - metodologia de apropriação e gerenciamento**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. Trabalhos técnicos. João Pessoa: ABES, 2001. 13 p.
- GOUGH, J. D.; WARD, J.C. Environmental Decision-Making and Lake Management. **Journal of Environmental Management**, n.48, p.1-15, 1996.

- GRIESINGER, B. **Características e Alguns Tipos de Tratamento dos Líquidos Percolados de Resíduos Sólidos**. CETESB. São Paulo – SP. 1978.
- HADDAD, J. F. **Programa Regional OPS/EUP/CEPIS de Mejoramiento de los Servicios de Aseo Urbano**. Ciclo: Aseo Urbano. Modulo: Disposicion Final de Resíduos Solidos. Manual de Instruccion. Maio, 1981.
- HAMADA, J. & ABEICHE, L. H.T. **Ferramenta Computacional para Estimativa do Volume Mensal de Percolados em Aterros Sanitários**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, João Pessoa, 2000. Anais...João Pessoa.: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 2000. CD-ROM.
- HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**. 4.^a ed. São Paulo: Atlas, 1989. 453 p..
- IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/população/condicaodevida/pnsb/lixo_coletado/lixocoletado109.shtm> Acesso em: 14 Mai.2002.
- IPT/ CEMPRE. **Lixo Municipal - Manual de Gerenciamento Integrado**. 2º Edição. São Paulo – SP. 2000.
- JARAMILLO, J. **Residuos Solidos Municipales: Guia para el diseño, construccion y operacion de rellenos sanitarios manuales**. Washington: Organizacion Mundial de La Salud, 1997. 214 p. (Serie Técnica, 28).
- JARDIM, N. S. et al. (Coordenação). **Lixo Municipal. Manual do Gerenciamento Integrado**. 1º edição. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: CEMPRE, 1995. IPT, CEMPRE.
- JUCÁ, J. F. T. **Destinação final dos resíduos sólidos no Brasil: situação atual e perspectivas**. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10, 2002, Braga - Portugal. Trabalhos técnicos. Braga: SILUBESA, 2002. 18 p.. P 10 e 13..
- KOBIYAMA, M. **Notas de aula, disciplina de Hidráulica I**, UFSC (2003).
- LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA - COPPE/UFRJ. **Projeto preparatório para o gerenciamento dos recursos hídricos do Paraíba do Sul: Programa de investimentos de Minas Gerais: Subsídios para tarifação dos serviços de**

- saneamento básico e resíduos sólidos.** [s. l.]: Laboratório de hidrologia - COPPE/UFRJ, 2000. 21 p. (série relatórios técnicos, PPG-RE-019-R0).
- LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA - COPPE/UFRJ. **Projeto preparatório para o gerenciamento dos recursos hídricos do Paraíba do Sul: Programa de investimentos de Minas Gerais: Resíduos sólidos.** [s. l.]: Laboratório de hidrologia - COPPE/UFRJ, 2000. 21 p. (série relatórios técnicos, PPG-RE-016-R1).
- LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA - COPPE/UFRJ. **Subsídios para a tarifação dos serviços de saneamento básico e resíduos sólidos:** Sub-regiões A, B, C. [s. l.]: Governo do estado do Rio de Janeiro, 1998. 31 p (série relatórios técnicos, PS-RE-054-R1).
- LANGE, L. C., et al. **Implantação e operação de um aterro sustentável para pequena comunidade.** In: ALTERNATIVAS DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA PEQUENAS COMUNIDADES: COLETÂNEA DE TRABALHOS TÉCNICOS. Rio de Janeiro: **RiMa, ABES, 2002.** Trabalhos técnicos. 92 p., p. 29 - 35.
- LEDESMA, M.T.O., GOMÉZ, J., S., RIVERA, R.C.&VALENCIA, M.N.R. **Método de Balance de Água para la Estimación de la Generación de Líquidos Percolados em Rellenos Sanitários.** In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27. Porto Alegre, 2000. Anais...Porto Alegre: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000. 521p. CD-ROM.
- LIMPURB. Site da Web. www.limpurb.br. Limpeza e Saneamento.
- LU, J.C.S., EICHENBERG, B., & STEARNS, R. J. **Leachate from Municipal Landfills, Production and Management.** Pollution Technology Review. New Jersey: Noyes Publications, n. 119, 1981.
- LUPATINI, G. Comunicação pessoal em Agosto de 2003.
- LUPATINI, G. **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão em Escolha de Áreas para Aterros Sanitários.** Dissertação de Mestrado. PPGEA, UFSC. 2002.

- MACHADO, G. E. **Estudo comparativo de custos da coleta seletiva e regular de resíduos sólidos urbanos no bairro Balneário do município de Florianópolis, SC**. Florianópolis. 1995. 184 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina.
- MILLAR, A. A. **Drenagem de terras Agrícolas – bases agronômicas**. Mc Graw Hill, 1978.
- MONTEIRO, J.H.P. et al. **Manual do Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos – IBAM/ SEDU**. Rio de Janeiro, 2001.
- NERILO, N.; MEDEIROS, P. A.; CORDERO, A. **Chuvas Intensas no estado de Santa Catarina**. Editora da UFSC/ Editora da FURB, Florianópolis/ Blumenau, 2002.
- NETO, J. C., MOTA, S., SILVA, F. J. A. 1999. **Geração de Percolado em Aterro Sanitário no Semi-Árido Nordestino: Uma Abordagem Quantitativa**. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol.4 – N0 3 jul/set 1999 e N^o 4 out/dez 1999.
- NETTO, J. M. A.; ALVAREZ, G. A. **Manual de Hidráulica**. Vol II. 7^o edição. São Paulo, SP. Editora Edgard Blücher Ltda, 1991.
- NEVES, E. T. Curso de Hidráulica. **9^o edição. São Paulo, SP. Editora Globo, 1960**.
- OLIVEIRA, S. ; PASQUAL, A. **Monitoramento do Lixiviado de Aterro Sanitário**. IN: ABES, XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- OLIVEIRA, L. & PASQUAL, A. **Monitoramento de Lixiviados de Aterro Sanitário**. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL, 27. Porto Alegre, 2000. Anais...Porto Alegre: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000. 521p. CD-ROM.
- PARKER, et al. Use and misuse of complex-models: examples for water demand management. **Water Resources Bulletin**. n. 31, p. 257-263. 1995.
- PEÑALOZA, H. C.. **Saneamiento de Botaderos de Basura**. Santa Fe de Bogotá. d.C. 1998.
- PINEDA, S. **Manejo y Disposición de Residuos Sólidos Urbanos**. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, [s.l.]: Panamericana Formas e Impresos. 1998.

- PINTO, N. L. de S. et al. **Hidrologia Básica**. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1976.
- PROSAB. **Metodologias e Técnicas de Minimização, Reciclagem e Reutilização de Resíduos Sólidos Urbanos**. Rio de Janeiro – RJ. 1999.
- REICHERT, G. A.; REIS, J. C. F. **Custos de implantação e de operação de aterro sanitário: estudo de caso: aterro da extrema, Porto Alegre, RS**. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 2, 1998, Porto alegre. Artigo técnico. Porto Alegre: APECÊ, 2000. 399 p.. P. 232-246.
- RENKOW, M.; KEELER, A. G. Determining the Optimal Landfill Size: Is Bigger Always Better? **Journal of Environmental Management**, [s.l.], 46, p. 67 - 75, 1996.
- RESOL. Site da Web. www.resol.com.br. Cartilha de Limpeza Urbana. Web Resol.
- ROCCA, A.C.C., et al. **Resíduos Sólidos Industriais**. 2.ed. São Paulo: CETESB, 1993. 234p.
- ROY, B. **Methodologie multicritère d'aide à la decision**. Paris: Economica, 1985.
- SIMÕES, G.F. **Comunicação pessoal em Junho de 2003**. Presidente do Núcleo Regional de Minas Gerais da Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Professor da Escola de Engenharia da UFMG - Depto. Eng. Transportes e Geotecnia. Belo Horizonte - MG
- SPRAGUE, R. H.; CARLSON, E. D. **Building Effective Decision Support System**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1982.
- TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H; VIRGIL, S; **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues**. Nova Iorque: McGraw Hill, 1993.
- TCPO 10: Tabelas de composição de preços para orçamento. São Paulo: Pini, 1996. 848 p.
- TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. 1º Edição. Porto Alegre – RS. Editora da Universidade/ UFRGS. 1995.
- TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade:ABRH, 1997.

- USEPA. 1997. **MSW Factbook**, Ver. 4.0. Washington: United States. Environmental Protection Agency. Municipal and Industrial Solid Waste Division. Office of Solid Waste.
- VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo; Mc Graw-Hill do Brasil, 1975. 245p.
- WENG, Y. C.; CHANG, Ni-Bing. The development of sanitary landfills in Taiwan: status and cost structure analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, Berkeley, 33, p. 181-201, October 2001.
- 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 usable and useful DSS? **Journal of Environmental Management**, n.62, p.55-74, 2001.
- WILKEN, P.S. **Engenharia de Drenagem Superficial**. CETESB, 1978. São Paulo-SP.

ANEXO 1

Avaliação do Programa SADES

Dados do Avaliador:

Nome: _____

Nível de conhecimento de projeto e dimensionamento de Aterros Sanitários:

- | | |
|---|------------------------|
| <input type="checkbox"/> especialista | empresa: _____ |
| <input type="checkbox"/> técnico | empresa: _____ |
| <input type="checkbox"/> aluno graduação eng. sanitária e ambiental | período ou fase: _____ |

Avaliação Quanto à Utilidade/ Eficiência do Programa (Avaliação Pragmática):

ASPECTOS GERAIS

- Quanto à utilidade do programa como um sistema de apoio ao dimensionamento das principais estruturas de aterros sanitários em trincheiras:

pouco útil útil muito útil

- Quanto à utilidade do programa como sistema de apoio à estimativa de custos de aterros sanitários:

pouco útil útil muito útil

MÓDULO DRENAGEM ÁGUAS PLUVIAIS

- Você considera que o programa pode ser útil como uma ferramenta de auxílio no cálculo da estimativa de vazão de águas pluviais a ser drenada?

Não Sim, pouco útil útil muito útil

- Você considera que o programa pode ser útil como uma ferramenta de auxílio no cálculo da seção dos canais de drenagem das águas pluviais?

Não Sim, pouco útil útil muito útil

MÓDULO DRENAGEM DE LÍQUIDOS PERCOLADOS

- Você considera que o programa pode ser útil como uma ferramenta de auxílio no cálculo da estimativa de vazão de líquidos percolados a ser drenada?

Não Sim, pouco útil útil muito útil

- Você considera que o programa pode ser útil como uma ferramenta de auxílio no cálculo da seção dos canais de drenagem dos líquidos percolados?

Não Sim, pouco útil útil muito útil

- Você considera que o programa pode ser útil como uma ferramenta de auxílio no cálculo da estimativa de produção de líquidos percolados para projetar sua estação de tratamento?

() Não Sim, () pouco útil () útil () muito útil

MÓDULO DIMENSIONAMENTO DAS TRINCHEIRAS

- Você considera que o programa pode ser útil como uma ferramenta de auxílio aos cálculos dos volumes de escavação e volume de terra para cobertura dos resíduos?

() Não Sim, () pouco útil () útil () muito útil

- Você considera que o programa pode ser útil na estimativa de comprimento diário preenchido das trincheiras?

() Não Sim, () pouco útil () útil () muito útil

- Você considera que o programa pode ser útil na previsão de vida útil de cada trincheira?

() Não Sim, () pouco útil () útil () muito útil

- Você considera que o programa pode ser útil para prever as jornadas de trabalho ou datas para aluguel de equipamentos para escavação (abertura) das trincheiras?

() Não Sim, () pouco útil () útil () muito útil

MÓDULO DE ESTIMATIVA DE CUSTOS

- Você acredita que o programa pode ser útil para se estimar os custos de investimento em projetos de aterros sanitários?

() Não Sim, () pouco útil () útil () muito útil

- Você acredita que o programa pode ser útil para se estimar os custos de operação em projetos de aterros sanitários?

() Não Sim, () pouco útil () útil () muito útil

- Quanto aos elementos apresentados na composição de custos de investimento, o programa é:

() fraco () regular () bom () muito bom

- Quanto aos elementos apresentados na composição de custos de operação, o programa é:

() fraco () regular () bom () muito bom

Avaliação de Aspectos Gerais do Programa (Avaliação Subjetiva):

➤ Quanto ao aspecto visual do programa:

() fraco () regular () bom () muito bom

➤ Quanto à clareza na solicitação de informações ao usuário:

() fraco () regular () bom () muito bom

➤ Quanto à organização da estrutura do programa:

() fraco () regular () bom () muito bom

➤ Quanto à forma de apresentação dos resultados:

() fraco () regular () bom () muito bom

➤ Quanto às metodologias de cálculos:

() fraco () regular () bom () muito bom

➤ Quanto à clareza de unidades na solicitação dos valores a serem preenchidos:

() fraco () regular () bom () muito bom

➤ Quanto ao grau de dificuldade de utilização do programa:

() muito fácil () fácil () difícil () muito difícil

➤ Quanto ao seu grau de satisfação na utilização do programa:

() insatisfeito () pouco satisfeito () satisfeito () muito satisfeito

Sugestões ou recomendações para uma nova versão do Programa:

Local: _____ Data: __/__/____

Assinatura: _____