

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRATAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO: SISTEMA AAA

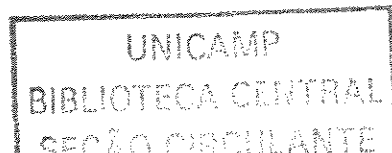
Manuel Luis Aguirre Morales

ORIENTADORA: **Professora D^{ra} Eglé Novaes Teixeira**

CO-ORIENTADOR: **Professor Dr. Cláudio Bianor Sverzut**

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento e Ambiente.

Campinas
2004



Atesto que essa é a versão definitiva da
dissertação/tese.

Prof.^a Dr.^a

Matrícula 05491-7 - 21/2/2005

UNIDADE	BC
Nº CHAMADA	J/UNICAMP
	Ag 9493
V	EX
TOMBO BC/	63933
PROC.	16-P-00086-03
C	☐
D	☒
PREÇO	41,00
DATA	17/05/05
Nº CPD	BUL 10 349398

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Ag94s Aguirre Morales, Manuel Luis
Simulação do desempenho de tratamento de resíduo sólido urbano: sistema AAA / Manuel Luis Aguirre Morales. --Campinas, SP: [s.n.], 2004.

Orientador: Eglé Novaes Teixeira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

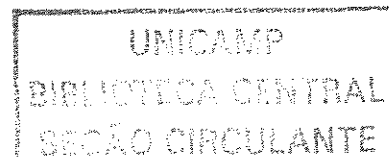
1. Lixo. 2. Biogás. 3. Húmus. 4. Reciclagem. 5. Limpeza urbana. 6. Simulação (Computadores). I. Teixeira, Eglé Novaes. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRATAMENTO
DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO: SISTEMA AAA**

Manuel Luis Aguirre Morales

Campinas
2004



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRATAMENTO DE RESÍDUO SÓLIDO URBANO: SISTEMA AAA

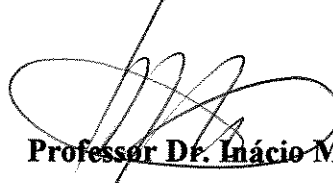
Manuel Luis Aguirre Morales

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



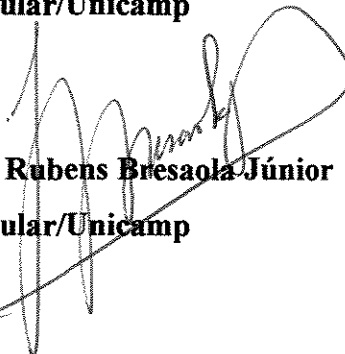
Professora D^{ra} Eglé Novaes Teixeira

Presidente e Orientadora/Unicamp



Professor Dr. Inácio Maria dal Fabbro

Titular/Unicamp



Professor Dr. Rubens Bresaola Júnior

Titular/Unicamp

Campinas, 27 de Agosto de 2004.

Dedico este trabalho a todos os que possam se
beneficiar dele.

Deus os abençoe.

Agradecimentos

A meu Criador, Deus e Pai amado, por sua guia e fortaleza, amizade, ajuda e conforto.

À minha esposa, amiga, sustento e apoio, D^{ra} Natalia, que me impulsionou a perseverar, me estimulou quando desanimado e me moderou quando entusiasmado demais.

A meus filhos, que sempre acreditaram em mim, me ajudaram com a Língua Portuguesa e me deram excelentes conselhos.

À minha orientadora, amiga e colaboradora, D^{ra} Eglé Novaes Teixeira, por sua dedicação, enorme paciência, boa vontade, ajuda e competência e a meu co-orientador, professor e guia, Dr. Cláudio Bianor Sverzut, por sua paciência, competência e sempre eficaz ajuda.

A meus professores e amigos, Dr. Ruben Bresaola, Dr. Edson A. Abdul Nour, Dr José Roberto Guimarães, e muitos outros, me ajudaram com competência, dedicação, eficácia e também, simpatia.

A meus companheiros Rogério de Almeida (doutorando Recursos Hídricos, Elias Antonio Nicolas (doutorando Estruturas), Beth Nagle (mestrando Saneamento e Ambiente), etc. com excelentes dicas e boa disposição para ajudar e a cada pessoa que em muitas formas me tem orientado e ajudado, publicando trabalhos e pesquisas, dando dicas, emprestando livros, auxiliando em diversas formas, desde o humilde faxineiro até a mais alta autoridade, fazendo possível este trabalho.

There are those who say it can't be done, and are content to leave it at that. And then there are those who find a way.

There are those who see every setback as an excuse to give up. And then there are those who find the courage, the will, the commitment to persevere.

There are those who back away from challenge, and complain when it finds them anyway. And then there are those who eagerly welcome each opportunity to move the world forward.

There are those who prefer to do what is easy, comfortable and convenient. And then there are those who do what is best, what is right, as difficult as it may be.

There are those who bounce and skim along the noisy, confusing surface of life. And then there are those who dive deeply in, to where meaning, purpose, vision and truth are clear and unmistakable.

How fortunate we are that there are those who live like they mean it. How fortunate we are that we can too.

-- Ralph Marston

Aprende-se mais quando se tem que inventar.

Piaget

Almejar algo tão grande que será destinado ao fracasso a menos que Deus esteja nisso.

John E. Haggai

RESUMO

AGUIRRE, M. **Simulação do desempenho de tratamento de resíduo sólido urbano: sistema AAA**. 2004. 353p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

O tratamento do Resíduo Sólido Urbano (RSU) ou “lixo”, geralmente, segue a estratégia de se livrar do lixo ao menor custo possível; normalmente é um sistema custoso de adquirir, instalar, operar e manter, para satisfazer aos requisitos ambientais. O sistema AAA tem a meta de aproveitar todo o RSU, de forma sustentável, pela venda de produtos comerciais, sem poluir e gerando receita. Por outro lado, os sistemas comerciais de simulação, de propósito geral, são custosos, complexos e requerem longo tempo de aprendizado. Usando uma modelagem matemática simples e acessível, como ferramenta para a simulação do sistema AAA, é possível quantificar, para casos reais, o que pode-se esperar em cada etapa de implantação. Iniciando desde o mais simples diagrama de blocos, se pode, na presente simulação, ter uma idéia real do faturamento que se pode obter do RSU, baseado numa implementação por etapas, para transformar o resíduo em matéria prima secundária e, finalmente, em produtos comerciais de qualidade. A modelagem é abordada em forma simples, para ver como funciona, e progressivamente, vai-se integrando capacidades, segundo necessário. Para visualizar a complexidade da depuração, são estudadas diferentes configurações, simulando o desempenho, para dados hipotéticos e valores dos parâmetros de depuração, o que permite, num caso real, dispor de uma idéia de quanto material será rejeitado para se obter uma dada pureza versus a seletividade dos equipamentos de depuração. O modelo matemático desenvolvido, usando a planilha Excel, permite imediata aplicação, entrando com os dados locais, para simular o faturamento esperado da comercialização dos produtos com demanda local. O modelo é aberto e flexível, o que permite sua adaptação a diferentes situações e pode ser completado progressivamente. Um estudo de caso (Ribeirão Preto) foi usado para a aplicação com dados reais.

Palavras chave: lixo, biogás, húmus, reciclagem, limpeza urbana, simulação (computadores).

ABSTRACT

AGUIRRE, M. Simulação do desempenho de tratamento de resíduo sólido urbano: sistema AAA. 2004. 333p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

The acquisition, installation and operation of an urban waste treatment normally are very expensive to satisfy legal requirements. The AAA system has the goal to be self-sufficient by using all the waste through the commercialization of quality products, without polluting and instead, creating profit. On the other hand, the commercial simulation systems are complex and a long training time is necessary in order to master their use. By using simple and accessible mathematical modeling as a tool to simulate the AAA system, it is possible to quantify, as in real life case, what could be expected at each implementation step. Starting from scratch, from the simplest block diagram, it is possible, by simulation step by step, to have a glimpse of how much money can be gotten from treated waste to quality products commercialization. The modeling starts as simple as possible, to see how it works, then, progressively adding capacities as necessary. To understand the complexity of a cleaning system, different configurations are studied; simulating the performance for hypothetical data, in order to have an idea of how much material is necessary to reject to get a desired cleanness in the real world, based on cleaning equipment selectivity. The mathematical model, developed in Excel chart, permits immediate use by entering the local data, to simulate the expected money profit from the commercialization of locally demanded products. The model is open and flexible, so it can be adapted to different situations and it can be completed in progressive form. A case study (Ribeirão Preto) was the first application with real data.

Key words: garbage, biogas, humus, recycling, simulation (computers), urban cleaning.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Fig.3.1 Exemplos de processos unitários comumente usados...	44
Fig.3.2 Módulos do Sistema AAA de tratamento da fração orgânica	69
Fig.3.3 Esquema conceitual do Sistema AAA	71
Fig.3.4 Eficiência versus taxa de Rejeito, com Seletividade como parâmetro	81
Fig.3.5 Representação da planilha Excel	91
Fig.4.1 Ciclo de desenvolvimento de um modelo	94
Fig.4.2 Configurações de depuração	105
Fig.5.1 Sistema de depuração para configuração Verde	142
Fig.5.2 Sistema de depuração para configuração Vermelha	149
Fig.5.3 Sistema de depuração para configuração Azul	155
Fig.A1 RSU – De problema a Vantagem	220
Fig.A2 Sistema AAA de tratamento de RSU, etapa inicial	221
Fig.A3 Sistema AAA de tratamento de RSU, etapa final	222
Fig.A4 Significado dos símbolos gráficos usados	223
Fig.A5 Fluxograma do programa de simulação	224
Fig.A6 Simulação do Fluxo de Materiais	260
Fig.A7 Co-geração	267
Fig.A8 Sistema de Co-geração	267
Fig.5.1 Sistema de depuração para configuração Verde	270
Fig.5.2 Sistema de depuração para configuração Vermelha	270

Fig.5.3	Sistema de depuração para configuração Azul	271
Fig.A9	Depuração de Metano	272
Fig.D.1	Configurações de depuradores estudadas na planilha Depuração	299
Fig.D.2	Configurações estudadas na planilha Depuração 1	323

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 3.1 Exemplos de Fórmulas Químicas da composição do RSU	80
TABELA 3.2 Significado físico dos símbolos usados na equação.3.6, em diferentes sistemas	83
TABELA 4.1 Números associados às tecnologias de tratamento de RSU	99
TABELA 5.1 Lista de variáveis estimadas e suas dimensões	119
TABELA 5.2 Matriz dimensional	120
TABELA 5.3 Matriz solução	120
TABELA 5.4 Dados internos e suposições básicas	123
TABELA 5.5 Simulação da etapa inicial (só resíduo)	124
TABELA 5.6 Simulação da etapa intermediária (produtos e resíduo)	125
TABELA 5.7 Simulação da etapa final (só produtos)	126
TABELA 5.8 Resultado da composição do biogás baseado na composição do substrato	132
TABELA 5.9 Balanço de Fluxos da Configuração Verde para $S=0,995$	146
TABELA 5.10 Balanço de Fluxos da Configuração Verde para $S=0,925$	147
TABELA 5.11 Balanço de Fluxos da Configuração Verde para $S=0,855$	148
TABELA 5.12 Balanço de Fluxos da Configuração Vermelha para $S=0,995$	153
TABELA 5.13 Balanço de Fluxos da Configuração Vermelha para $S=0,925$	154
TABELA 5.14 Balanço de Fluxos da Configuração Vermelha para $S=0,855$	154
TABELA 5.15 Balanço de Fluxos da Configuração Azul para $S=0,995$	159
TABELA 5.16 Balanço de Fluxos da Configuração Vermelha para $S=0,925$	160
TABELA 5.17 Balanço de Fluxos da Configuração Vermelha para $S=0,925$ ajuste 2	160
TABELA 5.18 Balanço de Fluxos da Configuração Vermelha para $S=0,925$ ajuste 3	161
TABELA 5.19 Balanço de Fluxos da Configuração Azul para $S=0,855$	161

TABELA 5.20	Balanço de Fluxos da Configuração Azul para $S=0,855$ ajuste 2	162
TABELA 5.21	Resumo comparativo para configurações Verde, Vermelha e Azul	163
TABELA 5.22	Balanço do Sistema Azul para $S=0,855$ limitando R_i a 80%	164
TABELA 5.15	Balanço de Fluxos da Configuração Azul para $S=0,995$	165
TABELA 5.23	Balanço de Fluxos da Configuração Azul para $S=0,995$ ajuste 1	165
TABELA 5.24	Balanço de Fluxos da Configuração Azul para $S=0,995$ ajuste 2	165
TABELA 5.25	Balanço de Fluxos da Configuração Azul para $S=0,995$ antes de novo ajuste	166
TABELA 5.26	Balanço de Fluxos da Configuração Azul para $S=0,995$ ajuste 3	166
TABELA 5.27	$S=0,995$ após ajuste “Solver”. Valores comparáveis a C.4	167
TABELA 5.28	$S=0,925$ antes de ajuste	168
TABELA 5.29	$S=0,925$ após ajuste. “Solver” não consegue ajuste	168
TABELA 5.30	$S=0,925$ após o ajuste manual	168
TABELA 5.31	Soluções do “Solver” para $S=0,925$ a partir de solução manual	169
TABELA 5.32	Valores de Balanço de fluxos para $S=0,855$ e R_1, R_2 e $R_3 = 1\%$	169
TABELA 5.33	Valores de Balanço de fluxos para $S=0,855$ ajuste manualmente	170
TABELA 5.34	Balanço de fluxos para $S=0,855$ após “Solver” com R_1, R_2 e $R_3 < 80\%$	170
TABELA A.1	Balanço de massa numa Usina de triagem e compostagem (convencional)	227
TABELA 5.1	Lista de variáveis estimadas e suas dimensões	284
TABELA 5.2	Matriz dimensional	284
TABELA 5.3	Matriz solução	285
TABELA D1	Comparação da eficiência de um sistema de depuração versus configuração	301
TABELA D2	Simulação da depuração, mesmos dados, diferente configuração	309
TABELA D3	Comparação de perda e pureza baseado em configuração e dados	314
TABELA D4	Comparação de perda e pureza indo de baixa para alta seletividade	315
TABELA D5	Taxas de Rejeito versus Seletividade para cada configuração	324
TABELA D6	Impureza residual, rejeito e perdas por configuração e seletividade	324
TABELA D7	Estrutura da planilha de cálculos dos sistemas de depuração	325
TABELA D8	Balanço de Fluxos da Configuração Azul para $S=0,925$	328

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

α	Massa em Sistema Massa/Mola
α	Indutância em Sistema Elétrico
β	Amortecimento em Sistema Massa/Mola
β	Resistência em Sistema Elétrico
χ	Elasticidade em Sistema Massa/Mola
χ	1/capacitância em Sistema Elétrico
a	Quantidade de contaminantes na alimentação
a	Usado como parâmetro ou dado
A	Aceite do depurador ou material depurado
AG21	Agenda 21
Alim.	Alimentação
A1, A2,	Células da planilha Excel
b	Usado como parâmetro ou dado
B1, B2, ..	Células da planilha Excel
C	Símbolo químico do átomo de Carbono
c	Usado como parâmetro ou dado
C1, C2,	Células da planilha Excel
Ca	Símbolo químico do Cálcio.
Ca	Concentração de contaminantes no Rejeito do Sistema de Depuração.
CC-GNU GPL	Siglas para significar Licenciamento de aplicativos em regime livre no Brasil
CEMPRE	Compromisso Empresarial com a Reciclagem
CESTEB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CH ₄	Fórmula química do Metano
CO ₂	Fórmula química do gás carbônico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Conc.	Concentração
d	Usado como parâmetro ou dado
D1, D2, ...	Células da planilha Excel
dep.	Depurador, equipamento para retirar contaminantes.
$\frac{dx}{dt}$	Velocidade em Sistema Massa/Mola

$\frac{dx}{dt}$	Corrente elétrica em Sistema Elétrico
$\frac{d^2x}{dt^2}$	Aceleração em Sistema Massa/Mola
$\frac{d^2x}{dt^2}$	Taxa de corrente em Sistema Elétrico
e	Usado como parâmetro ou dado
E1, E2, ...	Células da planilha Excel
E_1, E_2, E_3	Taxas de Eficiência de remoção de impurezas
E , Efic.	Eficiência de remoção de impurezas
EIA	Estudo de Impacto Ambiental, definido pela Resoluções 001/86 e 237/97
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
f	Usado como parâmetro ou dado
F	Alimentação do sistema de depuração
F1, F2, ...	Células da planilha Excel
$f(t)$	Força em Sistema Massa/Mola
$f(t)$	Voltagem em Sistema Elétrico
g	Usado como parâmetro ou dado
G1, G2, ...	Células da planilha Excel
CC-GNU GPL	Siglas para licenciamento de aplicativos em regime livre no Brasil
h	Usado como parâmetro ou dado
H	Símbolo químico do Hidrogênio
H1, H2, ...	Células da planilha Excel
i	Usado como parâmetro ou dado
I1, I2, ...	Células da planilha Excel
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis
J1, J2, ...	Células da planilha Excel
K	Símbolo químico do Potássio
K1, K2, ...	Células da planilha Excel
L1, L2, ..	Células da planilha Excel
M1, M2, ...	Células da planilha Excel
Mg	Símbolo químico do Magnésio
MO	Matéria Orgânica
MS	Microsoft
N	Símbolo químico do Nitrogênio
N/A	Não acessível
N/D	Não disponível
O	Símbolo químico do Oxigênio

OCC	“Old corrugated carton” = aparas de papelão ondulado
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Símbolo químico do Fósforo
PETROBRÁS	Petróleo Brasileiro
<i>prim.</i>	Primário
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
<i>R</i>	Taxa de Rejeito
<i>r</i>	Rejeito do sistema de depuração
RAP	Relatório Ambiental Preliminar
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental Ambiental
RSU	Resíduo Sólido Urbano
S	Símbolo químico do Enxofre
<i>S</i>	Seletividade de um depurador
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente de Estado
SEMAD	Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
ST	Sólidos Totais
$T_1, T_2, \dots T_i$	Fluxo total pela linha (1, 2, ...i)
<i>x</i>	Usados como incógnitas
$x(t)$	Deslocamento em Sistema Massa/Mola
$x(t)$	Carga elétrica em Sistema Elétrico
<i>y</i>	Usados como incógnitas
<i>z</i>	Usados como incógnitas

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	21
2 OBJETIVOS.....	23
2.1 Objetivo geral.....	23
2.2 Objetivos específicos.....	23
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
3.1 Origem do RSU.....	25
3.2 Legislação sobre ambiente, saúde e segurança pública para RSU.....	27
3.2.1 Leis Federais.....	27
3.2.2 Leis Estaduais.....	32
3.2.3 Leis Municipais.....	33
3.3 Gerenciamento do resíduo sólido urbano e problemas pertinentes.....	34
3.3.1 Gerenciamento da fração inorgânica de resíduo sólido urbano.....	37
3.3.2 Gerenciamento da fração orgânica de resíduo sólido urbano.....	37
3.3.3 Principais contaminantes contidos na fração orgânica do RSU.....	38
3.3.4 Alternativas de tratamento do RSU.....	40
3.3.5 Gerenciamento integrado do RSU.....	41
3.3.6 Composto do RSU	42
3.4 Relevância ambiental, econômica, social e sanitária do manejo apropriado do RSU.....	45
3.4.1 Problema de manejo de RSU como oportunidade de negócios.....	49
3.4.2 Ações propostas para o resíduo gerado no Brasil.....	55
3.4.2.1 Educação Ambiental.....	56
3.4.2.2 Implementação de Programas de Coleta Seletiva para Reciclagem.....	58
3.4.2.3 Técnicas de disposição final de resíduo sólido urbano.....	61
3.4.2.4 Disposição final do resíduo adequada à realidade do município.....	66
3.4.2.5 Processo integrado AAA de tratamento (ACUÑA e AGUIRRE, 1999b).....	66

3.4.3	Impacto estratégico do projeto integrado ACUÑA e AGUIRRE.....	70
3.4.4	Impactos ambientais pelo sistema AAA (ACUÑA e AGUIRRE, 1999a e 1999b).....	73
3.5	Modelagem e Simulação por Computador.....	75
3.5.1	Modelagem Matemática.....	78
3.5.1.1	Modelos e Simulação de Desempenho.....	82
3.5.1.2	Benefícios da simulação por computador.....	85
3.5.1.3	Simulação computacional prática.....	86
3.5.2	Processo iterativo.....	88
3.5.3	O Processo iterativo de cálculo.....	88
3.5.4	Validação do programa computacional.....	89
3.5.5	Planilha Excel.....	90
3.6	Modelos aplicados ao manejo de RSU.....	91
4	METODOLOGIA.....	93
4.1	Desenvolvimento da ferramenta computacional de simulação.....	94
4.1.1	Tratamento matemático.....	96
4.1.2	Análise Dimensional.....	96
4.1.3	Preparação da matriz de dados.....	97
4.1.4	Construção da matriz de dados.....	98
4.1.5	Opções do Sistema de tratamento de RSU.....	99
4.1.6	Avaliação do desempenho do sistema de tratamento adotado.....	100
4.2	Metodologia para a construção da estrutura do modelo de simulação.....	101
4.2.1	Simulação da operação do sistema do cálculo do balanço de material e energia.....	103
4.2.2	Aspectos econômicos.....	106
4.2.3	Viabilidade ambiental.....	108
4.3	Realizar a simulação.....	108
4.4	Aplicação prática da ferramenta de simulação.....	109
4.4.1	Como usar a ferramenta de simulação.....	110
4.4.2	Instruções de uso.....	111
4.4.3	Como funciona.....	112
4.5	Validação.....	112
4.6	“Solver”.....	113
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	115
5.1	Premissas básicas para a construção do modelo.....	115
5.2	Filosofia aplicada na construção do modelo.....	116
5.3	Análise Dimensional.....	119
5.4	Simulação do potencial econômico de uma instalação AAA de tratamento de RSU	122
5.4.1	Simulação da conversão de RSU em produtos comerciais	122

5.4.2	Dados internos e suposições básicas	123
5.5	Explicação de como o modelo foi construído até o presente.....	127
5.5.1	Construção da primeira linha (opção0) da TABELA 5.8	132
5.5.2	Construção das TABELAS 5.5 a 5.7.....	134
5.5.3	Valores da coluna de concentração na TABELAS 5.5 a 5.7.....	135
5.5.4	Valores da coluna de fluxo na TABELAS 5.5 a 5.7.....	136
5.5.5	Valores da coluna de preço na TABELAS 5.5 a 5.7.....	136
5.5.6	Valores da coluna de faturamento na TABELAS 5.5 a 5.7.....	137
5.5.7	Valores da coluna de pureza na TABELAS 5.5 a 5.7.....	138
5.6.	Simulação do desempenho de sistemas de depuração.....	138
5.6.1	Seleção da melhor configuração de um sistema de depuração.....	139
5.6.2	Simulação de sistemas de depuração.....	140
5.6.2.1	Configuração Verde.....	142
5.6.2.2	Configuração Vermelha.....	148
5.6.2.3	Configuração Azul.....	155
5.7	Ferramenta poderosa para simulação do desempenho do sistema AAA.....	172
5.8	Benefícios do sistema integrado AAA.....	172
5.8.1	Vantagens esperadas do sistema AAA.....	173
5.8.2	Vantagens esperadas para o projeto pelo uso da simulação.....	174
5.8.3	Vantagens esperadas da construção da ferramenta de simulação.....	176
5.9	Modelo de Simulação	177
5.9.1	Limitações do Modelo.....	181
5.9.2	Pontos fracos do modelo de simulação do desempenho.....	182
5.9.3	Pontos fortes do modelo de simulação do desempenho.....	183
5.9.4	Aplicações.....	183
6	CONCLUSÕES.....	187
7	SUGESTÕES e RECOMENDAÇÕES.....	189
	REFERÊNCIAS	191
	GLOSSÁRIO	205
	APÊNDICES.....	215
	APÊNDICE A Imagens do Modelo de Simulação de Desempenho do Sistema AAA.....	217
	APÊNDICE A1 Planilha “Info. Tecnológica”.....	219
	APÊNDICE A2 Planilha “Glossário”.....	229
	APÊNDICE A3 Planilha “Dados”	233
	APÊNDICE A4 Planilha “Trat. Dos Dados”.....	241
	APÊNDICE A5 Planilha “Report”	245
	APÊNDICE A6 Planilha “Legal”	247

APÊNDICE A7 Planilha “Licenciamento”	251
APÊNDICE A8 Planilha “Faturamento”	259
APÊNDICE A9 Planilha “Digestão”	263
APÊNDICE A10 Planilha “Co-geração”	267
APÊNDICE A11 Planilha “Depuração2”	269
APÊNDICE A12 Planilha “Econômico”	273
APÊNDICE A13 Planilha “Análise de Custos”	275
APÊNDICE A14 Planilha “Ambiental”	279
APÊNDICE A15 Planilha “Desagregador”	283
APÊNDICE B - Programa de Simulação do desempenho do Sistema AAA – CD Rom.....	287
APÊNDICE C - Determinação prática da Seletividade.....	291
APÊNDICE D. Planilhas Depuração e Depuração 1.....	295
APÊNDICE D1. Planilha Depuração – Seleção da melhor configuração de um sistema de depuração.....	299
APÊNDICE D1.1 Construção da TABELA D1.....	300
APÊNDICE D1.2 Simplificação do modelo de depuração.....	303
APÊNDICE D1.3 Cálculo de configurações diferentes, na mesma planilha.....	304
APÊNDICE D1.4 Cálculo do balanço de fluxos do sistema de depuração.....	304
APÊNDICE D1.5 Simulação da depuração para comparar eficiências versus configuração e dados.....	308
APÊNDICE D1.6 Simulação da depuração para comparar pureza e perdas versus configuração e dados.....	313
APÊNDICE D1.7 Como foram calculadas as colunas de perda e pureza das TABELAS B3 e B4.....	316
APÊNDICE D2. Planilha Depuração 1 – Desempenho de um sistema de depuração versus alimentação,	319
APÊNDICE D2.1 Dados para o cálculo e ajustes das taxas de rejeito visando a satisfazer à pureza.....	323
APÊNDICE D2.2 Como foi construída a TABELA B.7.....	326
APÊNDICE D2.3 Otimização das taxas de rejeitos.....	327
APÊNDICE D2.4 Conclusão.....	328
ANEXOS.....	331
ANEXO A. “Solver”, Caixa de diálogo Parâmetros do “Solver” e Caixa de diálogo Opções do “Solver”.....	333
ANEXO A1. “Solver”.....	335
ANEXO A.1.1 Como o “Solver” funciona.....	335
ANEXO A.1.2 Restrições.....	336
ANEXO A.1.3 Bases teóricas.....	336
ANEXO A.1.4 Algoritmo e métodos usados pelo Solver.....	338
ANEXO A.2. Caixa de diálogo Parâmetros do “Solver”	339
ANEXO A.2.1 Definir célula de destino.....	341
ANEXO A.2.2 Igual a.....	341
ANEXO A.2.3 Variando células.....	342
ANEXO A.2.4 Estimar.....	342

ANEXO A.2.5 Submeter às restrições	342
ANEXO A.2.6 Adicionar	343
ANEXO A.2.7 Alterar	343
ANEXO A.2.8 Excluir	343
ANEXO A.2.9 Resolver	343
ANEXO A.2.10 Fechar	344
ANEXO A.2.11 Opções	344
ANEXO A.2.12 Redefinir tudo	344
ANEXO A.3 Caixa de diálogo Opções do “Solver”	345
ANEXO A.3.1 Tempo máximo	347
ANEXO A.3.2 Iterações	348
ANEXO A.3.3 Precisão	348
ANEXO A.3.4 Tolerância	348
ANEXO A.3.5 Convergência	349
ANEXO A.3.6 Presumir modelo linear	349
ANEXO A.3.7 Mostrar resultados de iteração	349
ANEXO A.3.8 Usar escala automática	350
ANEXO A.3.9 Presumir não negativo	350
ANEXO A.3.10 Estimativas	350
ANEXO A.3.11 Tangente	351
ANEXO A.3.12 Quadrática	351
ANEXO A.3.13 Derivadas	351
ANEXO A.3.14 Adiante	351
ANEXO A.3.15 Central	352
ANEXO A.3.16 Pesquisar	352
ANEXO A.3.17 Newton	352
ANEXO A.3.18 Conjugado	353
ANEXO A.3.19 Carregar modelo	353
ANEXO A.3.20 Salvar modelo	353

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, pela sua extensão e diversidade, apresenta enorme potencial de oportunidades, especialmente nas áreas energética e agrícola. Para a prospecção dos diferentes cenários possíveis, falta uma ferramenta prática, atualizada, que permita encontrar os determinantes técnicos, legais, ambientais, políticos, sócio-culturais e outros para projetos que visem à solução prática de alguns graves problemas que afligem, em forma crescente, à sociedade, equilibrando eficiência econômica, equidade social e sustentabilidade do ambiente.

Em saneamento, o problema do destino final do resíduo sólido urbano (RSU) deve ser solucionado de forma efetiva e eficaz. Grande parte dos municípios brasileiros não cumpre com as disposições legais. Apesar dos esforços em aproveitar a fração inorgânica “reciclável”, persiste o grande problema do destino adequado das demais. A idéia de reciclar o resíduo, de forma a resolver o problema do destino final do resíduo sólido urbano, requer implementação adequada para sucesso. Uma forma proposta é o Sistema Integral AAA (pág.66 a 75 e 219 a 222) de Tratamento de Resíduo Sólido Urbano (ACUÑA e AGUIRRE, 1999b).

Há necessidade de uma ferramenta que permita entender como funciona e quais seriam as vantagens, ao comparar diversos projetos, tendo o ponto de vista da Justiça Social, a Eficiência Econômica e o Equilíbrio Ambiental, para satisfazer as necessidades desta e das futuras gerações. Neste trabalho, pretende-se a construção de uma ferramenta que permita isso, através da simulação inicial do desempenho do sistema AAA de tratamento de RSU.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Construir uma ferramenta básica, do tipo modelagem matemática, para a simulação do desempenho do Sistema AAA de Tratamento de RSU, que permita otimização de alternativas.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- elaborar o modelo para simular o desempenho do sistema AAA projetado por Acuña e Aguirre (1999b), incluindo o estudo, a seleção e a comparação de diferentes opções; e,
- estruturar o modelo, em forma flexível, para permitir sua aplicação a outros sistemas de tratamento de RSU, para analisar seu grau de sustentabilidade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi subdividida considerando-se a origem do RSU; a legislação ambiental, sobre saúde e segurança pública; o gerenciamento do RSU; a relevância ambiental, econômica, social e sanitária do manejo apropriado do RSU; a modelagem para simulação computacional; e, modelos aplicados ao RSU.

3.1 Origem do resíduo sólido urbano

Toda atividade humana produz resíduo sólido, líquido e gasoso, numa escala que tem se multiplicado várias vezes no último século. Desde o século XVIII, a devastação dos recursos naturais e a urbanização poluidora que se seguiu à Revolução Industrial, aliado ao desenvolvimento tecnológico, deram origem a diversos resíduos, com as novas atividades do homem, que passou a utilizar os mais variados materiais em seus hábitos de consumo. O crescente processo de industrialização dos alimentos e a incorporação de novos hábitos alimentares, neste contexto, passaram a gerar cada vez mais embalagens, com diferente tipo de material, principalmente, plástico, metal e alumínio. A mudança de hábitos culturais das sociedades modernas, também, trouxe um aumento na quantidade de resíduo sólido, a maioria não-biodegradável ou de degradação extremamente lenta (INSTITUTO GEA, 2004). Para garantir as condições de existência das futuras gerações, sem deixar de atender às necessidades

das atuais (filosofia sustentável, várias fontes, por exemplo PETROBRAS, 2001), deve haver um compromisso, entre os setores industriais e a sociedade, em relação às práticas de produção e de consumo.

Mas as políticas públicas, em geral, voltadas ao tratamento do RSU têm se restringido à coleta e ao transporte, sem a preocupação quanto à forma e ao tratamento final de resíduo sólido gerado. Desenvolvimento social, garantia de saúde e bem-estar das populações estão ligados diretamente ao Saneamento Ambiental. Sem uma política de gerenciamento integrado de resíduo sólido, não será possível evitar a deterioração do ambiente, que já alcança níveis extremamente preocupantes (várias fontes, por exemplo, GOVERNO ..., 2004).

Grande parte do problema da degradação ambiental é ocasionada pelo tratamento inadequado do resíduo sólido nos centros urbanos, especialmente a sua disposição final. Aspectos fundamentais como: acondicionamento, coleta, transporte e destinação final do resíduo sólido urbano estão ligados diretamente ao saneamento ambiental e devem ser implementados através de um gerenciamento integrado do resíduo sólido, para a obtenção de resultados positivos em termos de saúde pública e qualidade de vida (GOVERNO ..., 2004).

As quantidades de RSU geradas diariamente no Brasil oscilam entre 120 mil e 130 mil toneladas por dia (CALDERONI, 2002; NOVAES, 2004). No mundo, chega aos 10 milhões de toneladas por dia.

Segundo Washington Novaes (NOVAES, 2004), é muito difícil mexer com o “lixo”, pois é um dos temas mais polêmicos da área ambiental, envolvendo muitos interesses financeiros e políticos, o que dificulta a implantação de sistemas eficientes de coleta e reciclagem, pelo menos no Brasil.

3.2 Legislação sobre ambiente, saúde e segurança pública para RSU

Obviamente, as leis e os regulamentos vigentes pertinentes devem ser cumpridos (ZAKIA, 2002), incluso os tratados ratificados pelo Brasil.

As leis sobre ambiente, saúde e segurança pública para RSU são apresentadas nas subseções 3.2.1, para as leis federais, 3.2.2, para as leis estaduais (Estado de São Paulo) e 3.2.3, para as leis municipais, que dependem do município considerado.

3.2.1 Leis Federais

As leis federais, seguem a redação original nas partes pertinentes a RSU e ambiente. Elas são:

- ♦ **Constituição Federal** de 1988 (BRASIL, 2003): (artigo 225, § 3º); prevê três tipos de responsabilidade: administrativa, criminal e civil;
- ♦ **Lei Federal nº 6.938, de 31 agosto 81** (BRASIL, 2002a): Política Nacional do Meio Ambiente, complementada pelas Leis nº 7.804 de 18/07/89 (BRASIL, 2004b) e nº 8.028, de 12/04/90 (BRASIL, 2004d). Alguns artigos têm interesse geral: no Art. 1º estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e institui o Cadastro de Defesa Ambiental. (redação dada pela Lei nº 8.028, de 12.04.90, BRASIL, 2004d); no Art. 2º define: A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana. Também, define (Art.3º):

- meio ambiente, como sendo o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas;
 - degradação da qualidade ambiental é a alteração adversa das características do meio ambiente;
 - poluição é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:
 - prejudiquem à saúde, à segurança e ao bem-estar da população;
 - criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
 - afetem desfavoravelmente a biota;
 - afetem às condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e,
 - lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;
 - poluidor é a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental; e,
 - recursos ambientais são: a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo, os elementos da biosfera, a fauna e a flora.
- (Redação dada pela Lei nº 7.804, de 18.07.89, BRASIL, 2004b);

O Art. 4º estabelece que a Política Nacional do Meio Ambiente visará a sete objetivos:

- à compatibilização do desenvolvimento econômico social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico;
- à definição de áreas prioritárias de ação governamental relativa à qualidade e ao equilíbrio ecológico, atendendo aos interesses da União, dos Estados, do Distrito Federal, dos Territórios e dos Municípios;
- ao estabelecimento de critérios e padrões da qualidade ambiental e de normas relativas ao uso e manejo de recursos ambientais;
- ao desenvolvimento de pesquisas e de tecnologias nacionais orientadas para o uso racional de recursos ambientais;
- à difusão de tecnologias de manejo do meio ambiente, à divulgação de dados e informações ambientais e à formação de uma consciência pública sobre a necessidade de preservação da qualidade ambiental e do equilíbrio ecológico;

- à preservação e restauração dos recursos ambientais com vistas à sua utilização racional e disponibilidade permanente, concorrendo para a manutenção do equilíbrio ecológico propício à vida; e,
 - à imposição, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados, e ao usuário, de contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos;
- ♦ **Lei nº 7.347, 24 de julho de 1985** (BRASIL, 2002b): disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico e dá outras providências. Nada é explícito em relação ao resíduo sólido urbano, embora esteja implícito;
 - ♦ **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998– Lei de Crimes Ambientais** (BRASIL, 2002f): a lei estabelece a responsabilidade e penas por danos ao ambiente. Nada é explícito em relação ao resíduo sólido urbano, embora esteja implícito;
 - ♦ **Decreto nº 97.632, de 10/04/89** (BRASIL, 2002c): regulamenta o artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938 de 31/08/81 (BRASIL, 2003a);
 - ♦ **Decreto nº 99.274, de 06/07/90** (BRASIL, 2002d): regulamenta a Lei nº 6.902, de 27/04/81 (BRASIL, 2004a) e nº 6.938, de 31/08/81 (BRASIL 2002a), dispondo sobre criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção;
 - ♦ **Decreto nº 407, de 27 de dezembro de 1991** (BRASIL, 2002e): regulamenta o Fundo de Defesa de Direitos Difusos, de que tratam o artigo 13º da Lei nº 7.347, 24 de julho de 1985 (BRASIL, 2002b), a Lei nº 7.853, de 24 de outubro de 1989 (BRASIL, 2004c), os artigos 570, 990 e 1000, § único da Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990 (BRASIL, 2004e), e artigo 120, § 3º, da Lei nº 8.158, de 08 de janeiro de 1991 (BRASIL, 2004f);
 - ♦ **Decreto nº 3.179 de 21/09/99** (BRASIL, 2002g): dispõe sobre a especificação das sanções aplicáveis às condutas e atividades lesivas ao ambiente e dá outras providências. De interesse, a seção III (Sanções Aplicáveis à Poluição e a Outras Infrações Ambientais); também, o Art.41: causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora; tornem uma área, urbana ou rural, imprópria para ocupação humana; cause poluição atmosférica que provoque a retirada, ainda que momentânea, dos habitantes das áreas afetadas, ou que cause

danos diretos à saúde da população; causar poluição hídrica que torne necessária a interrupção do abastecimento público de água de uma comunidade; dificultar ou impedir o uso público das praias; lançar resíduo sólido, líquido ou gasoso ou detritos, óleos ou substâncias oleosas em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos; e, deixar de adotar, quando assim o exigir a autoridade competente, medidas de precaução em caso de risco de dano ambiental grave ou irreversível. O Art. 43: produzir, processar, embalar, importar, exportar, comercializar, fornecer, transportar, armazenar, guardar, ter em depósito ou usar produto ou substância tóxica, perigosa ou nociva à saúde humana ou ao ambiente, em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou em seus regulamentos. Art. 44: construir, reformar, ampliar, instalar ou fazer funcionar, em qualquer parte do território nacional, estabelecimentos, obras ou serviços potencialmente poluidores, sem licença ou autorização dos órgãos ambientais competentes, ou contrariando as normas legais e regulamentos pertinentes. Art. 45: disseminar doença ou praga ou espécies que possam causar dano à agricultura, à pecuária, à fauna, à flora ou aos ecossistemas. As multas podem chegar até R\$ 50.000.000,00 e serem diárias;

♦ **Resolução CONAMA nº 001, de 23 janeiro 86** (MMA, 2004a) obrigatoriedade de apresentação de **Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)** para o licenciamento de atividades consideradas modificadoras do ambiente tais como... Artigo 2º...X - Aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos ou perigosos;

♦ **Resolução CONAMA nº 006, de 1986** (MMA, 2004b): publicação do pedido de licenciamento;

♦ **Resolução CONAMA nº 020, de 18 junho 86** (MMA, 2004c): classes e qualidades de água;

♦ **Resolução CONAMA nº 005, de 15 junho 88** (MMA, 2004d): obrigatoriedade de licenciamento de obras de saneamento. No inciso IV (do Artigo 3º) – Em sistemas de Limpeza Urbana;

♦ **Resolução CONAMA nº 003, de 28 junho 90** (MMA, 2004e): Qualidade do ar;

♦ **Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997** (MMA, 2004f): Art. 1º -Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

- **Licenciamento Ambiental:** procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente

poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso;

- **Licença Ambiental:** ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente, estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental;
- **Estudos Ambientais:** são todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: **relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco;** e,
- **Impacto Ambiental Regional:** é todo e qualquer impacto ambiental que afete diretamente (área de influência direta do projeto), no todo ou em parte, o território de dois ou mais Estados;

Art. 2º - a localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.

§ 1º - Estão sujeitos ao *licenciamento ambiental* os empreendimentos e as atividades relacionadas no Anexo 1, onde inclui-se o *tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos*, inclusive aqueles provenientes de **fossas**.

♦ **Resolução CONAMA nº 316, de 29 de outubro de 2002.** (MMA, 2004g) procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, para que não apresentem resíduos deletérios à saúde, tanto nos efluentes sólidos, gasosos, como nos líquidos, durante o processo;

- ♦ **Resolução CONAMA nº 308, de 21 de março de 2002** (MMA, 2004h)- Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte;
- ♦ **Portaria MINTER nº 53, de 01/03/79:** (MINTER, 1979) **normas ao projeto específico de tratamento e disposição de resíduos sólidos**, e fiscalização de sua implantação, operação e manutenção.

Pode-se concluir, que o Projeto de Tratamento de RSU precisa de **Licenciamento Ambiental**, de **Estudo de Impacto Ambiental** (para até 30 t/d ou 30000 habitantes pode ser omitido, se a autoridade julgar desnecessário), de **Relatório de Impacto ao Meio Ambiente**, de **plano e projeto de controle ambiental**, de **relatório ambiental preliminar**, de **diagnóstico ambiental**, de **plano de manejo**, de **plano de recuperação de área degradada** e de **análise preliminar de risco**.

3.2.2 Leis estaduais

Para o Estado de São Paulo, a implantação de manejo de resíduo sólido está condicionada à aprovação pela Secretaria do Estado do Meio Ambiente de São Paulo, segundo resolução CONAMA nº 01/86 (MMA, 2004a) e Deliberação CONSEMA nº 20/90 (SÃO PAULO, 2004f), além da obtenção das licenças de instalação e funcionamento junto à CESTEB. Assim, as leis estaduais relacionadas a resíduos e ambiente são:

- ♦ **Constituição do Estado de São Paulo**, (SÃO PAULO, 2004b). Cap IV – Do Meio Ambiente, dos Recursos Naturais e do Saneamento, artigos 191 a 216;
- ♦ **Lei Estado de São Paulo nº 7.750/92.** (SÃO PAULO, 2004c). Dispõe sobre Política de Saneamento;
- ♦ **Lei Estado de São Paulo nº 9.509/97:** (SÃO PAULO, 2004e). Política Estadual do Meio Ambiente, fins e mecanismos de formulação e aplicação;

- ♦ **Decreto Estadual nº 8.468/76:** (SÃO PAULO, 2004a). aprova Regulamento da Lei nº 997, de 31/05/76 – Prevenção e Controle da Poluição do Meio Ambiente;
- ♦ **Decreto Estadual nº 40.046/95:** (SÃO PAULO, 2004d). – altera Decreto nº 30.555, 03/10/89 e reorganiza e regulamenta a Secretaria do Meio Ambiente;
- ♦ **Resolução SMA nº 42, de 29/12/94:** (SMA, 2004a) todo licenciamento ambiental (independentemente do porte do empreendimento) deve ser iniciado com a apresentação de um **Relatório Ambiental Preliminar (RAP)**, que se constitui num anteprojeto, com fundamentação técnica e legal para as alternativas tecnológicas e locacionais adotadas. Estabelece procedimentos para análise de **Estudo de Impacto Ambiental (EIA)** e **Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)**;
- ♦ **Resolução SMA nº 35/96:** (SMA, 2004b). Balcão Único para o Licenciamento ambiental na Região Metropolitana de São Paulo;
- ♦ **Resolução SMA nº 5/97:** (SMA, 2004c). compromisso de Ajustamento de Conduta Ambiental; e,
- ♦ **Resolução SMA nº 11/98:** (SMA, 2004d) reunião pública para análise de relatório ambiental preliminar e demais estudos de impacto ambiental, dispostos na Resolução SMA 42/94 (SMA,2004a).

Da pesquisa legal, pode-se concluir que, mesmo não sendo mencionado em forma explícita, na legislação, não se fica eximido de responsabilidade legal nem se fica isento da tramitação, pagamento de taxas e fiscalização correspondentes para o tratamento ou pré-tratamento do resíduo sólido urbano.

3.2.3 Leis Municipais

As leis municipais são específicas do município em que se aplique o projeto.

Devem ser buscadas no município em questão. Por exemplo, para a escolha do local, se deve consultar a lei de zoneamento municipal.

3.3 Gerenciamento do resíduo sólido urbano e problemas pertinentes

O gerenciamento do resíduo sólido urbano tem aspectos legais, ambientais, de saúde e de segurança pública, assim como, também, econômicos, além de outros aspectos mencionados nos manuais de gerenciamento de resíduo sólido urbano (PAVONI, 1975; ROBINSON, 1986; KREITH, 1994; PEREIRA NETO, 1996). Muitos aspectos, também, têm sido objeto de preocupação de diversos setores, especialmente, saúde e segurança pública, corpo legislativo (com muitas Leis, Decretos Leis, Decretos, Medidas Provisórias, Portarias e Resoluções, que regulam a proteção das florestas, fauna e flora, controle da pesca, uso de pesticidas na Agricultura, estabelecimento de áreas de proteção ambiental, estabelecimento de atividades poluidoras, controle da poluição, etc.) e outros.

Na natureza, observa-se ciclos de transformação, onde tudo é aproveitado (ORTEGA, 2004). Mas a quantidade de resíduo sólido urbano produzida aumentou de tal maneira, nos últimos 50 anos, que não é mais possível esperar pelo processo natural de degradação, pois, há uma acumulação crescente de resíduo nos aterros sanitários e no ambiente, comprometendo o futuro, a curto prazo. É urgente que se encontre solução para este problema (vários autores, por exemplo, IPT-CEMPRE, 1998; IPT-CEMPRE, 2004). Entre as soluções propostas, está o aproveitamento do material presente no RSU, mediante reciclagem, que tem gerenciamento diferenciado para a fração inorgânica e a orgânica.

A preocupação mundial com a mudança do clima da Terra e a poluição do ambiente culminou, progressivamente, na Rio 92, na Agenda 21Global (ONU, 2003), no Protocolo de Quioto e nos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (PETROBRAS, 2001) e teve sua

expressão, no Brasil, no projeto de lei relatado pelo ex-Senador Emerson Kapaz, onde os produtores seriam responsabilizados pelo destino final do resíduo sólido gerado a partir de seus produtos (RECICLÁVEIS, 2001). [Este projeto, agora, está sendo revisto].

Por outro lado, a revolução verde (BROWN, 2003), da década de 70, do século XX, também, tem produzido uma série de efeitos colaterais inesperados.

São efeitos colaterais:

- a. o excesso de fertilizantes aplicado ao solo migrou e poluiu as fontes de água subterrâneas e superficiais (FRENCH, 2002);
- b. poluição irreversível da água subterrânea;
- c. elevada quantidade de algas provocada por excesso de nutrientes na água superficial (FRENCH, 2002);
- d. desequilíbrio dos ecossistemas aquáticos pelo excesso de algas (FRENCH, 2002);
- e. redução de espécies em ecossistemas desequilibrados (FRENCH, 2002);
- f. problemas nos sistemas de abastecimento de água (GARDNER, 2002),
- g. entupimentos dos filtros das ETAs pelas algas;
- h. produção de halometanos e dioxinas com a pré-cloração nas ETAs;
- i. bioacumulação de produtos orgânicos persistentes altamente tóxicos na cadeia alimentar (McGINN, 2002);
- j. impossibilidade (em vários casos) de fornecer água potável dentro dos padrões de saúde pública, com nitratos e derivados orgânicos clorados acima dos limites permitidos; e,
- k. descontroles freqüentes pela limitação física da instalação e, em muitos casos, sem sistemas apropriados para separar todos os contaminantes, muitas vezes ignorados pela legislação.

Obviamente, o grande desafio para o século XXI é o aproveitamento, dentro da filosofia do desenvolvimento sustentável, do resíduo sólido urbano. Sob o ponto de vista econômico, este pode ser considerado como um recurso ocioso, renovável e disponível, com produção considerável e crescente (ACUÑA e AGUIRRE, 1999b).

A Agenda 21 Global (ONU, 2003) da Organização das Nações Unidas, através da sua Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, difundiu o conceito de Desenvolvimento Sustentável, com muitas versões. Para a PETROBRAS (2001), “desenvolvimento sustentável é aquele que permite à geração atual suprir as suas necessidades sem comprometer a capacitação das gerações futuras”. O modelo sustentável preconiza satisfazer às necessidades presentes sem comprometer os recursos necessários à satisfação das gerações futuras, buscando atividades que funcionem em harmonia com a natureza e promovendo, acima de tudo, a melhoria da qualidade de vida de toda a sociedade, conciliando métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica. A Agenda 21, aprovada pelos países das Nações Unidas, tem a função de servir como base para que cada país elabore e implemente sua própria Agenda 21 Nacional, compromisso, aliás, assumido por todos os signatários (179 países) durante a ECO-92. É um pacto ético entre os três principais setores da sociedade - governamental, civil e produtivo - com o futuro.

A Agenda 21 Brasileira (SEMAD, 2002) resume o esforço e participação de inúmeras lideranças e especialistas (perto de 40.000 pessoas) para o planejamento estratégico brasileiro. O processo de elaboração da Agenda 21 brasileira foi iniciado em 1997, com a instalação da Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável. Lançado pelo presidente Fernando Henrique Cardoso, em julho de 2002, o documento fortalece a posição internacional do Brasil na condução das políticas mundiais de desenvolvimento e, internamente, no planejamento e nas ações, sempre com o princípio norteador da redução das desigualdades sociais e melhoria da qualidade de vida do cidadão brasileiro. Paralelamente, existe a Agenda 21 popular (SEMAD, 2002), documento elaborado durante 5 anos, com participação representativa em todos os estados brasileiros para planejar estrategicamente formas de satisfazer aos acordos da ECO 92, no Rio de Janeiro.

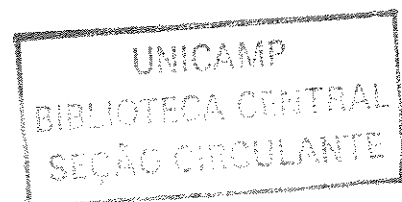
A implementação interna da Agenda 21 brasileira depende da criação de um fundo especial para seu financiamento e da reprogramação dos recursos públicos. Também, estão considerados incentivos fiscais, fundos de desenvolvimento regionais, construção de parcerias entre governo e sociedade, imposto verde, taxas ambientais e depósitos restituíveis (O ESTADO DE SÃO PAULO, 2002; GERENCIAMENTO AMBIENTAL, 2002).

3.3.1 Gerenciamento da fração inorgânica de resíduo sólido urbano

Para aproveitamento do material presente no RSU, é imperativa a coleta seletiva. Se não existir coleta seletiva, a primeira providência é estabelecê-la, em forma voluntária ou compulsória, com adequada informação do público, para que colem o material inorgânico ou reciclável, em sacos específicos e diferentes dos usados para material putrescível (FEHR, 2001). Dependendo do município, a coleta seletiva pode ser apenas em dois grupos (putrescível ou úmida e reciclável ou seca) ou o sistema mais caro de papéis e papelão, vidro, metais e plásticos, seja em forma de coleta pública ou entrega em locais específicos. O principal é que se evite a compactação e mistura com material putrescível (FEHR, 2001) para facilitar separação e reciclagem. Se o material não tem mercado, não vale a pena sua separação. As opções de separação dependem das condições locais.

3.3.2 Gerenciamento da fração orgânica de resíduo sólido urbano

Nos aterros, o resíduo orgânico é responsável pelas emissões gasosas que incrementam o efeito estufa (metano tem, acima de 21 vezes, maior efeito que o gás carbônico, (DE BAERE, 2000) e pela migração eventual de substâncias tóxicas e poluentes para os cursos de água que podem comprometer gravemente a qualidade da água potável, pela geração de halometanos, e concentrações, acima do admissível, de diversas outras substâncias de elevada periculosidade para a saúde pública.



O gerenciamento adequado da fração orgânica é muito importante, porque tem substâncias muito poluentes, cria instabilidade do solo nos aterros durante décadas, gera gases fedorentos e de elevado efeito estufa, etc.

Na Europa, nos últimos anos, considera-se a tecnologia anaeróbia madura e muitos novos projetos a aplicam para aproveitar o metano como combustível (DE BAERE, 2000), com o resíduo sendo destinado para aterro.

3.3.3 Principais contaminantes contidos na fração orgânica do resíduo sólido urbano

Dependendo do uso ou destino final do RSU, são as substâncias que se consideram como contaminantes. Para aproveitamento do composto, os principais contaminantes da fração orgânica de resíduo sólido urbano são fragmentos de vidro, pedra, bateria, vidro de medicamento, plástico, pesticidas, solvente, pintura, graxa, lubrificante, derivados de petróleo, microrganismos patogênicos e, até, resíduo radiativo proveniente de hospitais e outros. Há uma grande quantidade de contaminantes potenciais no resíduo orgânico. Sua presença no resíduo sólido urbano dependerá das indústrias, comércio e unidades de saúde do município.

Lima e Pereira Neto são freqüentemente citados, por exemplo Lima (1995) e Pereira Neto (1996), mas seus trabalhos não contêm informações sobre algum sistema capaz de garantir ausência de impurezas no composto. Não são mencionadas, também, eficiências de depuração na peneiração (via seca).

Pavan, Battistoni e Mata-Alvarez (2000) obtiveram 45% de material volátil na fração orgânica do resíduo, obtida por separação mecânica, mas, o composto produzido foi utilizado, somente, como cobertura em aterros sanitários, (devido, indubitavelmente, à precaução pela eventual presença de contaminantes).

Visitas às usinas de compostagem (por exemplo COMLURB, RJ), também, não permitiram conhecer nenhum equipamento efetivo na separação dos contaminantes da matéria orgânica. Até agora, não se tem notícia de avaliações das eficiências dos equipamentos ali utilizados.

As visitas a agricultores (por exemplo, fazenda em Itapeva-SP), que testaram o composto obtido em usinas de compostagem existentes, permitiram verificar a grande insatisfação daqueles, porque o composto que recebiam, além de ter elevado teor de umidade (implicando em alto custo de transporte), poluía visualmente a área em que foi aplicado, pela alta quantidade de fragmentos de vidro, lata, pedra, plástico e outras impurezas presentes no composto aplicado.

O **agricultor** Manoel dos Santos, de Arujá, costuma usar o pré-composto da Usina de Vila Leopoldina em sua plantação de hortaliças. "Todo dia eu **encontro lixo hospitalar**, tipo agulhas e seringas, no **adubo que uso na lavoura**." (GUIMARÃES e GONZALES, 2004).

Existem muitos palestrantes, por exemplo professor Arlindo Philippi Júnior, da Universidade de São Paulo; professor Armando Borges de Castilho, da Universidade Federal de Santa Catarina; professor José Fernando Jucá, da Universidade Federal de Pernambuco (CARDOSO, 2003) que recomendam o aproveitamento como adubo do composto orgânico a partir do resíduo sólido urbano.

Os três palestrantes ressaltaram, ainda, que a sociedade brasileira precisa se conscientizar que lixo urbano não é resto e quase tudo pode ser economicamente reaproveitado. O material orgânico pode virar adubo e a biomassa pode gerar energia elétrica. Papel, vidro, plástico e alumínio, quando reciclados, voltam a circular na forma de novos produtos. É a comprovação da velha máxima científica de Lavoisier de que nada se perde, tudo se transforma, ainda mais se há tecnologia para tanto. (CARDOSO, 2003).

Nada é mencionado no artigo de Cardoso (2003) sobre o perigo potencial de bioacumulação e concentração na cadeia alimentar, citados por McGinn (2002) de poluentes perigosos.

3.3.4 Alternativas de tratamento do RSU

O Brasil, pela sua tradição agrícola, teve a paisagem do seu quadro físico natural, radicalmente alterada pela frente de ocupação pioneira e agrícola. Os projetos de colonização, de natureza pública e privada, fizeram, e fazem, do uso dos recursos naturais (solo, hídricos, fauna, flora, minerais) do país uma prática contínua e a cada dia mais acelerada. Construir novos paradigmas e reverter este quadro de exaurimento de seus recursos é tarefa fundamental para o sucesso das ações das políticas públicas no contexto de sua abrangência ambiental, procurando conciliar, de maneira transparente e democrática, a dinâmica dos interesses difusos para uma convergência rumo à reconstrução do país, em seu contexto ambiental, possibilitando assegurar um exemplo de relações entre os vários setores, em consonância com a conservação e preservação de seu ambiente. A Política Federal de resíduo deve visar a, principalmente, a eliminação de 100% dos lixões no Brasil, através da convocação de toda sociedade, objetivando: mudança de atitude, hábitos de consumo, combate ao desperdício, incentivo a reutilização, reaproveitamento dos materiais potencialmente recicláveis através da reciclagem (muitos autores, focando somente a situação local, por exemplo GOVERNO ..., 2004, para o Estado de Paraná).

Face à falta de efetividade das ações de planejamento no processo de urbanização dos modelos de consumo implantados pela sociedade moderna, à elevação na geração de resíduo e considerando a necessidade de sua devida adequação foi desenvolvido o projeto do Sistema Integral AAA de Tratamento de Resíduo Sólido (ACUÑA e AGUIRRE, 1999b), com adequada flexibilidade para aplicação em qualquer município, seja grande ou pequeno e projetado segundo a filosofia de sistema sustentável, tanto no aspecto econômico, como também social e ambiental.

As características principais do Sistema Integral AAA de tratamento de resíduo sólido estão apresentadas nos itens 3.4.2.5, 3.4.3 e 3.4.4 (pág.66 a 75) e Apêndice A (pág.219 a 222) e as vantagens do Sistema Integral AAA estão apresentadas no item 5.8.1 (pág.173).

3.3.5 Gerenciamento Integrado do RSU

O Manual de Gerenciamento Integrado (MONTEIRO et alii, 2004) detalha uma metodologia. Através do gerenciamento integrado do resíduo sólido, pode-se satisfazer ao artigo 225 da Constituição da República Federativa do Brasil, que estabelece:

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações...” (BRASIL, 2003).

Para bem atuar sobre os problemas do resíduo sólido é necessário que, além da formulação da sua política, exista um programa de abordagem sistemática, que contemple ações que possibilitem a sua efetiva implementação no contexto da realidade da Federação, do Estado e a participação efetiva do município e agentes responsáveis da sociedade.

A participação integrada **Estado/Município**, na implementação de uma política para o gerenciamento integrado do resíduo sólido é o principal alicerce para a obtenção de resultados positivos, gerando como consequência imediata um respeito ao ambiente e à preservação da saúde e bem estar da população, pois, segundo Organização Mundial da Saúde, define-se como *“saúde”* *“o estado de completo bem estar físico , mental e social”* (OMS, 2004) e, não apenas, a ausência de doenças ou enfermidades.

Com esta integralização, certamente, se atingem os fundamentos necessários para cumprir os dispositivos descritos na **Lei de Crimes Ambientais, 9605/98** (BRASIL, 2002f),

ferramenta da cidadania, instrumento a favor da qualidade de vida de todos e das futuras gerações.

3.3.6 Composto do RSU

O interesse na produção de energia, mediante compostagem da matéria orgânica contida no resíduo sólido urbano, tem o problema associado de o que fazer com o composto. Ainda, não está disponível uma solução que seja considerada economicamente auto-sustentável, e tecnicamente adequada (UNIDO, 2000), para a produção de um composto de uso agrícola não poluído com substâncias diversas que o possam inutilizar a partir da fração orgânica do resíduo sólido urbano. Da pesquisa em bibliografia específica, é possível concluir que existem métodos de peneiração e trituração de resíduo orgânico (LIMA, 1985; LIMA, 1995; WATSON, 1999), e que existe, também, um sistema de detecção de substâncias tóxicas (ROZZI, TOMEI e DIPINTO, 1997 e ROZZI, MASSONE e ANTONELLI, 1997) e, recentemente, métodos por via úmida (VANDEVIVERE, DE BAERE e VERSTRAETE, 2003), mas, ainda, faltam ser desenvolvidos projetos para equipamentos adequados, duráveis, que permitam a separação eficiente de impurezas, normalmente presentes na fração orgânica do resíduo sólido municipal e que inutilizam o composto orgânico para aproveitamento agrícola. Nas usinas de compostagem, conforme LIMA (1995), os métodos usados são, em geral, uma triagem manual e/ou mecânica, seguida, opcionalmente, por separação magnética e/ou por trituração (moinhos de martelo). Os sistemas mecânicos de separação por via seca requerem muita manutenção e são pouco efetivos, pois muitas impurezas finas ficam na fração aceita, como pode ser, facilmente, conferido visitando instalações existentes.

Várias tentativas foram feitas para aproveitar o composto, mas a presença de grande quantidade de impurezas e substâncias tóxicas e a dificuldade em separá-las, fazem com que o composto seja rejeitado por muitos agricultores e por outros usuários potenciais.

Para aproveitamento agrícola ou industrial do composto (de origem aeróbia ou anaeróbia) é necessária uma separação eficiente dos materiais tóxicos e das impurezas contidos no resíduo orgânico úmido.

Não foram encontrados resultados na bibliografia (pesquisados os últimos 25 anos, a nível global, em bancos de dados, na Internet, e nos livros sobre administração, manejo e tratamento de resíduo urbano na biblioteca da BAE, UNICAMP), sobre pré-tratamento de resíduo orgânico que visem a separar substâncias tóxicas e impurezas que tornem o processo (aeróbio ou anaeróbio) confiável e o composto aproveitável, sem restrições, na agricultura. As únicas referências são para metais pesados nos lodos das ETEs e referências antigas sobre efeitos do “chorume” no solo (por exemplo, POHLAND e HARPER, 1985), mencionando efeitos da interação dos contaminantes no solo, sua migração, mecanismos de atenuação, efeitos na permeabilidade e medidas preventivas.

Alguns autores (por exemplo Buswell, Mao, Pohland citados por POHLAND e HARPER, 1985) têm desenvolvido modelos matemáticos para descrever os efeitos dos contaminantes no solo, focando diversos aspectos, mas sua utilidade prática é muito reduzida, pela necessidade de incorporar muita informação sobre as condições locais, bastante diferentes das idealizadas nos modelos. Também, o efeito de longo prazo no solo não é conhecido.

Tecnologia moderna aplicada, agora, na Europa (VANDEVIVERE, DE BAERE e VERSTRAETE, 2003), em usinas de resíduo orgânico, utilizam separação magnética, moinho, desagregador e peneira para pré-tratamento da fermentação anaeróbia “úmida” (<20%ST), ver Fig. 3.1, com notáveis similaridades conceituais com o processo Acuña e Aguirre (1999b), idealizado independentemente (comparar Fig.3.1 com Fig.2 no Apêndice A, pág. 221).

Na maioria das instalações, o único pré-tratamento consiste em peneiração (“drum screen”) que remove impurezas acima de 40 ou 80 mm de diâmetro. Há múltiplas opções, mas não é mencionado que o composto possa ser usado sem restrições na agricultura. Em outro trabalho geral (De BAERE, 2000), o composto é destinado ao aterro.

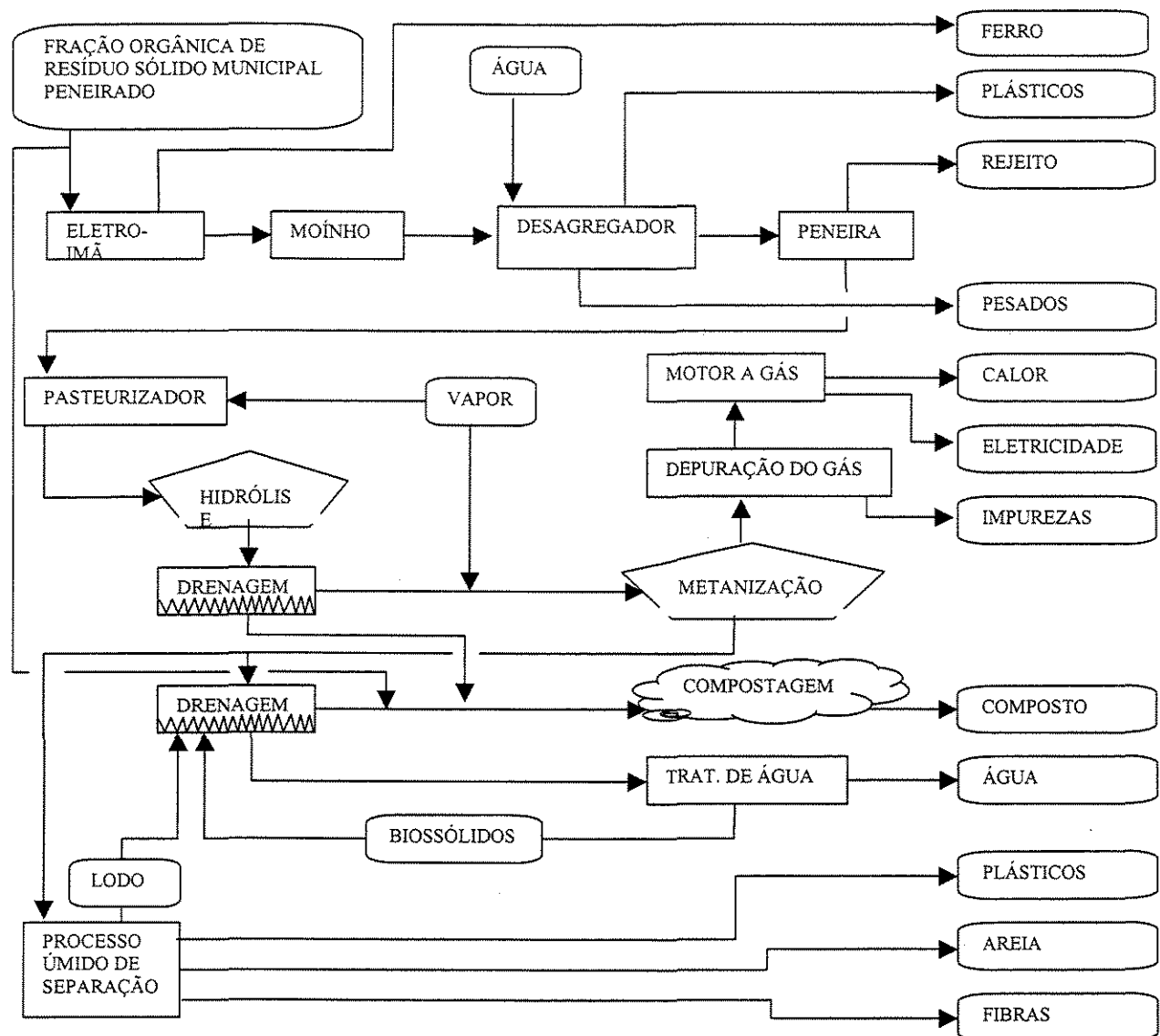


Fig. 3.1. Exemplos de processos unitários comumente usados em conjunto com digestão anaeróbia de resíduo sólido municipal mecanicamente selecionado.

Fonte: Adaptado de VANDEVIVERE, DE BAERE e VERSTRAETE, 2003

Existe um vácuo na legislação existente em relação a impurezas e contaminantes do resíduo orgânico urbano e sua aplicação agrícola. Pode-se até tentar aplicar a legislação existente em relação à compostagem aeróbia de resíduo agrícola, mas há pontos claramente insuficientes, como a composição do composto, pois a compostagem de resíduo orgânico do campo não tem que lidar com o elevado nível de poluentes da fração orgânica do resíduo sólido urbano (especialmente das grandes cidades).

Os manuais de gerenciamento de resíduo sólido urbano (PAVONI, 1975; ROBINSON, 1986; KREITH, 1994; PEREIRA NETO, 1996; MONTEIRO et alii, 2001), também, não mencionam muito em relação à compostagem anaeróbia e nada em relação a restrições de uso ou à necessidade de adequado tratamento preliminar que adapte e condicione o composto para aplicação agrícola. As restrições mencionadas nos manuais são inadequadas para evitar a poluição do solo, da água, do ar e dos alimentos com os poluentes residuais do composto obtido do resíduo sólido urbano com os atuais métodos de tratamento.

A importância de adequado tratamento da fração orgânica é devidamente considerada no sistema AAA de Acuña e Aguirre (1999a).

3.4 Relevância ambiental, econômica, social e sanitária do manejo apropriado do RSU

A pesquisa nos métodos de manejo do RSU, especialmente de sua fração orgânica, tem grande importância ambiental, pois é a fração que apodrece, causa mal cheiro, pode poluir cursos de água, inutiliza o papel e papelão misturados, etc. Como a Agenda 21 Brasileira (SEMAD, 2002) tem por objetivo definir uma estratégia de desenvolvimento sustentável para o País, a partir de um processo de articulação e parceria entre o governo e a sociedade, o manejo sustentável do resíduo tem grande relevância. Os temas da AG21 são: Agricultura Sustentável, Cidades Sustentáveis, Infra-estrutura e Integração Regional, Gestão dos Recursos Naturais, Redução das Desigualdades Sociais e Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Sustentável. As propostas da Agenda 21 não podem ser satisfeitas, somente, pelo Ministério do Meio Ambiente. Para a sustentabilidade, precisa, também, do setor econômico produtivo. Devem ser construídas propostas viáveis e projetos concretos rumo a um mundo sustentável.

A filosofia do desenvolvimento sustentável (muitas fontes, por exemplo PETROBRAS, 2001) baseia-se nos princípios:

- ♦ solidariedade com nossa geração;
- ♦ compromisso com as gerações futuras – prudência ecológica; e,
- ♦ viabilidade política e econômica.

Deve existir um balanço entre as necessidades humanas e o bem estar planetário. Existe o desafio de melhorar o bem estar de bilhões de seres humanos, sem destruir os sistemas de suporte da vida na Terra. As cidades podem ser incubadoras dinâmicas para novas abordagens que beneficiem à humanidade, sem destruir ambientalmente o planeta (WORLDWATCH, 2003). A atividade de grandes concentrações humanas nas cidades gera quantidades elevadas de resíduo que, normalmente, não pode ser eliminado de forma segura, econômica e efetiva pelos indivíduos. Sua acumulação nas propriedades representa não somente ofensa visual à comunidade mas, também, perigo de incêndio e à saúde pública. Por estes motivos, a remoção do resíduo é importante e os governos municipais devem dispor do mesmo de forma econômica, segura e efetiva, com mínimos impactos ambientais, assim seja realizado pelo serviço municipal ou terceirizado, através de editais.

Historicamente, para os municípios, a coleta e destino final do resíduo sólido urbano é um gasto e a forma mais econômica encontrada pelos municípios foi o lixão, ou depósito a céu aberto do resíduo. Pela pressão legal e social para que sejam adotadas medidas sanitárias, a solução tem sido o aterro sanitário, com precauções para não poluir o solo e mananciais de água com o chorume, líquido preto e mal cheiroso proveniente da decomposição por putrefação do material orgânico e nem a atmosfera com os gases, também, produzidos pela decomposição. Toda uma tecnologia tem sido desenvolvida para aterros econômicos, eficientes e de mínima poluição (PAVONI, 1975; ROBINSON, 1986; KREITH, 1994; PEREIRA NETO, 1996).

A elevação dos custos do destino final do resíduo urbano, devido à saturação dos aterros, junto com considerações sobre as vantagens ambientais e econômicas da reciclagem, têm levado muitas prefeituras a estimular e promover a coleta seletiva para reciclar o material aproveitável (RECICLÁVEIS, 2001). As cooperativas de catadores, as prefeituras e as indústrias recicladoras têm abordado a tarefa com enfoques e interesses diversos e resultados muito diferentes.

A falta de uma política uniforme, a descontinuidade administrativa (FERRUCCIO, 1997), as oscilações extremas de preços do material reciclável, as dificuldades das indústrias em incorporar material com elevada quantidade de contaminantes em seus processos, o aumento de custos industriais pela necessidade de novos equipamentos depuradores, os gastos para dispor de maior quantidade de resíduo gerado e os custos de “marketing” para os produtos fabricados com matéria prima reciclada são alguns dos problemas encontrados e a forma de resolvê-los afeta, diretamente, os resultados.

O enfoque dos projetos deve ser integrado de forma a propiciar geração de riqueza sem agredir o ambiente e ser tecnicamente apropriado, economicamente viável e socialmente aceitável, como propiciado pelo princípio de sustentabilidade (ONU, 2003).

A necessidade de abordar um processo contínuo de desenvolvimento sustentável requer profunda modificação de atitudes, valores e visões de cada participante da sociedade. Para desenvolver efetivas estratégias integradas de desenvolvimento, conforme necessário na comunidade local, deve-se formular, comunicar, discutir, avaliar e administrar projetos, de acordo com o conceito de desenvolvimento sustentável, desde sua concepção até a transferência da responsabilidade do gerenciamento e transformação do ambiente.

Como síntese integradora de muitos trabalhos publicados (TCHOBANOGLIOUS, THEISEN e ELIASSEN, 1977; CLARK, 1978; AISSE, OBLADEN e SANTOS, 1981; KIROV, 1971; USEPA, 1991; TCHOBANOGLIOUS, THEISEN e VIGIL, 1993; POLPRASERT, 1996; STESSEL, 1996; WATSON, 1999; VANDEVIVERE, DE BAERE e VERSTRAETE, 2003), deve-se incluir nos projetos concretos e aplicados para uma região definida:

- ◆ a questão ambiental;
- ◆ a reflexão e planificação do processo total, desde sua conceição, formulação, projeto, discussão, aplicação da ação modificadora e suas conseqüências;
- ◆ desenvolvimento territorial sustentável;
- ◆ desenvolvimento urbano sustentável;
- ◆ gestão e contrato social;

- ♦ técnicas e instrumentos;
- ♦ resultados esperados no ambiente;
- ♦ avaliação do impacto e comportamento ambiental;
- ♦ comunicação, educação, participação, responsabilidade ambiental;
- ♦ legislação ambiental; e,
- ♦ avaliação sócio-econômica-ambiental para determinar se os projetos são factíveis e sustentáveis.

Também deve-se incluir o alcance e projeções futuras.

Ponto de partida de toda experimentação é a pesquisa bibliográfica dos conhecimentos adquiridos até o momento. As bases de dados, a partir de 1997, no Brasil, e, em alguns casos, desde 1920, no mundo, permitem rápida aquisição de referências na web, mas com o problema de laboriosa seleção da informação que interessa.

Outro problema é que muita informação relevante não está na web (BIBLIOTHÉQUE, 2001).

Em geral, existem, basicamente, três classes de problemas (ZWICKY, 1969):

- a) problemas para cuja solução necessitam, somente, que sejam conhecidos uma pequena quantidade de graus de conhecimento;
- b) problemas para cuja solução são necessários graus de conhecimento, ainda, não disponíveis; e,
- c) problemas cuja solução envolve um grande número de parâmetros.

Falta de conhecimentos, em relação a todos os fatores envolvidos e a falha ao não incluí-los no sistema completo impõem falsas conclusões (BUCKMINSTER FULLER, 1978). Isto implica que os resultados serão precários e as conclusões não serão definitivas até se obter um grau suficientemente abrangente de conhecimentos. Daí a necessidade da validação da simulação, em forma experimental, para a qual se deve idealizar os experimentos em forma eficiente, efetiva e econômica (SHIMIZU, 1975; LAW e KELTON, 1982; SMITH, 1987; HAHN, 1992;

OLIVEIRA; PINTO e MONTEIRO, 1998; BARROS NETO; SCARMINO e BRUNS, 2001) com o correspondente tratamento estatístico (SNEDECOR e COCHRAN, 1989).

3.4.1 Problema de manejo de RSU como oportunidade de negócios

O problema ambiental do resíduo sólido, enfocado sob o ponto de vista da solução, se apresenta como uma oportunidade de negócios, como dizia, Flores (2000), Diretora do DMA - Departamento de Meio Ambiente - FIESP/CIESP, Membro da Comissão de reciclagem de Polímeros ABPOL, Representante da Câmara Técnica de Resíduos Sólidos - CONESAM, Conselheira do INP- Instituto Nacional do Plástico, Empresaria do setor de máquinas para plásticos e reciclagem:

Neste final de século e início de um novo milênio, a nossa sociedade, e em particular a indústria do Estado de São Paulo depara-se com um problema de dimensões fantásticas, que é a destinação de resíduos sólidos de forma ecologicamente correta. Perto de 97 % (noventa e sete por cento) de nossas Prefeituras dão uma destinação inadequada ao lixo produzido em seu território, segundo a Secretária de Meio Ambiente, os chamados lixões (...). Nas regiões metropolitanas, o problema atinge um grau de dificuldade quase intransponível, devido à falta de novos locais compatíveis para a sua instalação. Cabe a nós, neste momento, dar-mos uma resposta ecologicamente correta e que tenha apelo econômico, de forma a atrair capitais, nacionais ou não, para resolver este problema. Em primeiro lugar devemos encarar a solução, como uma oportunidade de negócios e não como um transtorno em nossas vidas. (FLORES, 2000).

“A contaminação do plástico pelo lixo orgânico é justamente um dos principais problemas para o crescimento da indústria da reciclagem do lixo doméstico. A simples separação do lixo orgânico do seco já traria um impulso importante para o setor, diz Ana Flores” (GAZETA MERCANTIL, 2002).

É recomendada a implantação de sistemas integrados de resíduo sólido, procurando, de forma racional, promover a reciclagem e o reuso para minimizar o resíduo a ser disposto, buscando sempre novas alternativas e opções e observando os resultados obtidos em outras cidades, pois, o tratamento de resíduo é um processo dinâmico que precisa ser, constantemente, aprimorado (FERRUCCIO, 1997). Assim, para aplicar, somente falta ver a oportunidade de negócios das soluções, dentro da filosofia sustentável.

O resíduo putrescível sólido é, na prática, a fração da matéria orgânica contida no resíduo sólido urbano que sofre decomposição por ação de microrganismos (FERRUCCIO, 1997). É a parte do resíduo que apodrece (RINTALA e JARVINEN, 2004). É a fração orgânica ou molhada do resíduo separada na fonte, na Europa, por lei (PAVAN; BATTISTONI e MATA-ALVAREZ, 2000), que pode ser vantajosa se tratada por digestão anaeróbia (VANDEVIVERE; DE BAERE; e VERSTRAETE, 2003), em relação às outras alternativas, compostagem aeróbia ou incineração (DE BAERE, 2000).

A digestão anaeróbia é uma parte integral do gerenciamento do resíduo sólido municipal (CHYNOWETH citado por PAVAN; BATTISTONI e MATA-ALVAREZ, 2000). A digestão anaeróbia proporciona gás combustível e composto orgânico. Adequadamente tratados, podem ser comercializados, o que é uma oportunidade de negócios.

O desenvolvimento da tecnologia anaeróbia termófila, em estado semi-seco, nos últimos 10 anos (DE BAERE, 2000), tem chegado a um estado de tecnologia madura, conhecida e de amplo uso nos países industrializados, preferida sobre a compostagem aeróbia, pela vantagem de ser auto-sustentável e proporcionar um excedente de energia.

Alguns materiais de alto valor, como o alumínio e resinas PET, têm encontrado mercado e forma prática de serem separados do resto do resíduo sólido. Outros materiais, como o papelão e o papel, requerem separação prévia, do contrário, são inutilizados ao serem prensados nos caminhões, junto com os outros resíduos.

O aproveitamento energético e agrícola do resíduo orgânico foi amplamente utilizado desde a Antigüidade (prática milenar) e, em muitos lugares (Índia, pequenos agricultores na América do Sul), ainda persiste. Mas, a agricultura comercial adotou, a partir da década de 70 (BROWN, 1996, acesso 2003), em grande escala, o uso de fertilizantes sintéticos, porque são baratos, abundantes, de fácil manejo e efetivos. A antiga prática de reciclar o resíduo orgânico ao solo, foi, assim abandonada, porque, geralmente, não estava disponível a curta distância do cultivo, resultando custo de transporte proibitivo, além de significar mais mão de obra para sua aplicação, enquanto o fertilizante sintético estava amplamente disponível. Isto teve uma série de resultados inesperados (FRENCH, 2000, acesso 2002), no ambiente e na agricultura.

A prática milenar de reciclar o resíduo orgânico no solo é a solução proposta, agora, por especialistas (muitas fontes, por exemplo, GARDNER, 2002; WORLDWATCH, 2003; CARDOSO, 2003), para evitar vários graves problemas ambientais, tais como: acumulação de resíduo devido a cada vez menos áreas disponíveis para aterros; desequilíbrio ecológico do solo, devido à fertilização excessiva, resultando em migração de produtos químicos para a água potável, com poluentes acima dos limites considerados seguros (GARDNER, 2002), morte de peixes por crescimento descontrolado de algas, que durante a noite consomem oxigênio da água, asfixiando os peixes; redução de espécies por perda ou poluição de seu “habitat” natural; bioacumulação na cadeia alimentar de substâncias tóxicas produzidas pelo homem (McGINN, 2002); etc.

A atual limitação a esta prática milenar não é somente econômica mas, principalmente, de saúde pública, pois os poluentes do resíduo se acumulam no solo, na água subterrânea e na cadeia alimentar, até chegar em níveis tóxicos aos humanos. Muitas leis, no mundo todo, foram ditadas para regulamentar e controlar esta situação. Uma visão panorâmica da legislação ambiental brasileira é inclusa neste trabalho, assim como um histórico do composto orgânico, o

tratamento da fração orgânica e os atuais limitantes ao que seria o ideal. Hoje, à parte o desequilíbrio provocado nas plantas, resultando em atração de multidão de insetos e de outras plantas, consideradas pragas (conseqüentemente, solucionada com o uso de praguicidas), grandes quantidades dos fertilizantes solúveis são arrastados pelas chuvas e têm efeito eutrófico, nos cursos de águas, e perigosos, para a saúde humana nos mananciais de abastecimento de água.

O problema dos praguicidas ou agroquímicos para a saúde é muito sério (WORLDWATCH, 2003).

A solução proposta (por exemplo, CARDOSO, 2003), nos países industrializados, é voltar à agricultura orgânica, reciclando o composto orgânico (livre de poluentes). O composto orgânico proporciona múltiplos benefícios ao solo: retenção dos nutrientes que, de outra forma, seriam lixiviados e perdidos; aumento da porosidade e permeabilidade; aumento da retenção de água no solo, reduzindo necessidade de irrigação; supressão de muitas doenças e pragas das plantas; proteção contra erosão; e, “habitat” para espécies do solo fértil.

A disponibilidade de compostos sem poluentes é muito limitada devido, principalmente, a que, nas cidades, o resíduo orgânico é misturado com muitos outros tipos de resíduos. Praticamente, todos os materiais usados pelo homem têm o potencial de se misturar com o resíduo orgânico, alguns com potentes efeitos tóxicos e poluentes.

Para reduzir o volume de resíduo enviado para os aterros, os municípios adotam, em forma crescente, a coleta separada de resíduo reciclável e não reciclável. Mas, assim, no resíduo não reciclável se concentram, junto com a matéria orgânica, muitos poluentes, tais como material inorgânico não reciclável, pedra, além de pesticida, solvente, tinta, derivados do petróleo, etc., de modo que a depuração completa da fração orgânica é muito complexa. Uma patente pendente (ACUÑA; e AGUIRRE, 1999a) inclui o pré-tratamento deste material de modo que, o material a ser compostado, não sofra interferências durante a biodigestão e, depois, possa ser usado na agricultura sem restrições.

A agricultura “orgânica” é a mesma antiga agricultura tradicional, de anterior à existência de fertilizante sintético e de agroquímicos. É a solução, agora buscada em forma crescente, pelo mercado, apesar dos maiores preços (até 20%) dos produtos. Muitos comerciantes viram a forma de aumentar seus ganhos, rotulando de “orgânico” seus produtos, mas logo surgiu a certificação, pela necessidade de se ter certeza de que, realmente, o alimento é livre de substâncias tóxicas. Para a certificação de produto como orgânico, deve-se verificar se é produzido livre de agroquímicos não autorizados (os ambientalistas exigem, ainda, que seus alimentos tenham, também, a declaração do produtor de que a mão de obra não é infantil e que recebe salários adequados, além de outras exigências sobre a origem do alimento).

Os agricultores orgânicos, então, se vêem na necessidade de repor os nutrientes ao solo com fertilizantes orgânicos (RURALNEWS, 2002a e 2002b).

Soluções de emergência, como a prática do adubo verde, são aplicadas devido à falta de fertilizante orgânico abundante e de fácil aplicação. Mas, nas cidades, destino principal dos produtos agrícolas, existe ampla disponibilidade de resíduo orgânico que poderia ser reciclado ao campo. O problema de transporte pode ser solucionado se os caminhões, que levam os produtos do campo à cidade, em lugar de retornarem vazios, retornarem com o composto agrícola pronto, a um preço adequado. Resta, ainda, a adequação do composto ao uso agrícola.

A norma ABNT 13591/96 (ABNT, 2004) estabelece a definição do composto, aplicável apenas ao produto da ação aeróbia sobre a matéria orgânica.

A presença de contaminantes agrícolas no composto é importante, pois o contaminante sólido tem efeito cumulativo no campo e no caso do solúvel, pode ser absorvido pela planta e ter efeito tóxico na planta e/ou no alimento produzido.

Existe muita discrepância a este respeito (PAVONI, 1975; ROBINSON, 1986; UNIDO, 2000; KREITH, 1994; PEREIRA NETO, 1996; GARDNER, 2002; FRENCH, 2002; DE BAERE, 2000; HALWEIL, 2002; RURALNEWS, 2002a e 2002b; MCGINN, 2002; CARDOSO,

2003; entre outros). Na Europa, muito composto gerado em digestores energéticos é destinado a aterros, [pelo princípio de precaução].

No Brasil, pouco se menciona sobre possíveis substâncias tóxicas no composto obtido do resíduo sólido urbano.

No caso do lodo de ETEs, é mencionada a preocupação com os metais pesados e a forma de os estabilizar para aproveitamento agrícola do lodo. Recentemente, o Jornal O Estado de São Paulo noticiou que a Usina da Vila Leopoldina será fechada, e que laudo técnico da Embrapa, USP e Unicamp, concluído em 2002, estabeleceu que 20% do composto vendido aos agricultores a R\$1,50 a tonelada, está contaminado (GUIMARÃES e GONZÁLEZ, 2004).

Foi publicado um trabalho (VANDEVIVERE; DE BAERE e VERSTRAETE, 2003) em que fazem referência a um desagregador utilizado no pré-tratamento do resíduo sólido, antes da compostagem. Independentemente, no Brasil, em 1999, foi solicitada patente de invenção (ACUÑA; AGUIRRE, 1999a) para um sistema que inclui uma máquina desagregadora projetada para fluidizar seletivamente a fração orgânica do resíduo sólido urbano, operando em fase líquida para separar contaminantes sólidos.

A coleta seletiva tem pouca (1%-3%) resposta e colaboração do público. A coleta seletiva, consiste na separação na fonte de “material reciclável” do resto, em que o “material reciclável” é, em muitos municípios, basicamente, a mistura de vidro, papel, metal e plástico, para serem separados, manualmente, em cooperativas de catadores, para venda às indústrias de reciclagem, em outros municípios. São separados os quatro tipos de materiais recicláveis, mas são misturados para o transporte ou durante a descarga.

Os métodos atuais de classificação do resíduo sólido são mecânicos e manuais (LIMA, [1985] e 1995).

Aplicado ao total do resíduo sólido, os processos de classificação atuais, resulta baixa eficiência de separação, pouca efetividade e eficácia, mas os vendedores de peneiras discordam.

Aplicado à fração “reciclável”, resulta eficaz para material de tamanho adequado para seleção manual. Aplicado para o resto, com vistas a concentrar a fração orgânica, a peneiração a seco é pouco seletiva, por permitir a passagem de muito material não orgânico junto com o orgânico, de modo que o composto obtido desta fração é rejeitado pelos agricultores, pois, à simples vista, suja a terra. Acuña e Aguirre (1999a) propuseram um sistema mecânico específico, componente do sistema na patente mencionada, capaz de atender aos requerimentos citados.

O projeto completo do sistema é mais uma arte que uma ciência (CHARLES e WISON, 1994). Requer muita experiência prática geral, alguns dados teóricos e outros práticos, mas devem ser adotados muitos compromissos. Isto requer pensamento crítico e, muitas vezes, assistência de peritos em áreas críticas (TRAVASSOS, 2003).

3.4.2 Ações propostas para o resíduo gerado no Brasil

Existem muitas ações possíveis para o resíduo gerado no Brasil. Selecionando algumas ações propostas pela SEMA do Estado de Paraná (GOVERNO ..., 2004), e acrescentando a última, para as condições gerais atualmente existentes no Brasil, as ações propostas para o resíduo gerado são as seguintes:

- a) Educação Ambiental;
- b) implementação de Programas de Coleta Separada para Reciclagem (recicláveis/não recicláveis);
- c) técnicas de disposição final de resíduo sólido urbano; e,
- d) disposição final do resíduo, adequada à realidade de cada município (AGUIRRE e ACUÑA, 1999b).

3.4.2.1 Educação Ambiental

“Cidadão é uma pessoa capaz de criar, com outros, uma ordem que ele mesmo vai vivenciar, cumprir e proteger” (GOVERNO ..., 2004).

Para produzir os bens e serviços necessários para essa nova ordem, é necessário que haja a participação do cidadão, através da sociedade organizada, na definição de uma política pública ambiental, de acordo com a realidade de sua comunidade. É necessário que o poder público crie condições para que todas as pessoas sejam capazes de auto-fundar a ordem que querem viver. A parceria entre o gestor público e a comunidade se torna importante nos processos, principalmente, **pelo redimensionamento das instituições e dos circuitos de exercício público**. É necessário que o gestor público sensibilize e instrumentalize às comunidades, dando-lhes elementos, critérios, de forma que, o cidadão, como representante de uma opinião pública, se conscientize, também, como um cidadão consumidor, interessado em desfrutar de uma certa qualidade de vida. Os problemas de preservação do ambiente são os de um desenvolvimento desigual para as sociedades humanas e nocivo para os sistemas naturais, constituindo-se, assim, não só um problema técnico, mas social e político. Essa nova “ordem”, ou seja, nova forma de organização política e social, poderá assegurar as condições de diversidade, autonomia e interação ambiental, como valores positivos, dentro de um modelo de desenvolvimento auto-sustentável (adaptado de várias fontes, por exemplo SEMAD, 2002; AISSE, OBLADEN e SANTOS, 1981; GOVERNO..., 2004).

Um novo modelo de desenvolvimento sustentável não pressupõe a ausência do crescimento econômico, mas o seu direcionamento para atender às necessidades dos indivíduos e grupos sociais em termos de qualidade de vida nesta e nas futuras gerações. A relação entre o Estado e/ou os municípios e as comunidades organizadas possibilitarão a construção de modelos de proteção à saúde e ao ambiente, que contemplem a justiça social na diversidade (SEMAD,2002).

O instrumento fundamental na implementação de um PROGRAMA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL é a participação efetiva da sociedade, principalmente, do gerador da matéria-prima, que é a população (resumo de vários autores, por exemplo, GOVERNO ..., 2004).

Esta mesma população, somente, terá condições de contribuir e participar ativamente, através da implantação de um processo progressivo e continuado de educação ambiental, visando, principalmente, às mudanças de comportamento com relação à geração de resíduo e despertando um interesse sobre as questões ligadas ao sistema de limpeza pública, desde a geração, acondicionamento, coleta, transporte e a metodologia utilizada para o tratamento final dado ao resíduo. A **divulgação e a publicidade** são elementos primordiais para o sucesso dos Programas de Educação Ambiental, pois, somente com a participação ativa da comunidade envolvida, poder público, setor produtivo e indústrias recicladoras, o êxito do programa estará garantido. “Portanto, deve-se considerar que qualquer programa visando ao gerenciamento integral do resíduo sólido, só terá êxito através do ENVOLVIMENTO e o COMPROMETIMENTO da sociedade através da união de esforços, desde que se indique, claramente, os meios e a cooperação esperada.” Na Política Ambiental, o foco será direcionado, prioritariamente, a **não desperdício**, seguidos por ações que incentivem à **redução, reutilização e à reciclagem** do resíduo gerado. A **população deve ter suas dúvidas esclarecidas**, sobre todos os objetivos e metas a serem alcançados por estes programas, através da utilização de folhetos, cartazes, cartilhas, propagandas no rádio e TV, palestras em escolas, comunidades de bairro, igrejas, centros esportivos e todos os locais que atraiam muitas pessoas são meios eficientes de divulgação (adaptado do GOVERNO ..., 2004).

OBJETIVO DESTAS AÇÕES : “Buscar a redução progressiva dos resíduos gerados no Estado, através da convocação de toda sociedade, objetivando mudanças de atitude, de hábitos de consumo e o combate ao desperdício” (GOVERNO ..., 2004).

3.4.2.2 Implementação de Programas de Coleta Seletiva para a Reciclagem

Num país que descarta **70% de seu lixo a céu aberto** (geração estimada de 100 mil toneladas/dia), a necessidade de se estabelecer políticas para reverter este quadro, é urgente. O papel dos municípios e das comunidades é de extrema importância para a implantação de um sistema que minimize os impactos causados por esta forma de disposição (IPT, apud GOVERNO..., 2004).

A **coleta seletiva para a reciclagem** é um sistema de recolhimento de material potencialmente reciclável como: papel, plástico, vidro, metal num grupo e material orgânico, como resto de comida, resto de jardinagem e outros.

Para que os resultados sejam satisfatórios, a coleta deveria ser compulsória e fiscalizada no momento da coleta, ensinando o uso de dois sacos: verde ou branco para o reciclável e preto ou grisalho para o resto. Para que a reciclagem possa ser efetivada em forma viável, é necessário que exista (GOVERNO ..., 2004):

- **tecnologia:** desde a coleta, separação, armazenamento até reciclagem com produtos de qualidade; e,
- **conscientização:** motivar o envolvimento ativo da população no processo.

Logicamente, deve-se incluir **mercado:** para absorção total dos materiais recuperados na forma de produtos de qualidade e preço conveniente.

Uma das alternativas de adotar novos padrões às questões ligadas à geração de resíduos, além da participação efetiva da população, é a integralização do setor produtivo, não somente, na fabricação de bens de consumo, mas em iniciativas que promovam o desenvolvimento sustentável através de parcerias, apresentadas na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a RIO 92. Desta maneira, atendendo o preconizado na Agenda 21, como principal compromisso assinado pelos 179 países participantes, em que enfatiza de sobremaneira a necessidade de revisão das ações humanas com vistas a conceber e adotar novas

teorias e práticas capazes de proporcionar um desenvolvimento com equidade e compatível com a Capacidade de Suporte dos recursos naturais do Planeta Terra.

Neste sentido, o principal foco no século XXI, é o de conjugar esforços na busca de Justiça Social, Eficiência Econômica com Equilíbrio Ambiental. Mais do que um documento, a Agenda 21 é um instrumento de planejamento estratégico participativo, ou seja, “Que o processo de elaboração e implementação de políticas, deve estabelecer parcerias, entendendo que a Agenda 21 não é um documento de governo, mas um produto de consenso entre os diversos setores da sociedade” (SEMAD, 2002; O ESTADO DE SÃO PAULO, 2002; GOVERNO ..., 2004).

Na **Agenda 21-Global** (ONU, 2003) é importante destacar a abordagem do padrão de sustentabilidade expressa nos 40 capítulos, porém de especial atenção, ao contido dos seguintes capítulos:

- **CAPÍTULO 4 – Mudança nos Padrões de Consumo:** em linhas gerais, a mudança dos padrões de consumo exigirá estratégias multifacetadas centradas na demanda, no atendimento das necessidades básicas dos pobres e na redução do desperdício e do uso de recursos finitos no processo de produção;
- **CAPÍTULO 19 – Manejo ecologicamente saudável das substâncias químicas tóxicas. Incluída a prevenção do Tráfico Internacional ilegal dos produtos tóxicos e perigosos:** na Agenda 21 é reconhecido que no uso dos produtos químicos, podem ser amplamente utilizados com boa relação custo eficiência e alto grau de segurança. No entanto, a contaminação em larga escala continua prosseguindo, com graves danos à saúde, à estrutura genética, à reprodução e ao ambiente. O enfoque principal é o de proceder manejo adequado e o combate ao tráfico internacional ilegal;
- **CAPÍTULO 20 – Manejo ambientalmente saudável dos Resíduos Perigosos, incluindo a Prevenção do tráfico Internacional ilícito de Resíduos Perigosos:** tem por objetivo geral, no quadro de um manejo integrado do ciclo de vida dos produtos, impedir, tanto quanto possível, e reduzir, no mínimo, a produção de resíduo perigoso e submeter esse resíduo a um manejo que impeça que provoque danos ao Ambiente e para a saúde humana. Estão aumentando os custos diretos e indiretos que representam para a Sociedade a produção, manipulação e depósito de tal

resíduo. Reforça-se, pois, que a questão de controle efetivo da geração, do armazenamento, do tratamento, da reciclagem e reutilização, do transporte, da recuperação e do depósito de resíduo perigoso é de extrema importância para a saúde pública, a proteção do ambiente, o manejo dos recursos naturais e o desenvolvimento sustentável;

▪ **CAPÍTULO 21 - Manejo ambientalmente saudável dos Resíduos Sólidos e questões relacionadas com os esgotos:** trata do resíduo sólido como sendo todo resto doméstico, comercial, institucional, o lixo da rua e o entulho de construção. Em determinados países, o sistema de gestão de resíduo sólido, também, se ocupa do resíduo humano, tais como excrementos, cinzas de incineradores, sedimentos de fossas sépticas e de instalações de tratamento de esgoto. O manejo ambientalmente saudável desses recursos deve contemplar não só a sua disposição final segura, ou o seu reaproveitamento, mas buscar as suas causas, procurando mudar os padrões de produção e consumo não sustentáveis. Isso implica a utilização do conceito de gerenciamento integrado do ciclo de vida do produto, um instrumento que oferece a oportunidade única de conciliar desenvolvimento com proteção ao Ambiente. Para tanto, necessário se faz dar atenção especial à:

- ♦ redução ao mínimo do resíduo;
- ♦ maximização da reutilização e reciclagem;
- ♦ promoção da disposição e tratamento ambientalmente saudável do resíduo;
- ♦ ampliação da cobertura dos serviços relacionados com o resíduo;
- ♦ implementar Programas de Parcerias com empresas co-responsáveis pela geração de materiais potencialmente recicláveis;
- ♦ fomentar a comercialização através da elaboração de diagnóstico e análise de mercado, visando à definição de propostas de fortalecimento do mercado de recicláveis;
- ♦ integrar as diversas Secretarias do Governo, visando ao incentivo à instalação de indústrias recicladoras, criando programas com incentivos específicos, objetivando novas demandas para os materiais recicláveis;
- ♦ estabelecer banco de dados de todo o resíduo gerado no Estado, promovendo a integração entre todos os municípios estaduais, viabilizando, também, desta forma, a comercialização dos resíduo reciclável;

- ♦ promover ações de incentivo à pesquisa e desenvolvimento, objetivando alternativas para novos processos e métodos, criando condições mais favoráveis ao desenvolvimento, manutenção e ampliação dos programas de coleta para a reciclagem e, dedicando também adequada atenção às técnicas e processos seguintes, como por exemplo, separação do material de interesse econômico de outros materiais presentes; e,
- ♦ evitar o uso de coleta comum, propiciando a coleta seletiva [compulsória] de material inorgânico (chamado comumente reciclável), em saquinhos verdes ou brancos, e o material orgânico ou putrescível, coletado em forma separada em saquinhos pretos ou grisalhos (adaptado de GOVERNO ..., 2004).

Na Europa, segundo De Baere (2000), a coleta compulsória de material reciclável deixa na mistura de material orgânico todo tipo de contaminantes, pelo que, geralmente, se utilizado processo anaeróbio para produzir metano, o composto é destinado a aterro. Assim, antes de ir para aterro, o material orgânico é compostado, seja por processo anaeróbio (com produção de biogás), ou pelo processo aeróbio.

No aterro, o composto estabilizado, não origina os problemas próprios do aterro de material putrescível: produção de chorume, emissões gasosas e instabilidade do solo durante muitas décadas.

3.4.2.3 Técnicas de disposição final do resíduo sólido urbano

Uma das formas mais utilizada pelos municípios brasileiros para disposição do resíduo urbano é o chamado lixão a céu aberto, que agride violentamente a Legislação vigente, pois, nestes locais, não são aplicados quaisquer metodologias ou monitoramento, servindo como fonte extraordinária para a proliferação de vetores e agentes oportunistas, como vírus, fungos e

bactérias, que, certamente, acarretarão danos à saúde pública e ao ambiente (dados do IGBE, 2003, citados por GOVERNO ..., 2004), [além da contaminação de mananciais, ar, solo].

Nas grandes cidades, as diversas técnicas de disposição final do RSU devem proteger à saúde pública e ao ambiente, pelo que o critério de sustentabilidade, da Agenda 21, deve ser satisfeito, com opções para atender ao passivo ambiental dos lixões e outras formas de destino do RSU, incompatíveis com os princípios da Agenda 21 (SEMAD, 2002; GOVERNO ..., 2004).

Dentre as opções propostas para o tratamento adequado e disposição final dos resíduos sólido urbano, destacam-se as seguintes técnicas:

- a) aterro sanitário;
- b) centrais de Triagem e Compostagem de RSU;
- c) incineração;
- d) microondas ;
- e) plasma térmico;
- f) recuperação energética; e,
- g) sistema AAA de tratamento (adaptado de ACUÑA e AGUIRRE, 1999b).

Descrição das opções técnicas (adaptado de GOVERNO ..., 2004):

a) Aterro sanitário: “é um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, particularmente lixo domiciliar que, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, **permite um confinamento seguro** (camadas cobertas com material inerte, geralmente solo) **em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública**”. Para não comprometer o ambiente, alguns cuidados devem ser tomados em relação à escolha da área, implantação do projeto executivo na sua plenitude, operação e, principalmente, ao monitoramento constante do aterro sanitário e seus efluentes (MMA, 2004a; 2004b; 2004c; 2004d; 2004e; 2004f);

b) Centrais de Triagem e Compostagem de RSU: o tratamento ou industrialização do lixo é um conjunto de atividades e processos que visam a promover a reciclagem de material inerte e à transformação da matéria orgânica putrescível, num produto orgânico estável, através do processo denominado compostagem. Na maioria das cidades brasileiras, a coleta é realizada sem

que haja uma prévia segregação do material reciclável e do material orgânico. De acordo com a técnica utilizada no transporte do resíduo, em geral, caminhão compactador, o material potencialmente reciclável apresenta-se com alto grau de impureza e difícil separação. Este tipo de coleta acarreta inúmeros problemas operacionais nas Centrais, entre eles:

- ♦ perda significativa de material, que poderia ser reciclado e vendido fica impregnado de resíduo orgânico (úmido), compactado no próprio caminhão de coleta;
- ♦ o processo de limpeza é oneroso, principalmente do resíduo plástico (que exige grandes áreas dentro das centrais), gerando um desinteresse por parte da indústria recicladora, pois o material apresenta grande porcentagem de impurezas, devendo sofrer uma pré-lavagem, o que significa aumento de custos operacionais; e,
- ♦ uso de equipamentos mecanizados como esteiras transportadoras, prensas ou separadores magnéticos, maquinários que exigem alto investimento.

Estudos preliminares são essenciais para a implantação com sucesso das Centrais de Triagem e Compostagem de Lixo Urbano, com as seguintes considerações:

- ♦ existência de mercado consumidor para absorção da sucata e do composto orgânico;
- ♦ por ser um processo biológico, a compostagem só será eficiente se o processo for controlado e monitorado de forma contínua e adequada, garantindo, assim, a qualidade do composto final;
- ♦ para ser utilizado como condicionador do solo, o composto final deverá apresentar alguns parâmetros físico-químicos e determinado grau de maturação (para este controle são necessários testes de nitrogênio solúvel e testes de germinação para determinação do nível desejado);
- ♦ mercado consumidor próximo, para pelo menos, três tipos de produtos recicláveis;
- ♦ equipamentos de coleta regular compatível com o objetivo da Central, (evitar caminhões de coleta com compactação e trituração);
- ♦ pátio de compostagem com drenagem e com área suficiente para o tempo necessário para a cura da matéria orgânica, essencial para o completo processo da maturação do composto;
- ♦ implantação de um aterro sanitário paralelo à Central, para acondicionar o rejeito gerado no processo (em torno de 20% do volume total) e para o resíduo bruto, nos períodos de chuva (dificuldade na triagem do material, devido ao alto teor de umidade);

- ♦ disponibilidade de recursos para os investimentos iniciais (prensas, sanitários, refeitório, entre outros.);
- ♦ técnicos para acompanhamento, fiscalização e monitoramento durante a implantação da unidade e para a manutenção e operação dos equipamentos eletromecânicos;
- ♦ acompanhamento técnico diário para determinar procedimentos a serem empregados no processo de compostagem, com verificação constante da umidade, temperatura e oxigenação da massa orgânica;
- ♦ treinamento para equipe de classificadores (catadores); e,
- ♦ presença de **maquinário constante**, para o revolvimento da massa orgânica (leiras), para manter sob controle o processo de compostagem e para remoção e transporte do rejeito gerado até o aterro paralelo (vários autores, por exemplo TCHOBANOGLIOUS, THEISEN e ELIASSEN, 1977; CLARK, 1978; AISSE, OBLADEN e SANTOS, 1981; KIROV, 1971; USEPA, 1991; TCHOBANOGLIOUS, THEISEN e VIGIL, 1993; POLPRASERT, 1996; STESSEL, 1996; WATSON, 1999; VANDEVIVERE, DE BAERE e VERSTRAETE, 2003; GOVERNO..., 2004);

c) **Incineração**: forma de disposição final não utilizada em grande escala no Brasil, devido a seu custo elevado. É uma das tecnologias térmicas existentes para o tratamento de resíduo. Consiste, basicamente, em um processo de combustão controlada, com temperaturas, em geral, acima de 900°C, para transformar resíduo sólido, líquido e gás combustível, em dióxido de carbono, outros gases e água, reduzindo significativamente o volume e peso iniciais. O processo da incineração produz um resíduo biologicamente inertizado, com cerca de 10% do volume inicial. De acordo com as características apresentadas após o processo de incineração, o resíduo poderá ser disposto em aterro de resíduo perigoso, sanitário ou até mesmo ser reciclado. O tratamento de resíduos através do processo de incineração deve atender a todas as exigências legais e ambientais, segundo CONAMA 316 (MMA, 2004g). [Para atender a estas exigências o equipamento tem um custo bastante elevado, não só no investimento inicial, mas na sua constante manutenção, além de exigir mão-de-obra especializada];

d) **microondas**: outra forma de tratamento de alta tecnologia é o processo de microondas, em geral, empregado para tratamento de resíduo gerado em estabelecimentos de saúde, que consiste, basicamente, na desinfecção e alteração de características, tornando inativos os agentes patogênicos, tais como fungos, bactérias e vírus. O sistema de microondas se baseia na ação do

calor produzido pelos geradores de radiação eletromagnética de alta frequência, cuja principal diferença, em relação aos outros métodos, é a melhor capacidade de penetração da radiação e melhor uniformidade da condução da energia térmica. O tratamento de resíduo por microondas é constituído por uma entrada de carga, onde o resíduo é depositado de forma manual ou mecânica e segue para o triturador que, por sua vez, tritura o resíduo até a forma granulada. O resíduo é umedecido com vapor para umificar e avança para a câmara de desinfecção, onde são instalados vários emissores de radiação eletromagnética de alta frequência. A umificação e trituração prévia do resíduo são formas de acelerar o processo (GOVERNO ..., 2004). A radiação eletromagnética atua sobre as moléculas de água presente no resíduo, fazendo que vibrem em alta velocidade, o que gera calor, aquecendo a 95°C - 100°C;

e) plasma térmico: a tecnologia de plasma térmico tem sido utilizada para solucionar diferentes problemas ambientais, incluindo, diversos tipos de resíduos industrial, de saúde e, mais recentemente, valorizando o material anteriormente considerado como resíduo. [Tecnologia de alto custo operacional e, ainda, em desenvolvimento] (GOVERNO ..., 2004);

f) recuperação energética: a recuperação energética é um dos pontos que vêm sendo desenvolvidos, para transformar em energia elétrica, o resíduo não reciclável, mediante a aplicação de tecnologias de última geração, que garantam o respeito ao ambiente e à saúde pública (GOVERNO ..., 2004). Custos ainda são problema, mas aplicável onde não há alternativa melhor; e,

e) sistema AAA de tratamento: (ACUÑA e AGUIRRE, 1999b): idealizado dentro da filosofia de projeto sustentável, com ampla flexibilidade dada através de diferentes opções, permite manejar o RSU como matéria prima secundária, para, através de diferentes processos de seleção, depuração e produção, obter uma variedade de produtos para a indústria, a construção e o comércio, atendendo às exigências: de mercado (qualidade, preço e disponibilidade), técnicas (factível, econômica e lucrável), ambientais (sem poluir ar, água e solo), sociais (criando empregos permanentes, resgatando socialmente os catadores, dignificando o catador, criando bem-estar e saúde) e legais (satisfazendo toda a legislação pertinente e futura), para implantação progressiva (em etapas), do modo mais adequado às condições locais (vide 3.4.2.5, pág. 66; 3.4.3, pág. 70, 3.4.4, pág. 73 e APÊNDICE A, pág. 219 a 222).

3.4.2.4 Disposição final do resíduo adequada à realidade do município

Dentre as técnicas apresentadas para destinação final de resíduo, a tecnologia mais econômica [estratégia de menor gasto] e que vem de encontro à Legislação e à realidade da situação sócio-econômica dos municípios é a forma de aterro sanitário, sendo esta, a técnica mais recomendada atualmente no país. A implantação de aterro sanitário, em lugar dos lixões, e a reciclagem alavancarão benefícios inesgotáveis ao ambiente, priorizando a economia dos recursos naturais, o aumento da vida útil dos aterros sanitários e a geração de novos empregos” (GOVERNO ..., 2004).

Se aplicar um sistema que, em lugar de gasto, permita obter lucro (CALDERONI, 2002), além de satisfazer aos outros requisitos, se teria uma fonte de recursos para que o município aplique. Avaliar qual a disposição final do RSU mais adequada à realidade do município é muito complexo. Uma ferramenta computacional que facilite os cálculos, que incorpore recursos de Inteligência Artificial (WIDMAN, LUPARO e NIELSEN, 1989) e que possa ser usado em forma compatível com outros aplicativos, facilitaria enormemente esta tarefa.

Utilizando dados relevantes fidedignos, proporcionaria prognóstico de resultados esperados bastante confiáveis.

3.4.2.5 Processo integrado AAA de tratamento (ACUÑA e AGUIRRE, 1999b)

O processo integrado AAA para o aproveitamento integral do RSU, proposto por Acuña e Aguirre, com reciclagem e industrialização do material inorgânico (ACUÑA e AGUIRRE, 1999b) e tratamento da fração orgânica (ACUÑA e AGUIRRE, 1999a), para a produção de

metano e húmus de alta qualidade, foi projetado para tratar, em forma progressiva, o RSU até que, finalmente, se tenha reduzido ao máximo o resíduo para aterro (aproveitamento integral sem poluir ar, água ou solo).

Aos atuais métodos de coleta manual dos material reciclável da fração inorgânica, seria acrescentada sua industrialização, agregando valor e melhorando, substancialmente, a lucratividade do negócio (LIMA, 1985; CECCHI et alii, 1992; ACUÑA e AGUIRRE, 1999b; DE BAERE, 2000; PAVAN, BATISTONI e MATA-ALVAREZ, 2000).

Também, a fração putrescível do resíduo urbano e outros resíduos orgânicos (esgoto sanitário, por exemplo) é processada adequadamente para produção de metano, gás carbônico e húmus ou composto agrícola (ACUÑA e AGUIRRE, 1999a). O sistema integral de tratamento da fração orgânica de RSU inicia-se quando o material é descarregado numa sala fechada (para evitar a propagação de odores) e alimenta uma peneira rotatória que separa o material mais grosso, para separação manual do material objetável (latas de tinta e solventes, plástico, metal, vidro). O material que passa na peneira (aceito) é descarregado numa correia transportadora, em camada fina, para inspeção visual e retirada de eventuais contaminantes, de difícil tratamento posterior, e alimentado ao desagregador, onde o material orgânico é misturado com húmus reciclado (inóculo) e é desagregado entre 5 e 10% de sólidos totais a 60°C. Para separar poluentes, como baterias e outros materiais pesados, o desagregador conta com uma caixa de rejeito. O material leve é separado por flotação. O material que passa pelos furos de 19 mm da placa de extração do desagregador é drenado e alimenta, através de uma rosca desaguadora, o biodigestor, construído com paredes revestidas com material isolante térmico. O material que não desagrega e acumula no desagregador é retirado periodicamente por um sistema de purga. O efluente da prensa vai para tratamento de efluente e a água recuperada, para diluição do composto. O biodigestor pode ser de fluxo ascendente ou descendente, com agitação intermitente, com o próprio gás, sem metano, da massa no seu interior, para evitar caminhos preferenciais do material. O biogás produzido é concentrado em metano pela lavagem em torre descarbonatadora ou membranas de ultrafiltração e comprimido para estocagem, após secagem. O gás carbônico, separado, retorna ao biodigestor com injeção pelo fundo, para contribuir com a agitação e desprendimento de gás e, espera-se, para aumentar o rendimento de metano pela reação do gás

carbônico com hidrogênio (produzindo metano e água). O húmus produzido, após a remoção da quantidade máxima de água na prensa, que é reciclada para o desagregador (usada como inóculo), é secado com gás quente da combustão do metano no motogerador a gás, usado para produção de energia elétrica. Após análise, o húmus é ensacado para diversos usos, segundo sua composição. O húmus produzido e certificado para uso agrícola será livre de poluentes para o solo ou água subterrânea. O efluente do equipamento desagregador (prensa da alimentação) é tratado num filtro biológico anaeróbio. A água excedente do processo serve para uso industrial ou agrícola, adaptando o tratamento, segundo condições locais. O lodo produzido no tratamento de água vai para o biodigestor. O gás quente de escapamento do motogerador é usado para finalizar a secagem do húmus. Ainda quente na saída, é esfriado com água recuperada, que, assim aquecida, é usada para alimentar o desagregador. O gás esfriado é retornado ao biodigestor ou purificado por um filtro biológico antes de ser liberado à atmosfera, livre de poluentes e odores. A umidade condensada é água pura (destilada). A idéia original (ACUÑA e AGUIRRE, 1999a) foi construir e testar um sistema prático e econômico para a compostagem anaeróbia, a partir da fração orgânica do resíduo sólido municipal.

O sistema completo para produção de metano e composto, conforme Fig.3.2 é integrado pelos seguintes módulos:

- (1) Pré-tratamento;
- (2) Tratamento de efluentes líquidos;
- (3) Biodigestor;
- (4) Tratamento do composto; e,
- (5) Depuração e estocagem de gases.

O módulo 1 (Fig.3.2), para pré-tratamento do resíduo sólido urbano, tem a finalidade de separar, da fração orgânica do resíduo sólido urbano, o material contaminante que deprecia ou inviabiliza a produção de um composto para uso comercial, minimizar a presença de substâncias tóxicas ou inibidoras da digestão, reduzir tamanho de partícula (PALMOWSKI e MÜLLER, 2000), hidrolizar o material orgânico complexo e preparar uma suspensão homogênea e fluída, de fácil manejo com técnicas industriais (bombas, tubulações, tanques, agitadores, separadores físico-químicos e biológicos).

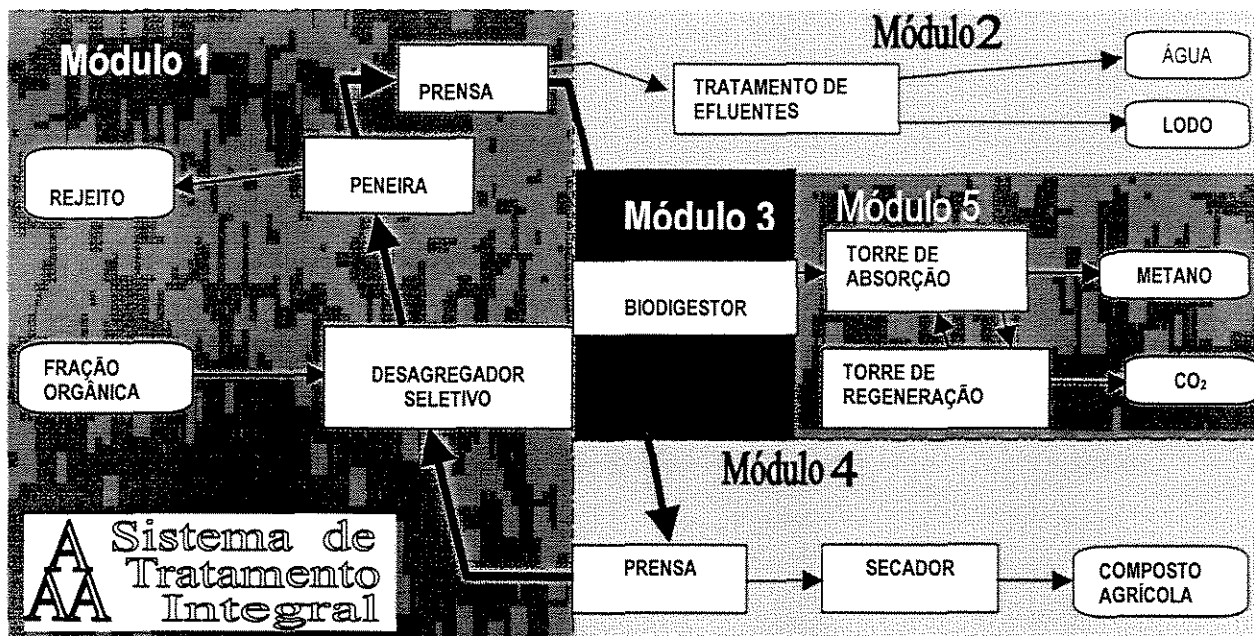


Figura 3.2 Módulos do Sistema AAA de tratamento da fração orgânica

Fonte: ACUÑA e AGUIRRE, 1999a.

Para melhorar ainda mais a qualidade do composto, alguns outros passos (componentes) podem ser necessários para a separação efetiva dos poluentes efetivamente presentes (tintas, vernizes, solventes, óleos lubrificantes, antibióticos, hormônios, baterias, borrachas, vidros, pilhas, plásticos, metais).

O módulo 2 (Fig.3.2), para tratamento de efluentes líquidos, tem a função de recuperar a água do processo, tornando-a compatível com seu uso em sistema fechado e sem gerar mais resíduo inaproveitável ou poluente.

O módulo 3 (Fig.3.2), processamento em biodigestor, permite controle de processo para maximizar a produção de metano e minimizar a perda de matéria orgânica putrescível.

O módulo 4 (Fig.3.2) é para o tratamento do composto, recuperando as bactérias para o processo, mediante extração e lavagem do composto, levando o líquido efluente da prensa desaguadora para o desagregador, fechando o ciclo das bactérias metanogênicas.

O composto prensado é desumidificado (secagem com ar seco em ciclo, recuperando água destilada), seco com gases quentes até a umidade máxima permitida pela norma NBR 13591/96 (ABNT, 2004), analisado, ensacado e rotulado com ficha identificando data, análise, peso, tipo de composto e tipo de uso (agrícola, incluso vermicultura e produção de cogumelos, painéis de construção e, até, como combustível sólido, segundo classificação da análise).

Módulo 5 (Fig.3.2), para depuração e estocagem de gases: o biogás produzido na digestão é, basicamente, uma mistura de gás carbônico e metano, com quantidades pequenas de amônia e ácido sulfídrico, dependentes da composição da fração orgânica.

Os métodos de depuração mais usados são ultrafiltração por membranas ou descarbonatação em torre com um reativo químico apropriado. Se usada a descarbonatação, é necessária outra torre para a regeneração do reativo e produção do gás carbônico. Os métodos podem, também, ser usados combinados, dependendo da pureza desejada. O metano pode ser comprimido a alta pressão, para estocagem em cilindros apropriados, como os usados para gás natural veicular, do qual pode ser um concorrente de origem renovável (Vide APÊNDICE A, pág.219 a 286).

3.4.3 Impacto estratégico do projeto integrado Acuña e Aguirre (1999b)

Hoje, muitas prefeituras estão adotando a coleta seletiva, separando em dois grupos, para facilitar a reciclagem do “lixo reciclável” ou “lixo seco”. Resta o problema da fração orgânica ou “lixo úmido”. Entre as soluções apresentadas, está o aproveitamento da fração orgânica do resíduo sólido urbano para produção industrial de metano e húmus (CECCHI et alli, 1992; SIX e DE BAERE, 1992; MARTIN, 1991; ACUÑA e AGUIRRE, 1999a; VANDEVIVERE; DE BAER e VERSTRAETE, 2003). Dentro dos parâmetros de desenvolvimento sustentável, o Projeto Acuña e Aguirre (1999a) é um projeto integrado de grande relevância e de interesse

coletivo e nacional (Fig.3.3). Pode ser inserido nos programas energéticos nacionais, no planejamento de uso do solo, no planejamento agrícola, nos programas de saneamento municipal, etc. com os seguintes impactos estratégicos:



Figura 3.3 Esquema conceitual do Sistema AAA

- ♦ **nos setores econômicos diretamente envolvidos:** indústria (produção de composto orgânico, matéria prima reciclável), energia (produção de energia a partir de fonte renovável, utilizando compostagem anaeróbia), comércio (comercialização de matéria prima reciclável, de metano, gás carbônico e húmus) e agricultura (composto orgânico que serve para recuperação da cobertura vegetal, reduzindo uso de pesticidas e fertilizantes, melhorando capacidade de reter água e nutrientes no solo, protegendo contra a erosão);
- ♦ **nos setores econômicos indiretamente envolvidos:** transporte, indústria, alimentação e serviços. Em geral, usuários de matéria prima reciclável, gás metano e agricultores orgânicos;
- ♦ **aproveitamento de matéria prima nacional:** tanto a fração inorgânica como a fração orgânica do resíduo sólido urbano, produzido no Brasil podem ser consideradas fonte de matéria prima nacional;

- ♦ **utilização de fonte energética inesgotável:** a fração orgânica do resíduo sólido urbano pode ser considerada uma fonte renovável e inesgotável de matéria prima para a produção de metano, gás carbônico e húmus;
- ♦ **substituição de gás natural importado:** na medida em que os sistemas de produção vão sendo instalados em cada município, pode ser substituído, parcial ou totalmente na região, o gás natural importado, eliminando a dependência externa e a saída de divisas. Requer tratamento para igualar o poder calorífico do gás natural (PETROBRAS, 2002);
- ♦ **aumento nas possibilidades de exportações:** devido às melhoras no rendimento agrícola no campo, sem produtos tóxicos e poluentes, poderá permitir a produção de alimentos orgânicos certificados, com crescente demanda, principalmente, no mercado europeu e norte-americano; também, existe demanda crescente de muitos materiais recicláveis, que devem satisfazer a requisitos de qualidade e quantidade, sendo, assim, valorizados;
- ♦ **potencial de substituição de derivados de petróleo como combustível:** melhor preço por quilômetro rodado (perto de 70% de economia), com 10% menor potência mas sem poluir, são poderosos incentivos para quem rodar acima de 1000 km/mês, para o uso do metano como combustível automotor, mesmo com o custo de conversão dos veículos. Os mesmos argumentos usados para o uso do gás natural veicular são válidos para o metano concentrado e purificado;
- ♦ **ar limpo:** resultará do uso generalizado do metano como combustível automotor, pois os gases de escape são gás carbônico e vapor de água, somente (vantagem importante para cidades com problemas na qualidade do ar, como São Paulo); e, também, a técnica da reciclagem contribui para a qualidade do ar. O uso inadequado da incineração de RSU é, também, um fator negativo;
- ♦ **recuperação social dos catadores:** resultante da implantação de coleta que segrega o resíduo em reciclável e não reciclável, facilitará à seleção de materiais reutilizáveis e recicláveis, recuperando socialmente os catadores que, atualmente, vivem com suas famílias em condições sub-humanas nos lixões (absorção de mão de obra, melhora de qualidade de vida proporcionando melhor remuneração, melhores condições de trabalho, treinamento, redução de acidentes, etc);
- ♦ **melhoras sanitárias importantes e irreversíveis:** mesmo a parte inutilizável da fração separada como reciclável do resíduo sólido urbano indo para aterro, esta não provocará decomposição e atração de vetores transmissores de doenças. A fração que se decompõe, coletada

separadamente, será tratada para a obtenção de biogás e composto, eliminando odores, instabilidade do solo nos aterros e proliferação de vetores e sem poluir águas superficiais ou subterrâneas. Eliminando a emissão, não controlada, de metano à atmosfera, se reduzirá o efeito estufa (metano contribui, segundo diversos autores, por exemplo, Baldasano e Soriano (2000) e De Baere (2000), entre 21 e 35 vezes mais ao efeito estufa que o gás carbônico);

- ♦ **créditos de carbono:** nova área de grande importância econômica, o sistema proposto, similar a outros análogos (VIVEIROS, 2004), permite o seqüestro do metano, para ser utilizado como combustível em vez de ser liberado à atmosfera;

- ♦ **grande potencial de efeito multiplicador e de desenvolvimento sustentável:** sistema econômico, prático, seguro, efetivo, confiável e fácil de operar, com relevância econômica, com impacto social e ambiental positivos, com elevada importância estratégica reduzindo dependência de importações, com efeito multiplicador e de alavancagem do desenvolvimento tecnológico sustentável;

- ♦ **produtividade agrícola orgânica:** no campo, a agricultura orgânica (livre de pesticidas e substâncias cancerígenas) será acessível a agricultores pobres, com mínimo investimento; e,

- ♦ **recuperação de solos esgotados:** recuperação de solos esgotados ou sem a camada orgânica mediante aplicação massiva de húmus é outra grande vantagem.

3.4.4 Impactos ambientais do sistema AAA

Os impactos ambientais negativos esperados são evitados ou minimizados (ACUÑA e AGUIRRE, 1999a e 1999b):

- **Implantação do sistema.** Obras civis complementares, normalmente, não são requeridas. A topografia natural do terreno, se existente, deve ser aproveitada para os fluxos e concentrações em cascata ocorrerem por gravidade. Se forem seguidas as normas de construção civil, industrial, instrumentação e elétrica, assim como as recomendações para um projeto ágil e os aspectos práticos das instalações de biotecnologia, para facilitar aseio e

limpeza das instalações, não haverá impactos negativos. Não usando terraplenagem e máquinas pesadas, não existirá fonte de barulho e poeira, tradicionais nos aterros sanitários, assim como, no possível, será evitada a necessidade de impermeabilização de grandes áreas, que ocorre nos aterros sanitários. Em todo o perímetro da instalação, o uso de muros vegetais servirão tanto como barreiras acústicas e visuais, como para contribuir com o paisagismo do ambiente;

- **Operação e manutenção do sistema.** Os caminhões de coleta descarregam numa sala fechada (sub-pressurizada) para evitar desprendimento de odores, são lavados com. água recuperada e saem. O material de tipo biodegradável é processado numa linha, como esquematizado na Figura 3.2 (pág.69) e nas Figuras 2 e 3 do Apêndice A (pág.221 e 222), onde são detalhadas ademais as linhas de processamento da fração inorgânica, segundo as etapas de implementação. O rejeito gerado no processamento é destinado a aterro, na etapa inicial, e, na etapa final, é aproveitado integralmente, sendo reciclado e/ou reutilizado. As máquinas de operação barulhentas devem ter isolamento acústico adequado para não produzirem ruídos molestos. Os efluentes do processo têm fluxo com sistema em cascata. O efluente final é tratado e reciclado no processo. O excedente (sobra) pode ser comercializado ou vertido num curso de água, com tratamento prévio para o compatibilizar com as características do curso receptor. Os efluentes gasosos, também, são compatibilizados com o ambiente receptor. O calor gerado no processo é comercializado ou usado internamente. Existem múltiplas formas de aproveitamento, como para a secagem de grãos e obtenção de água destilada, etc. Na manutenção podem ser geradas quantidades menores de rejeito sujo de óleo e graxa e metais, que devem ser adequadamente tratadas para evitar disseminação da poluição. Desta forma, os impactos ambientais negativos são evitados ou minimizados; e,
- **Plano de encerramento e uso futuro da área.** Como não existe acumulação de contaminantes, todo o material que entra sai, não há restrição para uso futuro da área.

Os impactos ambientais positivos do sistema AAA. são (ACUÑA e AGUIRRE, 1999a e 1999b):

- gradativa redução de material a ser enviado para o aterro, à medida que novos materiais encontram mercado e são recuperados;

- produção de água destilada de alta pureza e, também, de húmus livre de poluição para uso agrícola;
- redução de emissão de gases efeito estufa e geração de créditos de carbono;
- indiretamente, o aproveitamento de matéria secundária reduz o impacto ambiental de sua produção como matéria prima, especialmente nos metais e papéis; e,
- a eliminação da matéria orgânica indo para o aterro elimina o efeito poluidor deste material, eliminando a proliferação de vetores de doenças, a instabilidade do solo do aterro, a emissão de gases efeito estufa, a poluição potencial de cursos de água com chorume, a geração de odores, e os custos do aterro, eliminando a necessidade de manta impermeável, monitoramento durante décadas da área aterrada, mesmo depois seu encerramento, a eliminação do barulho e poeira da implantação de aterros, etc.

3.5 Modelagem e Simulação por Computador

“Desenho é uma das formas mais expressivas e exatas de linguagem de engenheiro” Professor Vicente Ferreira, citado por Pinheiro (PINHEIRO,19??). Alguém observou, e está certo, que onde tem um engenheiro falando, em algum momento, este vai pegar papel e lápis para fazer um desenho explicativo.

O *design* é uma atividade especializada, de caráter técnico-científico, criativo e artístico, com vistas à concepção e desenvolvimento de projetos de objetos e mensagens visuais que equacionem sistematicamente dados ergonômicos, tecnológicos, econômicos, sociais, culturais e estéticos, que atendam concretamente às necessidades humanas. Hugo Lagranha (CANAL DO ENGENHEIRO, 2003).

A prática da ciência e da engenharia é usar palavras de uso diário (comunicação) com um significado mais restritivo (para evitar ambigüidade). Mas diferentes autores usam, às vezes, o mesmo termo com significados diferentes. A definição dos conceitos é importante para evitar confusão (vide Glossário). Segundo Delaney e Vaccari, (1989), sistema é a parte da realidade que pode ser distinguida do resto do mundo, de alguma maneira.

Segundo Barros, (1974), o mesmo sistema pode ser representado por diferentes modelos, ou descrições abstratas do sistema, dependendo do objetivo. Um sistema tem duas características fundamentais: é unitário e pode ser decomponível em sub-sistemas. O sistema e seus componentes podem ser medidos e suas propriedades podem ou não variar com o tempo. Há variáveis físicas e matemáticas. As físicas são do mundo real e as matemáticas são do modelo, que representa a realidade. As variáveis podem ser de entrada (causa), de saída (efeito) e de estado do modelo. Atividade é o conjunto de todos os comportamentos possíveis do sistema físico, dependendo das condições do ambiente (influência externa). O estado é a condição representada por um sistema em certo tempo. O comportamento de um sistema pode ser contado e predito, sem se conhecer toda sua história. Os eventos são combinações de estado e de tempo. O comportamento do sistema pode ser descrito pelo total dos eventos, pois contém todos os valores de estado, em todos os tempos. Os sub-sistemas são componentes do sistema e podem interagir. A estrutura do sistema descreve todos os componentes e suas inter-relações. A conexão entre sub-sistemas é essencial para sua função. A ciência encontra explicações estruturais (internas) para os aspectos funcionais (externos) do sistema e a funcionalidade explica a estrutura. O modelo sempre é realizado para satisfazer a um objetivo. Seu propósito serve como critério para testar desempenho do modelo. O modelo é completo, somente, quando conta com todos os elementos necessários para satisfazer completamente ao propósito do estudo. O critério mais apropriado para julgar o desempenho é a utilidade do modelo, segundo Delaney e Vaccari, (1989).

Segundo LabMec (UNICAMP, 2003), a ciência e a engenharia, através dos séculos, têm realizado a modelagem matemática de muitos fenômenos naturais mas, até o advento de métodos e dispositivos computacionais modernos, a utilização plena da maioria destes modelos estava fora do alcance das comunidades científicas e de engenharia. Hoje, os avanços em métodos

computacionais transformaram a maneira como a engenharia e a ciência são feitas no mundo. As teorias da mecânica dos sólidos e dos líquidos, do eletromagnetismo, transferência de calor, da física de plasma, de muitas reações químicas, bioquímica, físico-químicas, da nano ciência e de outras disciplinas científicas são executadas com métodos computacionais em projetos de engenharia, administrando e estudando uma grande gama de fenômenos físicos.

Muitos dos problemas relacionados com a Inovação Tecnológica, na fabricação, operação e manutenção de máquinas e fábricas para novas aplicações, podem ser solucionados através de melhor “design” para máquinas de serviço pesado, pela simulação de seu desempenho. Na etapa de projeto, o uso de metodologia atual da engenharia mecânica permite o desenvolvimento de máquinas de pequeno porte e, integrando a Engenharia Civil, a Engenharia Agrícola, a Engenharia Química e outras, o desenvolvimento de máquinas específicas de grande porte, capazes de operar em forma ininterrupta por longos períodos. A simulação de sistemas permite incorporar e testar diferentes soluções, incluso analíticas, com muitas simplificações, mas incorporando detalhes importantes, usando diferentes técnicas para o tratamento das incertezas, como a teoria de probabilidades e a lógica nebulosa (“fuzzy”).

Existem diversos aplicativos comerciais, que permitem facilitar os projetos com auxílio de computador. Cada aplicativo apresenta vantagens e inconvenientes a serem considerados para a escolha daquele que permita a satisfação dos objetivos na forma mais próxima à realidade possível. A simulação da realidade, por computador, em muitos casos, amplamente conhecidos, é banal, mas em outros, devem adotar-se precauções para o caso das suposições não se verificarem na prática.

O grande desafio é modelar, em curto prazo, os sistemas possíveis de tratamento de RSU para sua análise técnica, considerando a viabilidade econômica e os impactos ambientais, sociais e sanitários. Mas a natureza humana está imbuída com o desejo (e deste se beneficia) de formular problemas de alto grau de dificuldade e, então, tentar laboriosamente, sua solução satisfatória (THE SOCIETY ..., 2003).

O avanço efetivo se produz, quando vários esforços são somados, na mesma direção, e unificados em forma útil e prática. Muitas pessoas têm trabalhado tentando encontrar métodos e soluções para o problema da crescente geração de resíduo das cidades. Também, muitas pessoas têm desenvolvido modelos de simulação de diferentes áreas, beneficiando-se progressivamente, dos avanços no conhecimento dos sistemas simulados e nos recursos de simulação incorporados.

Agora, este grande desafio está em unificar todo o conhecimento relevante acumulado, para simular o desempenho de um sistema, que tem uma configuração muito variada, pela necessidade de incluir sistemas diferentes. Também, tem grande quantidade de dados e variáveis, dependentes da configuração escolhida, e que, requerem conhecimento especialista para o tratamento adequado de todas as variáveis envolvidas, de modo que a solução seja otimizada para as condições locais do estudo. Também, o modelo de simulação não deve perder generalidade e aptidão, para repetir o estudo em outras condições locais e encontrar, também, a solução ótima recomendada, de forma automática ou para seleção por comparação e discussão dos resultados. Finalmente, para ampla utilidade, deve ser formulado na linguagem acessível aos usuários e apresentar utilidade prática para resolver, de forma facilmente aplicável, problemas complexos e laboriosos de resolver por outros métodos.

3.5.1 Modelagem Matemática

O modelo de um sistema é uma representação abstrata simplificada, que deve se comportar da mesma forma que o sistema real se comporta. No modelo, se pode interagir. O modelo é uma simplificação de um sistema real, eliminando todos os detalhes não relevantes para a obtenção da solução. O modelo pode ser uma figura geométrica, uma redução à escala da forma a estudar, uma equação matemática ou um programa de computador para solução, por aproximação mediante cálculo numérico, ou outras representações ou abstrações da realidade. No Projeto de um avião, por exemplo, a Aerodinâmica é testada num túnel de vento com um avião

modelado em escala, construído de outro material. Como apenas a forma externa interessa, é simplificado (sem passageiros, tripulantes, piloto, assentos, comandos, etc).

A modelagem por computador é similar, mas não se modela apenas pela escala. Na simulação, é possível visualizar o desempenho do modelo em movimento, seguindo, em geral, as limitações físicas na forma de restrições do sistema. A modelagem, geralmente, é possível através de cálculo numérico (BARROSO, 1976).

Existe grande variedade de modelos matemáticos para diversos fins. Por exemplo, para prever o rendimento teórico (máximo) em metano possível de ser obtido, segundo a composição da fração orgânica do RSU, são conhecidas as equações de Buswell (equação 3.1) e de Buswell modificada em 1973 (equação 3.2) por Mao e Pohland, para incluir N e S (citadas em POHLAND e HARPER, 1985).

$$C_nH_aO_b + (n - \frac{a}{4} - \frac{b}{2})H_2O = (\frac{n}{2} - \frac{a}{8} + \frac{b}{4})CO_2 + (\frac{n}{2} + \frac{a}{8} - \frac{b}{4})CH_4 \quad (3.1)$$

$$C_aH_bO_cN_dS_e + (a - \frac{b}{4} - \frac{c}{2} + \frac{3d}{4} + \frac{e}{2})H_2O = (\frac{a}{2} + \frac{b}{8} - \frac{c}{4} - \frac{3d}{8} - \frac{e}{4})CH_4 +$$

$$+ (\frac{a}{2} - \frac{b}{6} + \frac{c}{4} + \frac{3d}{8} + \frac{e}{4})CO_2 + dNH_3 + eH_2S \quad (3.2)$$

Alguns exemplos de fórmulas químicas da composição da fração orgânica do resíduo sólido, para aplicação das equações 3.1 e 3.2, são apresentados na TABELA 3.1.

Os numerosos modelos matemáticos existentes não impedem inovar com novos modelos, cada vez mais complexos, que podem incluir os modelos existentes.

TABELA 3.1 Exemplos de Fórmulas Químicas da composição do RSU

Componente da fração orgânica	Fórmula Química
RSU	$C_{99}H_{149}O_{59}N$
Papel, Resíduos de jardins, Madeira	$C_{203}H_{334}O_{138}N$
Resíduos de alimentos	$C_{16}H_{27}O_8N$
Celulosa	$C_6H_{10}O_5$

Fonte: EMCOM, 1980, apud POHLAND; HARPER, 1985.

Um modelo matemático, muito usado, é baseado na lei de conservação da matéria, (citada desde Lavoisier e de domínio público). Em geral, expressa que o que entra, E , a um sistema é igual ao que acumula, A , mais o que sai, S , conforme expresso, matematicamente, na equação 3.3.

$$E = A + S \quad (3.3)$$

Também, as definições proporcionam modelos matemáticos. Por exemplo, a definição (também, de domínio público) da concentração C , em porcentagem em peso, de uma suspensão e diluição de sólidos D , em um líquido L , está expressa, matematicamente, na equação 3.4.

$$C, [\%] = \frac{100D[g]}{D[g] + L[g]} \quad (3.4)$$

Para simular o desempenho de um depurador é útil o conceito “Screening Quotient” Q , desenvolvido por Nelson (1981), para prever a eficiência de depuração E , [%] em função da taxa de rejeito R , [%] em peso. Mas o valor do “Screening Quotient”, que oscila entre 0 e 1, indica, quanto menor seu valor, que melhor é o depurador, o que gera certa confusão. Definindo um novo parâmetro, a seletividade S , como a diferença entre um e o “Screening Quotient” Q , na equação 3.5.

$$S = 1 - Q \quad (3.5)$$

Fazendo a relação válida para todo depurador probabilístico, se dispõe de um só parâmetro para caracterizar um depurador. Usando o conceito de Seletividade S , substituindo Q na equação original de Nelson (1981), resulta a equação 3.6, que é uma das bases do modelo matemático para obter a simulação do desempenho de um depurador em sua função básica, que é depurar, concentrando no rejeito, as impurezas presentes na alimentação.

$$E = \frac{R}{1 - S(1 - R)} \quad (3.6)$$

onde E = eficiência de remoção de contaminantes, R = taxa de rejeito em peso e S = Seletividade, expressadas todas como fração da unidade.

Da equação 3.6 obtém-se a Fig. 3.4, calculando E ao variar R , entre 0 e 1 (0,01; 0,02; etc), para cada valor da seletividade S .

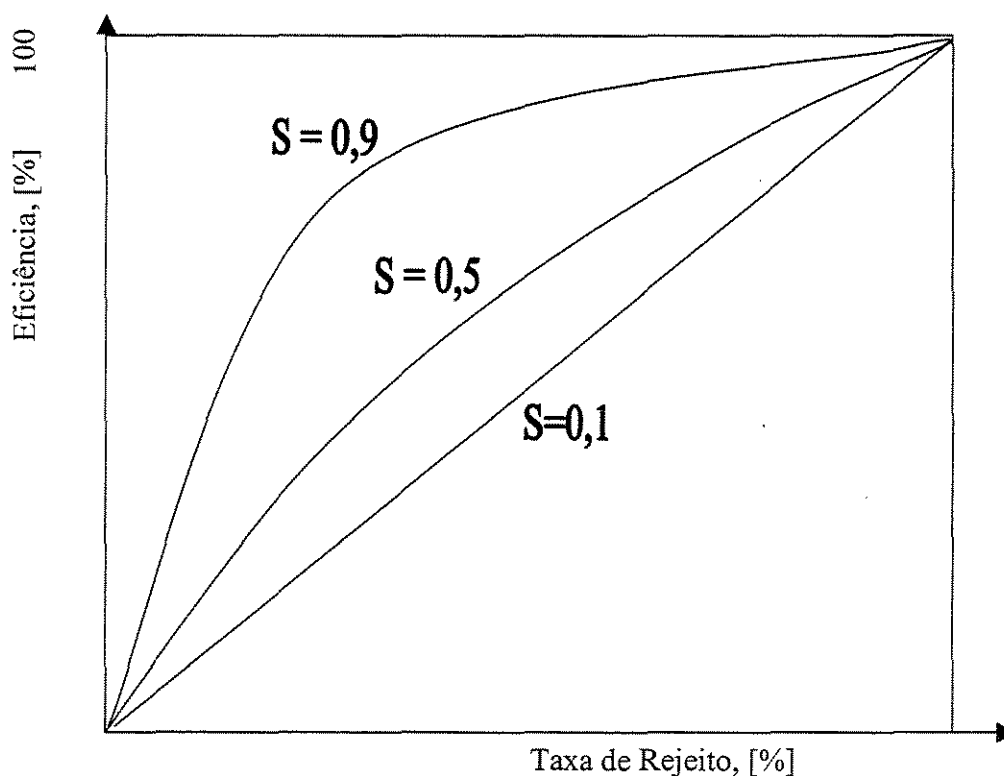


Figura 3.4 Eficiência versus Taxa de Rejeito, com Seletividade como parâmetro

3.5.1.1 Modelos e Simulação de Desempenho

Segundo Perin Filho (1995), existem, basicamente, os seguintes passos para se encontrar a solução de um problema:

1. estudar o problema - compreensão detalhada de suas características mais importantes e atividades de coleta e análise de dados;
2. identificar o sistema - descrição criteriosa de componentes, atividades, entidades, eventos, restrições, objetivos, etc.;
3. construir o modelo simplificado do sistema e detalhar as atividades de validação;
4. obter a solução - aplicar técnicas matemáticas e experimentar efeitos na simulação do sistema do valor encontrado;
5. operacionalizar a solução - implementar a solução obtida na modelagem no sistema real; e,
6. realimentar o modelo para corrigir ou fazer ajustes para reduzir erros.

Para modelar, é requerido conhecimento, bom senso, experiência, capacidade de síntese e de análise. Pode-se iniciar com um modelo básico, simplificado ao máximo, e ir incorporando informações necessárias para adequada representação do complexo sistema real.

A simulação de sistemas pode ser: analítica (representação exata), analógica (resultado equivalente exato) ou matemática (cálculo numérico com aproximações sucessivas, com resultado satisfatório, se validado), VN4D (2003).

O uso de simulação é indicado (SHIMIZU, 1975; LAW e KELTON, 1982; SMITH, 1987) para:

- estimar a distribuição de variáveis aleatórias;
- testar hipótese estatística;
- comparar cenários representando diferentes soluções para o problema em estudo;
- avaliar o comportamento de uma solução analítica; e,
- avaliar um processo de tomada de decisão em tempo real.

Para resolver problemas existem, em geral, três estratégias:

1. experimentação direta no sistema real ou sistema equivalente;
2. simulação do sistema real e realização de experiências virtuais para escolha da melhor solução por tentativa e erro; e,
3. resolução analítica, construindo o modelo analítico e aplicando método matemático para encontrar a solução.

A primeira estratégia permite, em muitos casos reais, sua simulação analógica, devido a responderem à mesma equação diferencial. Por exemplo, a equação 3.7 onde as variáveis estão identificadas na Tab. 3.2.

$$\alpha \frac{d^2 x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} + \chi x(t) = f(t) \quad (3.7)$$

TABELA 3.2. Significado físico dos símbolos usados na eq. 3.6, em diferentes sistemas.

Símbolo	Sistema	
	Massa/Mola	Elétrico
α	Massa	Indutância
β	Amortecimento	Resistência
χ	Elasticidade (Módulo)	1/capacitância
$f(t)$	Força	Voltagem
$x(t)$	Deslocamento	Carga elétrica
$\frac{dx}{dt}$	Velocidade	Corrente elétrica
$\frac{d^2 x}{dt^2}$	Aceleração	Taxa de corrente

Fonte: Perin Filho (1995).

Outros fenômenos, como hidráulicos, cinemáticos, térmicos, transferências de massa (físico-química e bioquímica), também, respondem à mesma equação diferencial e são, facilmente, resolvidos em computador analógico e, também, digital, com os aplicativos de química e química física existentes (CENAPAD, 2004).

A solução digital pode requerir uso de técnicas matemáticas sofisticadas como preditor/corretor e sua validação correspondente, para definir o valor do erro aceitável.

A simulação é aplicada, com vantagem, nos seguintes casos:

- tempo: situações em que a realização de experimentos reais requeriria anos e, na simulação, se pode obter em minutos, mesmo que se necesite algum tempo para a elaboração do programa de simulação;
- custo: mesmo que necessitem analistas, programadores e computadores, quando o sistema a ser simulado é de muito maior custo;
- impossível ou perigosa de realizar diretamente: sistema inacessível, inexistente ainda (não construído), ou que necessite muito tempo para ser construído;
- visualizar resultados: importante para decisões, facilitando compreensão com animações no tempo; e,
- outros: permite repetir experiências para observação detalhada, facilita mudanças, permite otimização por aproximações, fins didáticos, etc.

Sempre que possível, deve-se optar pela solução analítica, exata e rápida. A simulação é uma técnica flexível. Permite a construção de modelos de complexidade progressiva para representar a realidade melhor que o modelo analítico. Permite testar soluções e realimentar para aproximações sucessivas (deve convergir). A simulação é uma ferramenta para encontrar soluções aproximadas, de grande abrangência e flexibilidade. Para que as soluções encontradas tenham adequada aplicação no mundo real, os programas de simulação devem ser validados. O mesmo problema pode ser solucionado mediante diferentes técnicas e modelos. Podem ser incorporadas teorias como as probabilísticas e as de lógica nebulosa (“fuzzy”). A validação do modelo serve para comprovar se o modelo representa o sistema real com fidelidade suficiente para garantir a obtenção de soluções satisfatórias para o problema original. Um método de validação consiste em comparar o resultado da simulação em situações equivalentes, com o resultado conhecido de experiências no mundo real. No planejamento de experiências de simulação, os resultados devem permitir sua análise estatística. São especificados cenários dos experimentos, semelhantes aos gerados por variáveis aleatórias (síntese de várias fontes, por

exemplo, BARROS, 1974; BARROSO, 1976; DELANEY e VACCARI, 1989; BARROS, SCARMINO e BRUNS, 2001).

3.5.1.2 Benefícios da simulação por computador

A simulação por computador proporciona os seguintes benefícios:

- a simulação é barata. Muito mais barato que construir o real (SMITH, 1987; WORKING MODEL, 2004);
- pode ser feita no estágio inicial do projeto (SMITH, 1987; WORKING MODEL, 2004);
- oferece uma abordagem eficaz, versátil e fiável para resolução pela técnica numérica para cálculo de tensões e deslocamentos em estruturas e peças comuns das disciplinas de engenharia mecânica, civil, aeronáutica, naval e nuclear (PIMENTEL, 2003);
- modelos em 3D facilitam visualização sob qualquer ponto de vista (THOMAZ, 2003);
- maior confiabilidade e detecção de interferências em 3D (THOMAZ, 2003);
- obtenção de propriedades de volumes (THOMAZ, 2003);
- obtenção automática de desenhos cotados em 2D (SMITH, 1987; THOMAZ, 2003);
- visualizar funcionamento do modelo, mesmo em estágios iniciais do projeto (SMITH, 1987; THOMAZ, 2003);
- facilita comunicação de idéias de especialistas para não especialistas (SMITH, 1987; WORKING MODEL, 2004);
- permite ver o desempenho, em forma realista, para entender como funciona (SMITH, 1987; WORKING MODEL, 2004);
- permite incorporar recursos de inteligência artificial (vários autores, por exemplo SMITH, 1987; WIDMAN, LUPARO e NIELSEN, 1989);
- permite incorporar recursos de lógica difusa “fuzzy” (vários, por exemplo SMITH, 1987; WORKING MODEL, 2004);

- permite unificar conhecimento acumulado e usar recursos disponíveis para resultados úteis (SMITH, 1987);
- usa espaço e tempo virtuais. Pode rodar a velocidades vagarosas para mostrar efeito câmara lenta. O tempo virtual pode ser definido (SMITH, 1987; WORKING MODEL, 2004); e,
- permite experimentar os “Que...se...?” (várias fontes, por exemplo SHIMIZU, 1975; SMITH, 1987)
 - que sucede se aumentar o diâmetro do rotor? Se aumentar a altura?
 - que sucede se usar um algoritmo diferente?

Outros benefícios da simulação computacional são psicológicos, como por exemplo, pensar que os resultados gerados por computador estão sempre certos (perigo, também), ou que se alguma coisa não está considerada na análise, não é relevante, portanto, a simplificação é válida e se pode economizar tempo e esforço para não tentar achar os valores desses dados (SMITH, 1987).

3.5.1.3 Simulação computacional prática

Deve aportar soluções, mediante simulação realista, baseada em dados disponíveis, conhecimento científico e ferramentas de cálculo, ao “design” (desenho, projeto e forma) do sistema, mesmo antes do construir, para estimar, com adequada aproximação, seu desempenho para satisfazer as características desejadas pelo cliente (várias fontes, por exemplo WORKING MODEL, 2004);. Simultaneamente, deve proporcionar informação fidedigna para o adequado dimensionamento dos componentes e predição razoável de seu desempenho. Deve-se poder discernir entre o sistema simulado de conhecimento e o sistema bonito, mas sem nada que sirva. Deve-se diferenciar entre o projeto em ação simulada e, depois, o projeto em ação real (BARROS, 1974).

Construir máquinas de tratamento da fração orgânica do resíduo sólido urbano é um grande desafio. As informações práticas para o processo, algumas vezes, não existem. As suposições devem ser baseadas em fatos análogos e experiência para estimar valores de forma realista. Tais valores devem ser validados posteriormente, em sistemas funcionando na realidade. Adequados substitutos de componentes devem ser previstos enquanto se desenvolvem componentes chave.

O projeto deve responder, simultaneamente, em quatro áreas:

1. estratégia integrada, presente e futura, e enriquecida com as armas competitivas para adequado desempenho comercial;
2. que a solução responda às funções para as quais foi projetada (efetividade de tratamento, eficiência de separação de contaminantes, baixa perda de material orgânico no rejeito, bom rendimento de metano), adequação às condições de operação das empresas coletoras de resíduo, eficácia do desempenho, robustez adequada para operar por longos períodos sem manutenção e sem requerer atenção permanente do operador e de técnicos especialistas;
3. que entusiasme clientes potenciais ao visualizar seu funcionamento e entender como funciona; e,
4. esgotar possibilidades de coleta de dados e conhecimento para projetar um sistema real que funcione bem à primeira e permita validar completamente o sistema de simulação.

Para isso, o processo de produção do projeto é iterativo e interativo, com fundamental colaboração dos usuários. A forma prática de obter a colaboração do usuário é apresentar uma versão, rápida, simplificada do modelo, que funcione e resolva um problema específico do usuário. Isto motiva seu entusiasmo para colaboração produtiva. A validação do sistema permite materializar a solução ótima do projeto dos problemas que motivam a inversão, minimizando o risco do investimento e funcionando bem à primeira tentativa. Este objetivo se consegue após a comparação e ajuste do modelo com resultados obtidos em um sistema real, adequadamente modelado para resultados comparáveis.

3.5.2 Processo iterativo

No processo iterativo (MIRÓ, 2003) há uma soma de conhecimentos, com resultado sinérgico, como uma química, entre os seguintes elementos:

- ♦ conhecimento do processo;
- ♦ conhecimento dos dados relevantes;
- ♦ configuração do sistema;
- ♦ parâmetros que definem o sistema;
- ♦ dados de processo; e,
- ♦ dados locais.

Cada um dos fatores, separadamente, não pode garantir o sucesso do projeto. Devem-se fornecer as condições para que a reação aconteça, como exercício prático/tecnológico dos processos interligados para dar “vida” à simulação, ou seja, ter resultados realistas, precisão adequada e permitir ver e entender como funciona. O processo é iterativo quando responde de imediato à entrada de um dado do usuário, permitindo visualizar, em forma realista, seu efeito no sistema.

3.5.3 O processo iterativo de cálculo

Quando não se dispõe de antemão de todos os dados do problema, é necessário elaborar definições baseadas nos dados disponíveis. Com o procedimento de cálculo elaborado (equações diferenciais e outras), a partir de soluções tentativas (**valores iniciais**), refina-se, em cada série de

cálculos, de modo a convergir para os resultados que proporcionam a solução simultânea das incógnitas. Este é o cálculo iterativo.

3.5.4 Validação do programa computacional

Quando se tem feito suposições de **equações** que não permitem segurança nas soluções que aporta, se devem comparar as soluções com as respostas do sistema real às mesmas condições, fazendo os ajustes necessários nas equações para que novos testes permitam adequada aproximação dos resultados.

Nos processos de produção que têm um componente importante de criação e pesquisa (MIRÓ, 2003) como projetos arquitetônicos, “design” industrial, produções de TV, sistemas de simulação, etc, se constata na prática:

- nos serviços de alto valor agregado, a venda somente se produz ao final, quando após a prestação do serviço, se gera um usuário satisfeito;
- o mais rentável e eficiente, neste tipo de serviço, é achar a forma de “acertar à primeira”, considerando a definição das áreas de papel decisivo, a partir das fases preliminares, com profunda compreensão dos processos e descrição cuidadosa das circunstâncias; e,
- totalmente decisivo para gerar um usuário satisfeito, é que se integre ao processo decisório e de definições críticas.

Isso requer a formação de uma equipe multidisciplinar coesa, eficiente, capaz, experimentada e motivada, que permita a aplicação de método acorde com a atividade. (MIRÓ, 2003). Se a simulação responde à solução de uma equação diferencial (modelo analítico) e existem suficientes dados confiáveis, então é mais precisa. Se não encontrar solução, será apenas uma aproximação crua, dependente de ensaios empíricos. Quando não existe informação

empírica e os dados dependem de muitos fatores pouco conhecidos, **não é possível** substituir os testes práticos pela simulação para a obtenção dos valores que interessam para projeto.

3.5.5 Planilha Excel

As planilhas MS Excel (EXCEL, 2004) têm ampla capacidade de cálculo e diferentes funções para aplicações matemáticas, financeiras, de engenharia, estatísticas. Também, têm recursos adicionais que permitem, entre outros:

- ◆ criar formulários para entrada de dados, formatados com controles especiais e fórmulas que automatizam o preenchimento do formulário e o processamento dos dados inseridos;
- ◆ criar formulários que automatizem a transferência de resultados calculados para outro aplicativo ou para um documento, com formatação pronta;
- ◆ fazer cálculos iterativos e sequenciais, como os de balanço de fluxo de materiais e de energia, sistematizando os cálculos e com recursos adicionais e funções especiais;
- ◆ incluir na planilha, botões de comandos, inserção de dados, escolha de alternativas, etc. com ações pré-programadas;
- ◆ incluir recursos de análise dos resultados; e,
- ◆ representar graficamente os resultados com diferentes tipos de gráficos.

A Planilha Excel é de ampla disponibilidade e facilidade de uso, pelo que um aplicativo aí rodando não requer muito treinamento prévio do operador. Alguns limitantes são devido à estrutura de cálculo iterativo, mas podem ser contornados com as instruções adequadas (experiência no uso da planilha Excel pelo pesquisador). Na Figura 3.5, a planilha Excel está basicamente formada por linhas numeradas e colunas com letras. Cada célula fica identificada pelas coordenadas de coluna e linha, o que permite introduzir equações nas células e relacionar facilmente cálculos de uma célula com dados em outras células. A largura e altura das células podem ser ajustadas. Nas bordas externas estão as barras de comandos comuns dos aplicativos da

MS. Na base, adjacente à planilha, janelas de seleção de planilhas. Os cálculos são diretos, sem compilação e, também podem ser inclusas figuras e texto.

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3							
4							
5							

Figura 3.5 Representação da planilha Excel (parcial)

3.6 Modelos aplicados ao manejo de RSU

Existem numerosas aproximações diferentes de modelos aplicados ao manejo de RS, dependendo dos problemas que se desejam estudar. Reconhecida a complexidade do problema, a utilidade dos modelos é somente como ferramenta de ajuda de decisão. Os modelos mais abrangentes ainda estão em desenvolvimento. Destacam pela similitude conceitual e a abordagem de engenharia à usada neste trabalho, os trabalhos de Ansems (2004), Ljunggren (2004), e outros, desenvolvidos independentemente.

Todos abordam aspectos econômicos, alguns incluem aspectos ambientais. Todos aplicam abordagem caracterizado pelo problema que se deseja resolver. O mais extenso, (WILSON, 2004), aplica o conceito de ciclo de vida dos produtos como ferramenta conceitual, o que aplicam pelo menos outros 4 trabalhos na conferência de Suécia, com 26 trabalhos apresentados.

4 METODOLOGIA

Considerações preliminares:

1. a simulação deve estar baseada em dados disponíveis;
2. a simulação deve ser em linguagem computacional facilmente disponível e se deve poder executar em um computador pessoal; e,
3. o uso da simulação deve ser intuitiva, para que o operador a possa usar de imediato.

A tecnologia para simulação de sistemas está muito difundida. Sua aplicação para desenvolver um modelo básico de simulação do desempenho de um sistema de tratamento de RSU é inovadora nesta área no Brasil. A metodologia para a construção da estrutura modelo de simulação considera:

- a) função a desempenhar;
- b) escolha de componentes;
- c) definição da configuração física do sistema;
- d) análise matemática; e,
- e) ensaios para confirmar, estudar ou rejeitar a solução.

Para construir ou adicionar capacidades a esta ferramenta, os passos da metodologia seguida, são:

- definir, através do número de opções (item 4.1.4, pág.98), a configuração e seqüência de cálculos do sistema de tratamento de resíduo sólido urbano;

- definir a matriz de resultados do sistema, que tem implícitas as funções de cálculo correspondentes, em base aos dados de entrada, que devem ser definidos; e,
- definir a matriz de dados do sistema, necessários para se obter resultados.

Estes passos básicos devem ser repetidos para cada sistema de tratamento a ser estudado. Assim, para reduzir a complexidade do macro-sistema, este foi subdividido em sistemas, segundo as técnicas de tratamento, explicitadas na TABELA 4.1 (pág.99). Nesta dissertação, somente o sistema AAA foi simulado (parcialmente).

4.1 Desenvolvimento da ferramenta computacional de simulação

O ciclo de desenvolvimento de um modelo de simulação está apresentado na Figura 4.1.

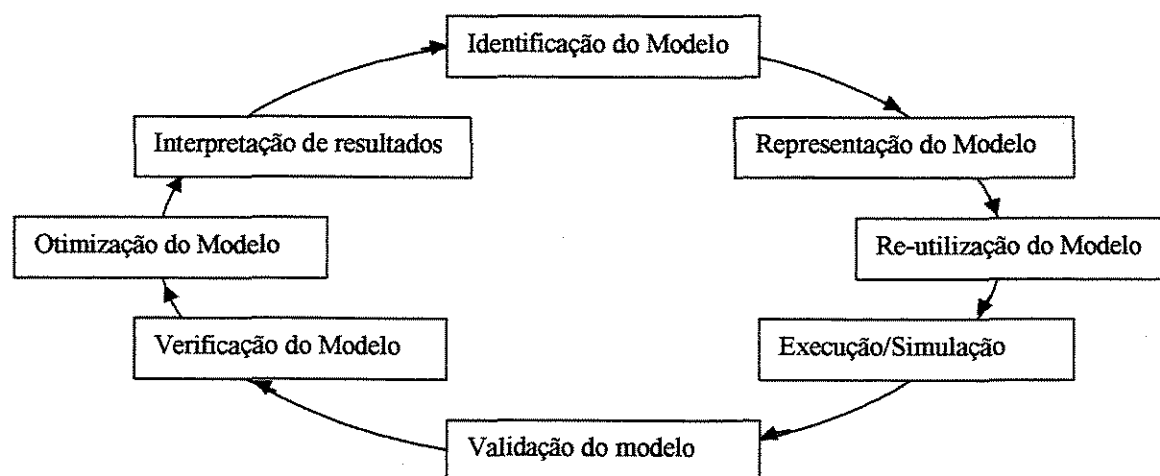


Figura 4.1 Ciclo de desenvolvimento de um modelo

Fonte: adaptado de GOVERNO ..., 2004

O desenvolvimento da ferramenta computacional de simulação segue o ciclo apresentado na Figura 4.1, com maior ou menor grau de aplicação em cada um dos oito passos,

mas a identificação e representação do modelo são feitos, principalmente, durante o estágio de desenvolvimento inicial.

A metodologia seguida foi:

- ♦ identificar o modelo: definindo a estrutura, componentes e funções do modelo:
 - para identificar o modelo, deve-se escolher a tecnologia de tratamento do resíduo, que define o sistema a modelar, neste caso, o sistema AAA;
 - identificar e listar as variáveis envolvidas no sistema (definido pela técnica de tratamento), separando variáveis independentes e dependentes; e,
 - estruturar modelos matemáticos para simular o desempenho de cada componente do sistema, de modo que os resultados sejam calculados a partir dos dados nas diferentes condições, definidas pelas opções;
- ♦ testar a representatividade do modelo; e,
- ♦ a ferramenta de simulação deve ter capacidade interativa, para permitir comparar resultados com diferentes opções (que definem a configuração e componentes do sistema), de modo a permitir a escolha dos valores otimizados para o projeto e operação de usinas de tratamento de RSU.

A ferramenta de simulação deve ter capacidade incorporada que permita, progressivamente, que se adicionem complementos, sobre a mesma estrutura. Conservada a estrutura, a planilha de cálculo requererá poucos ajustes para sistemas similares.

De fato, é sábio iniciar o modelo o mais simples possível, mas que funcione como esperado, para o apresentar ao usuário. Se o usuário aprovar, podem ser adicionadas, gradualmente, mais capacidades. Se o usuário pedir algo diferente, é fácil mudar no início.

O essencial é que o modelo seja útil, ou seja, solucione facilmente um ou mais problemas do usuário.

Com sucessivas complementações, se transformará numa ferramenta de ampla e fácil aplicação, destinada a facilitar a seleção de metodologias e práticas de tratamento do resíduo sólido urbano, incluindo o conceito de desenvolvimento sustentável.

4.1.1 Tratamento matemático

A solução matemática do problema, envolve 4 passos básicos:

- 1 **formulação do problema:** onde se definem as características e componentes do sistema, expressando o problema em linguagem matemática, baseado nas leis da física que governam o processo em estudo. Geralmente, é necessário conhecer as variáveis que intervêm e suas relações ou, pelo menos, fazer análise dimensional e supor quais serão relevantes, para testar, depois, no passo 4;
- 2 **solução formal:** construção do modelo, ou modelos, que representa(m), com todas suas características, o sistema; especialmente, as operações lógicas apropriadas para resolver o problema, relacionando as variáveis de entrada e de estado do sistema, com as de saída que satisfazem aos objetivos. Neste passo, existe grande variedade de soluções prontas ou que podem ser facilmente adaptadas. Caso não esteja disponível uma solução, deve-se implementar com a programação das funções adequadas. Se não é conhecido o fenômeno e as leis que o governam, aplicam-se soluções empíricas ou uma suposição preliminar;
- 3 **interpretação:** consiste em desenvolver a relação entre os resultados do sistema e seu significado no mundo físico, para verificar se satisfaz aos objetivos do sistema; e,
- 4 **refinamento:** repetição do processo, usando-se parâmetros obtidos nas simulações anteriores, visando a convergir para obter melhor predição do comportamento do modelo, mediante os ajustes necessários, como indicado pelas experiências de validação do sistema.

4.1.2 Análise Dimensional

A análise dimensional é a ferramenta que permite listar, selecionar e escolher variáveis relevantes ao estudo de um sistema. Com a análise dimensional, é possível listar as variáveis

consideradas relevantes e logo, após a análise, obter grupos adimensionais de variáveis. A forma como estes números adimensionais se relacionam, encontrada experimentalmente, permite realizar cálculos do comportamento do sistema. Para conhecer como os números adimensionais se relacionam, deve-se pesquisar as leis da física que governam as operações unitárias envolvidas no processo. Isto proporciona mais equações a integrar na matriz de resultados.

Metodologia para encontrar os números π :

1. definir com clareza o problema - este é o ponto fundamental, posto que de partida, e dependente de todo o processo para definir os números π . Se a definição for errônea, os passos seguintes apoiar-se-ão numa incorreção, de partida. Serve, também, para identificar a limitação do método;
2. na lista das variáveis que intervêm, é importante a escolha das variáveis adequadas, sem excesso ou sem deixar faltando. Esta pode ser uma limitação importante do método. Por isso, neste ponto, não deve, em princípio, ser desconsiderada nenhuma variável alternativa, tendo sempre em conta a analogia com fatos similares já estudados;
3. análise dos resultados - quando se dispõe, somente, de três equações, os resultados serão expressos em função de todas as variáveis, menos 3; e,
4. escolha da variável significativa - muitas variáveis podem ser dimensionalmente equivalentes.

4.1.3 Preparação da matriz de dados

A utilidade prática da ferramenta computacional de simulação dependerá da disponibilidade dos dados. Não adianta preparar programas muito sofisticados se baseados em dados, para o cálculo, de difícil disponibilidade (inexistentes ou laboriosos de obter).

Todas as suposições básicas e dados utilizados no modelo devem ser adequadamente documentados, incluindo referências bibliográficas. A confiabilidade dos resultados, não importa

quão sofisticado seja o aplicativo desenvolvido, dependerá, fundamentalmente, dos dados de entrada.

Quando faltam dados, os valores adotados (preliminares) devem ser identificados. O critério prático, baseado na experiência, aliado ao critério técnico teórico, deve dar resultados práticos de maior confiabilidade que a simples adivinhação ou suposição de valores. Muitos valores podem ser calculados se existirem relações válidas com outros dados.

Para organizar a estrutura da ferramenta de simulação, foi definida uma planilha para a entrada dos dados, que dependem do sistema de tratamento escolhido (sistema AAA). Os recursos da Planilha Excel permitem um elevado grau de sofisticação para a entrada de dados, facilitando a tarefa do usuário. Quando a quantidade de dados é muito grande, a exibição separada na planilha de dados facilita sua análise, comparação, documentação e atualização.

Para preparar a matriz de dados, se usou a Planilha Excel “Dados”, preenchendo os dados solicitados correspondentes. Os dados devem ser adequadamente documentados, pois os resultados dependem deles. Dados estimados produzirão, logicamente, resultados estimados.

4.1.4 Construção da matriz de dados

A matriz de dados é uma planilha Excel preparada seguindo os passos:

- ♦ indicar, claramente, ao usuário, a importância dos dados, com adequada documentação em quanto a sua origem e data;
- ♦ os dados independentes da opção, são introduzidos nos locais indicados na planilha **Dados**, que conta com proteção para facilitar o trabalho, rejeitando dados fora da faixa aceitável de valores ou da posição solicitada;

- ♦ os dados para definir opções, são selecionados automaticamente mediante escolha ou entrada de dados pelo usuário;
- ♦ o número da opção obtido, define, automaticamente, os demais dados solicitados (que dependem da tecnologia e configuração do sistema); e,
- ♦ os números das opções também, definem o fluxograma a ser usado.

4.1.5 Opções do Sistema de tratamento de resíduo sólido urbano

A elevada complexidade da tarefa de analisar técnicas de tratamento de RSU muito diferentes, para estudo comparativo, e utilizando a mesma ferramenta de simulação do desempenho, pode ser facilitada, separando as tarefas pela correspondente tecnologia. Com uma sistemática consistente em definir a configuração de um fluxograma, através de um número N que identifica as opções escolhidas, se dispõe de um recurso que proporciona flexibilidade à ferramenta de simulação.

Às tecnologias de tratamento de RSU

Desta forma, fica associado um número a uma tecnologia de tratamento e a um sistema de tratamento. Neste trabalho, somente a opção 7 (Sistema AAA) será estudada.

Analogamente, pode-se definir, dentro da mesma sistemática, os equipamentos, assim como, a origem e o destino de cada linha num fluxograma. Desta forma, fica definida a estrutura do sistema de tratamento, através da designação de números únicos, correspondentes a cada uma das opções.

No Excel, a cada técnica de tratamento, que define um sistema, corresponde uma Planilha de Cálculo. A seleção de alternativas ou opções, é feita, simplesmente, com o condicional “se”. Podem ser testadas até 7 opções diferentes em cada instrução, mas nada impede encadear as instruções, de modo que a quantidade de opções a testar seja ilimitada. A condição a testar é, neste caso, o valor numérico da opção. Como exemplo, vide equações pág.310.

4.1.6 Avaliação do desempenho do sistema de tratamento adotado

Na reciclagem de material, o valor econômico da matéria prima secundária depende da mínima quantidade residual de outros materiais, considerados contaminantes. Em forma análoga aos indicadores de qualidade dos sistemas de tratamentos de efluentes, podem ser adotados padrões de qualidade do material, para serem usados na comparação com os valores do resultado do tratamento. Por exemplo, para a produção de fibra de poliéster, é importante que a resina PET responda a valores de qualidade em teor de umidade (zero), outros plásticos, etc. Satisfazer a estes padrões de qualidade adiciona valor à matéria prima. Ao projetar o sistema de pré-tratamento, tratamento e pós-tratamento, estes valores de qualidade devem ser considerados e usados como meta. Como a quantidade de outros materiais na entrada do sistema é muito grande, o uso de métodos apropriados de tratamento, de alta efetividade e eficiência, são necessários. A escolha manual, por pessoal adequadamente treinado, é de muito alta efetividade, mas seu custo

pode ser considerado elevado, a menos que compense com o fluxo e preço do material selecionado. Por isso, todo programa de reciclagem deve-se iniciar pela saída. Encontrar clientes que tenham fluxo de demanda e nível de preço adequados é o primeiro passo. Depois, vêm as considerações técnicas dos equipamentos necessários para satisfazer à qualidade que o cliente precisa. Uma estimativa preliminar do desempenho esperado de um sistema de tratamento, em relação a cada classe de produtos que tem mercado, é fundamental para uma primeira avaliação econômica e técnica. A fração orgânica, por sua parte, tem um tratamento bastante diferente, mas os produtos principais, metano e composto agrícola, também, devem satisfazer a padrões de qualidade. Métodos simples e efetivos para a análise devem ser adotados.

Os valores obtidos devem ser entrados nos locais apropriados da planilha de dados para definir a seletividade dos depuradores, validando a simulação da efetividade da depuração. Até dispor destes valores, as predições da simulação devem ser usadas com cautela, pois, inicialmente, onde ainda não existir informação disponível, os valores adotados serão valores preliminares, estimados. Para encontrar valores reais da Seletividade, vide Apêndice C (pág.291).

4.2 Metodologia para construção da estrutura do modelo de simulação

As práticas e métodos de construção de modelos foram considerados especificamente. A perspectiva de inovação tecnológica é inclusa, dada a novidade do método para esta aplicação e, também, a relativa novidade na introdução de novos recursos (máquinas e processos) ao sistema. Deve ser possível a incorporação de dados ambientais, sociais, econômicos e outros, necessários à comparação e seleção da alternativa ótima, usando fatores de ponderação a serem definidos em condições locais.

Ao se construir o modelo do sistema de tratamento de RSU, deve-se analisar e colocar numa perspectiva mais geral do desenvolvimento de sistemas. Este é só o primeiro passo para

uma metodologia que inclui as atividades de modelagem e simulação integradas, direcionadas para o processo de desenvolvimento de sistemas de processos contínuos, com consideração de múltiplos fatores que sejam úteis.

Neste caso, a estrutura da modelagem do Sistema de Tratamento Integral AAA de Tratamento de RSU (ACUÑA e AGUIRRE, 1999b e 1999a) e suas opções, serve de base estrutural, a ser seguida para a construção progressiva de modelos, até incluir todas as tecnologias disponíveis, para, através da simulação de seu desempenho, comparar, avaliar e escolher a mais adequada para as condições locais dadas. Desta forma, o presente trabalho de modelagem e simulação do Sistema AAA, mediante o uso de computador, é apenas embrionário (primeiro passo), mas sinaliza o caminho para a construção de um sistema cada vez mais completo e complexo, à medida que novas soluções sejam incorporadas, pelo autor ou outros especialistas, interessados na solução dos problemas de tratamento de RSU.

Independentemente das linguagens de programação, a metodologia seguida na construção dos modelos estabelece uma disciplina e uma uniformidade dos procedimentos de programação, claramente documentados, para que, entendendo o desenvolvido, seja possível ampliar as capacidades da simulação, segundo o requerido. Para isto, é necessário definir o sistema a modelar e continuar, segundo o ciclo de desenvolvimento da Figura 4.1, pág.94, através das seguintes etapas:

- ♦ **A: função a desempenhar** - compreende as capacidades e restrições do sistema e de seus componentes;
- ♦ **B: escolha de componentes** (opções);
- ♦ **C: definição da configuração física do sistema** e ligação entre componentes (opções que descrevem a estrutura e o comportamento);
- ♦ **D: análise matemática** no seguimento da definição anterior (técnica dos balanços, entradas e saídas de cada componente, ou outras); e,
- ♦ **E: ensaios** para confirmar, estudar ou rejeitar a solução (testes do programa, simulação do desempenho, análise experimental de desempenho, validação).

A etapa B consiste no recurso base de dados; a etapa C, constitui um conjunto de pré-processadores, funções ou "blocos" utilizados a seguir, na etapa D, que faz uso de métodos numéricos. A etapa E corresponde aos ensaios de qualificação ou de controles que, eventualmente, alimentam a etapa B.

A realização destas etapas requer o auxílio do computador devido a:

- ◆ dispor de uma escolha mais objetiva de soluções a partir de informações disponíveis;
- ◆ analisar a solução com maior confiabilidade;
- ◆ calcular em forma iterativa valores não conhecidos;
- ◆ permitir cálculos com equações e dados inclusos no aplicativo;
- ◆ facilitar escolha de valores dos parâmetros envolvidos, segundo resultados obtidos;
- ◆ visualizar resultados, segundo a variação interativa de parâmetros;
- ◆ classificação e uso da informação calculada para outras etapas do projeto;
- ◆ sistematizar os procedimentos e obter comparações objetivas das soluções;
- ◆ facilidade de documentar apropriadamente cada passo;
- ◆ rapidez dos resultados; e,
- ◆ guardar e recorrer à experiência adquirida.

4.2.1 Simulação da operação do sistema do cálculo do balanço de material e energia

Para a obtenção do balanço de material e energia, deve-se aplicar, primeiro, uma visão macro, para estimar o faturamento esperado, segundo demanda do mercado (vide item 4.2.2, pág.106). Isto permite, rapidamente, selecionar os produtos mais convenientes para as condições locais. Definidos os produtos e sua qualidade, deve-se definir o sistema capaz de satisfazê-la. Isto define a configuração física, que permite estabelecer as linhas de fluxo entre os equipamentos requeridos e realizar o balanço. Os passos são os seguintes:

- ♦ definir o número de opções na planilha **Dados** e ir à planilha do sistema definido;
- ♦ no fluxograma do sistema, definir os números das linhas do fluxograma (exemplo, vide Fig.4.2, pág.105);
- ♦ cada número é uma linha na planilha de cálculo, correspondente a essa linha de fluxo;
- ♦ a primeira coluna da planilha de cálculo, é o número de identificação da linha de fluxo;
- ♦ a segunda coluna identifica a linha de fluxo (descrição); a terceira coluna, e seguintes, são destinadas à apresentação dos dados e resultados, escrevendo na célula correspondente, o endereço do dado ou a equação de cálculo, conforme as opções do sistema;
- ♦ ao escrever as equações na planilha, deve-se cuidar em fazê-lo na seqüência, de modo a que os dados a usar já estejam disponíveis;
- ♦ para cálculos iterativos, usar um valor preliminar como inicial para o cálculo; e,
- ♦ ter presente que, como na planilha são efetuados os cálculos à medida que são entradas as equações, é fácil conferir e corrigir erros, mas quando se usa cálculo iterativo, a planilha não é atualizada durante a fase de implementação.

Metodologia geral para balanço de fluxo de matéria e energia:

a base para o balanço de fluxos é a lei de conservação da matéria, que estabelece que o que entra num nó do sistema é igual ao que acumula menos o que sai.

Para um sistema contínuo, o que entra é igual ao que sai em cada nó.

As equações que relacionam entradas e saídas permitem o balanço completo, com relações dadas pela configuração do sistema e função do sistema ou sub-sistema no nó.

Por exemplo, para um depurador, sua função é concentrar no rejeito as impurezas contidas na alimentação.

Num depurador probabilístico, como representado na Fig. 4.2, os números nas linhas (setas) facilitam a identificação dos fluxos, como sub-índices.

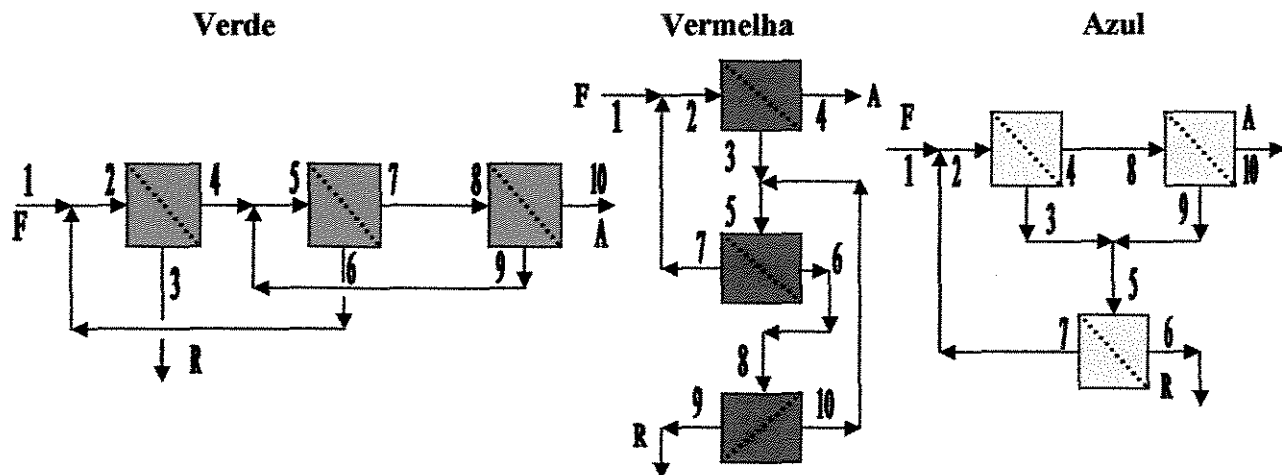


Fig. 4.2 Configurações da depuração

Para Fluxo de Contaminantes, P_i , [t/dia] com E = eficiência de remoção de contaminantes. Para Fluxo Total, T_i , [t/dia] . As impurezas concentram seguindo a equação 4.1 (equivalente à equação 4.2 se combinada com equação 4.5).

$$E = \frac{P_3}{P_2} \quad (4.1)$$

Analogamente, por definição, a taxa de rejeitos R está dada pela equação 4.2 (análoga à equação D39 do Apêndice D1.4, pág.307).

$$R = \frac{T_3}{T_2} \quad (4.2)$$

Da relação de conservação de matéria, o que entra é igual ao que sae, expressado nas equações 4.3 e 4.4.

$$T_2 = T_3 + T_4 \quad (4.3)$$

$$P_2 = P_3 + P_4 \quad (4.4)$$

Por definição de concentração, C_i [%], para cada linha de fluxo i se verifica a equação 4.5.

$$C_i = \frac{P_i}{T_i} \quad (4.5)$$

Através de operações algébricas, é possível expressar as incógnitas em função dos dados, como mostrado no capítulo de resultados e nos anexos, aplicando também o conceito de Seletividade e a equação 3.6 (pág. 81).

Uma vez completado o balanço de material, que é básico para o sistema, pode ser seguido o balanço de energia do sistema, usando as relações termodinâmicas correspondentes.

Parâmetros, como temperaturas e capacidade calórica da suspensão versus teor de umidade e outros valores relevantes, permitem calcular o balanço de energia do sistema. Balanços de trabalho mecânico e dados de eficiência permitirão definição das potências de motores, sistemas de transmissão, etc. Conhecendo as temperaturas, são aplicadas as equações que relacionam sua influência no sistema, como por exemplo, variação de volume com a temperatura, variação de eficiência da classificação, variações de rendimentos, drenagem, etc.

4.2.2 Aspectos econômicos

Após o balanço de Material e Energia, os valores necessários para o estudo de viabilidade econômica do sistema poderão ser transferidos para a planilha de análise econômica.

Do balanço, são conhecidas as quantidades e a composição dos produtos finais. Aplicando dados econômicos, como os preços de mercado, se obtém uma estimativa do faturamento potencial.

Numa primeira aplicação prática, apenas com os preços dos produtos potenciais, a concentração e a quantidade de RSU disponível, foi obtido o faturamento potencial em função das quantidades e qualidades dos materiais para os quais existe demanda (planilha **Faturamento**, no Apêndice A8, pág. 259).

Com os resultados pode-se, facilmente, visualizar o faturamento esperado e a quantidade retirada do material originalmente destinado ao aterro.

Se os valores de faturamento (ou a prolongação da vida do aterro) forem interessantes, segue-se o estudo e escolha de alternativas que satisfazem aos requerimentos de qualidade, com o que se tem a configuração física do sistema de tratamento requerido. A configuração física pode ser escolhida realizando o balanço de fluxos, para determinar as quantidades de produtos e o nível residual de contaminantes, ou a pureza, que devem satisfazer o mercado (Planilha **Depuração2**, no Apêndice A11, pág.269).

Aplicando as estimativas de custos (planilha **Custos**, Apêndice A13, pág.275), pode ser calculado o lucro (planilha **Econômico**, Apêndice A12, pág.273) .

O tempo de retorno do investimento é um indicador econômico que serve para decidir se o empreendimento será viável economicamente e, também, comparar com outras alternativas ou tamanhos da instalação.

O tempo de retorno do investimento requer conhecer o custo do investimento total e a composição de custos operacionais e de manutenção, a limitação do tempo disponível e a demora nos orçamentos impediram o uso de dados reais. Os dados são somente estimativas preliminares, usados apenas para indicar o procedimento.

4.2.3 Viabilidade ambiental

Analogamente, após o balanço de material e energia, são transferidos os valores necessários para o estudo de viabilidade ambiental do sistema na planilha de análise ambiental. Do balanço, são conhecidas as quantidades de RSU inicial e final, assim como dos produtos, para avaliar seu impacto ambiental correspondente. O impacto pode ser positivo (benéfico para o ambiente) ou negativo (ruim para o ambiente). Aqui poderiam ser inclusos os formulários a preencher com os dados ambientais esperados e sua comparação com as normas ambientais, para a tramitação das licenças correspondentes, o que permitiria agilizar a aprovação do projeto.

Como existem várias opções de configuração e seus balanços de fluxos, ainda por implementar, foram calculados os impactos correspondentes, segundo os resultados ambientais, econômicos e sociais que satisfazem aos objetivos da cidade em estudo (só um caso, na etapa intermediária, para sistema AAA na cidade de Ribeirão Preto, APÊNDICE A5, pág. 245 e 246).

4.3 Realizar a simulação

A planilha Excel não é compilada, pelo que a simulação é imediata, após a entrada dos dados.

Nos modelos compilados, a simulação somente é possível após a compilação da equações de cálculo.

A planilha Excel tem, também, ferramentas estatísticas para a análise dos dados e resultados obtidos, assim como recursos para representação gráfica.

Na planilha Excel, ao contrário de outros programas de simulação, não é necessária a definição do grau de detalhamento a ser usado, a precisão dos dados de entrada e os dados de estado do sistema e o processamento dos dados para se obter os resultados ou dados de saída do sistema, de modo que satisfaçam aos objetivos propostos, com adequada precisão.

Incluindo nos dados informações estatísticas, nos resultados são incluídas as margens de erro esperadas e outras informações estatísticas, que auxiliam na estimativa do grau de confiabilidade dos resultados.

4.4 Aplicação prática da ferramenta de simulação

Nesta parte, esperou-se que a ferramenta desenvolvida nos pontos anteriores, permitisse comparar alternativas de tratamento AAA do resíduo sólido urbano, tais como faturamento e a pureza exigida do material, segundo a etapa de implementação do sistema de tratamento. No futuro, espera-se que o modelo permita a simulação da operação da planta completa, o que permitirá dimensionamento dos equipamentos e sistemas auxiliares, orçamentos dos equipamentos e estimativas dos custos de instalação, operação e manutenção, os impactos esperados e a demonstração de que o sistema AAA é sustentável em todas as áreas de interesse da comunidade, sendo uma solução integrada para os múltiplos problemas levantados na revisão bibliográfica, tais como contaminação de alimentos, poluição de ar, água e solo, instabilidade do solo, proliferação de vetores de doenças contagiosas, empobrecimento progressivo do solo e perda de fertilidade, pragas e doenças, uso intensivo de defensivos agrícolas e seus resíduos nos alimentos, concentração de poluentes na cadeia alimentar, escassez progressiva de matérias primas, escassez progressiva de postos permanentes de trabalho, falta de verba para projetos de desenvolvimento e melhoramento da qualidade de vida urbana, desemprego, doenças respiratórias pelos contaminantes no ar, envenenamento progressivo com alimentos e água contaminados, etc.

Os passos para a aplicação prática são os seguintes:

- ♦ preencher a matriz de dados com os dados solicitados para definir o número de opções; isto permite definir o sistema AAA, o fluxograma e os dados adicionais requeridos para os cálculos;
- ♦ analisar os resultados obtidos; testar efeito de variações nos dados ou na configuração do sistema;
- ♦ repetir, quantas vezes seja necessário, para cobrir todas as alternativas desejadas (se implementadas) e comparar resultados (se forem muitas, técnicas fracionárias devem ser aplicadas); e,
- ♦ usar as tabelas comparativas como ajuda para decidir qual sistema é mais conveniente para as condições locais.

Estes passos, simples de serem seguidos, permitem a obtenção imediata dos resultados. Em realidade, o mais laborioso é encontrar os dados necessários para realizar a simulação. Especial ênfase deve ser dada, mais uma vez, de que os dados devem ser reais, cuidadosamente documentados e impressos, junto com os resultados obtidos, como documentação de controle, para comparar com os resultados reais, uma vez implantada a instalação.

4.4.1 Como usar a ferramenta de simulação

Para usar a ferramenta de simulação, necessita-se um computador com capacidade para rodar a planilha Excel, um usuário familiarizado com seu uso e os dados locais, que são:

- ♦ quantidade diária de RSU coletado (opcional, se conhecidas, a população e a taxa de geração de resíduo);
- ♦ população atendida na coleta (opcional, se conhecida a quantidade diária coletada);
- ♦ composição do RSU, detalhando a porcentagem de cada tipo de material com potencial econômico e o total de material úmido, com teor de umidade da fração orgânica;

- ◆ dados da pesquisa de mercado (preliminar, dados do CEMPRE, 2004) do material com potencial econômico, detalhando pureza exigida (ou amostra), preço e quantidade diária a ser fornecida, estimativa de variação estacional do consumo (mínimo e máximo);
- ◆ existência de indústrias recicladoras, quantidades e tipos de material consumido (opcional);
- ◆ pureza exigida para os materiais utilizados (opcional);
- ◆ dados de seletividade dos depuradores comerciais para o material a depurar (vide APÊNDICE C, pág. 291);
- ◆ existência ou não de catadores, se organizados em cooperativa ou outra forma de associação, quantidade total, existência de algum treinamento ou capacitação (opcional);
- ◆ destino atual da coleta (opcional);
- ◆ existência de programas de educação e conscientização cívica; e,
- ◆ condições atuais da coleta (seletiva, separada em resíduo orgânico ou “lixo úmido” e “lixo seco” ou reciclável).

4.4.2 Instruções de uso

Para fazer a simulação do desempenho do sistema AAA de tratamento de RSU, simplesmente se liga o computador, carrega-se o programa e entram-se com os dados nos locais solicitados pelo próprio programa.

As planilhas estão protegidas contra erros de entrada de dados, os que são rejeitados se não estiverem na faixa de valores esperados ou se tentar outro local diferente daquele destinado aos dados. Isto facilita e simplifica o uso das planilhas.

Finalizada a entrada de dados, pode-se imprimir os resultados ou mudar os dados, para “sentir” como funciona a simulação.

Os resultados impressos podem ser comparados, segundo etapa de implementação e porcentagem de reciclagem, e na depuração, segundo a pureza desejada e os valores de seletividade dos depuradores.

4.4.3 Como funciona

A simulação do sistema AAA de tratamento de RSU funciona processando os dados para exibir os resultados do que se pode esperar, por etapa de implantação, ao aplicar esforços conjuntos e adequadamente orientados e coordenados para fazer reais as previsões potenciais.

4.5 Validação

A validação da simulação é possível mediante a comparação dos resultados da simulação com os dados práticos em sistemas existentes. Se não forem satisfatórios, são necessários ajustes correspondentes nas suposições usadas. Uma validação preliminar é efetuada por dados da bibliografia, em que, usando os dados dos testes, deve-se obter os mesmos resultados. Nos casos em que não existem dados práticos e os dados do sistema não permitem que se calculem, pode-se usar um dado preliminar, devidamente identificado. Posteriormente, com o sistema de tratamento funcionando, na validação, esse dado será substituído pelo valor medido. Em geral, a validação serve para aumentar a confiabilidade dos resultados, pois as suposições e simplificações aplicadas para o desenvolvimento do modelo e suas equações devem ser testadas, usando dados práticos, seja de bibliografia ou de tomada de dados de processo, com o sistema funcionando. Os instrumentos de medição devem estar devidamente calibrados. Nos casos em

que há muita dispersão de valores, deve-se tomar suficientes valores para permitir tratamento estatístico e determinação do erro experimental (BARROS NETO, SCARMINO e BRUNS, 2001).

Na planilha Excel existe o recurso validação de dados, que limita os valores possíveis dos dados a introduzir, reduzindo importante fonte de erros.

4.6 “Solver”

O recurso “Solver”, da planilha Excel, permite ajuste automático de valores satisfazendo condições dadas. É necessário expressar as equações da célula destino e das células de restrições em função dos valores das células variáveis (a ser ajustadas), entender como se devem entrar os dados e selecionar as opções. Para mais informações, ver Anexo A, pág.333 a 353.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cumprimento dos objetivos, o modelo matemático do sistema AAA de Acuña e Aguirre (1999b) para Tratamento Integral de Resíduos Sólidos está em fase inicial de desenvolvimento e se espera que seja aperfeiçoado progressivamente (pois, na prática, não tem fim). Primeiro, são explicadas as premissas básicas adotadas para a construção do modelo, depois, são mostradas tabelas de resultados da simulação (econômica, e depuração), com dados requeridos, instruções de uso para o usuário, resultados esperados e impactos previstos pelo desempenho do sistema (na simulação), terminado com a descrição detalhada, passo a passo, como foi construído o modelo, as simplificações introduzidas, os dados internos usados e como são processados e disponibilizados, assim como os recursos implementados. Também, são mencionados alguns recursos possíveis de serem acrescentados, mas que ficam para outros trabalhos.

5.1 Premisas básicas para a construção do modelo

As 10 premissas básicas para a construção do modelo são:

- 1) uso de terminologia corrente, de fácil entendimento pelo usuário;
- 2) definição de termos técnicos usados em forma compreensível pelo usuário;

- 3) instruções de uso simples e diretas, com exemplos;
- 4) uso de dados disponíveis (precisão de resultados depende da precisão dos dados);
- 5) indicação de fontes disponíveis para dados de freqüente atualização;
- 6) uso de linguagem de computador de fácil e econômico acesso em computador pessoal, para permitir aplicação imediata do modelo;
- 7) indicação de normas a aplicar para obtenção de dados experimentais comparáveis;
- 8) indicação de leis e regulamentos a serem seguidos;
- 9) indicações e instruções para facilitar obtenção de licenças requeridas; e,
- 10) modelo aplicável em etapas, segundo condições locais.

5.2 Filosofia aplicada na construção do modelo

Na construção do modelo, ordenou-se e organizou-se a informação disponível de maneira que, a partir do conhecido, explicasse o desconhecido. No modelo, as incógnitas são expressas em função dos dados, em diferentes formas (opções). Quando a incógnita, expressa em função dos dados, é calculada, passa a ser dado para novos cálculos, de novas incógnitas. Desta forma, podem ser calculadas, sucessivamente, centenas de incógnitas, em função de uns poucos dados locais, dados internos (do modelo) e das relações conhecidas entre as variáveis. Como os valores de algumas das incógnitas são necessários para o cálculo de outras incógnitas que dependem daquelas, usa-se um valor inicial e, em forma iterativa, calcula-se seu novo valor para substituir o antigo valor. Se a estrutura de cálculo é adequada, os valores convergem, rapidamente, para o valor final. Se a estrutura de cálculo é inadequada, os valores podem ser oscilantes ou divergir completamente. Nesse caso, a solução é simplificar o modelo para que o cálculo convirja.

A partir das relações básicas entre as variáveis do projeto, adequadamente ordenadas e utilizadas nas equações do modelo, o modelo matemático é construído, progressivamente, para

simular o comportamento do sistema e predizer seu desempenho, na prática, satisfazendo aos objetivos propostos (construir uma ferramenta básica para a simulação do desempenho do sistema AAA, incluindo o estudo, seleção e comparação de diferentes opções e, estruturar o modelo em forma flexível, para permitir sua aplicação em outros sistemas de tratamento).

Para simular o desempenho do sistema AAA de tratamento de RSU, se construiu um modelo matemático que descreve o comportamento do sistema, numa primeira etapa de construção do modelo (este trabalho), em condição estacionária. Na simulação, o modelo permite, através do cálculo baseado nos dados que descrevem o sistema, obter uma idéia bastante aproximada do que se pode esperar do comportamento do sistema no mundo real. A transição entre etapas (variação no tempo), não será simulada nesta dissertação.

O sistema é descrito como um conjunto de elementos inter-relacionados que funcionam no tempo, de acordo a um propósito, que é o objetivo do sistema. Para o sistema AAA de tratamento de RSU, o objetivo é tratar o resíduo maximizando o lucro, com segurança operacional, mínimo risco de descontroles, sem resíduo do processo, sem poluir solo, água ou ar e com adequado benefício social para a comunidade local (filosofia de sustentabilidade econômica, ambiental e social).

A simulação do desempenho estacionário do sistema de tratamento permitiu predizer rendimento e qualidade a serem obtidos, segundo as características do RSU. Também, são inclusos os valores das emissões esperadas de água e gases (planilha *Licenciamento*), para satisfazer aos regulamentos da CONAMA nº 020/86 (MMA, 2004c) sobre Qualidade da água e nº 003/90 (MMA, 2004e) da Qualidade do Ar, no eventual lançamento das sobras do processo ao ambiente (premissa 8 do item 5.1, pág.116).

Para as condições locais, escolhem-se as opções que apresentem melhores resultados.

Nos resultados estão, então, o desempenho da ferramenta de simulação, através dos resultados da simulação do desempenho do sistema de tratamento de RSU.

Para o usuário, é importante que entenda que, para confiabilidade dos resultados, de modo que sejam apropriados para predizer o comportamento do sistema na realidade, deve-se usar dados locais fidedignos, adequadamente documentados. Para o usuário, é essencial que tenha a informação organizada, de maneira conveniente e facilmente acessível, para entrar os dados, atualizá-los, examiná-los criticamente e compará-los com dados de diferentes fontes (vide 4.4.2. Instruções de uso, pág.111).

Para o modelo, deve-se organizar, adequadamente, os dados locais na planilha “Dados” (Apêndice A3, pág.233). Os dados de mais difícil disponibilidade são gerados internamente, utilizando diferentes fontes de informação e procedimentos.

Os resultados são comparados, calculando-se sucessivamente, para as diferentes opções de dados disponíveis. Isto proporciona uma idéia das variações esperadas, segundo variações na composição do RSU. O modelo faz uso de algumas idealizações que, realmente, não se verificam na prática, mas simplificam a obtenção de resultados. Dos testes práticos, pode-se comparar os resultados reais com os previstos. Se houver diferença significativa, no modelo é possível fazer os ajustes, de modo que permita maior precisão nas previsões (validação). O modelo conta com locais apropriados para entrar dados de ajuste na validação.

Para esta dissertação, a primeira capacidade desenvolvida no modelo foi a simulação da conversão de RSU em produtos comerciais, expressando o RSU como concentração nos produtos potenciais (sem entrar nos detalhes do processo). Mudando a composição ou a concentração ou os preços ou, ainda, a quantidade do material aproveitado, muda-se o faturamento e a quantidade destinada ao aterro, com impactos econômicos, sociais, ambientais e outros, que dependem de condições locais.

Assim, começa-se o modelo com uma avaliação preliminar do potencial econômico de uma instalação AAA de tratamento de resíduos e uma estimativa dos impactos econômico, social, ambiental e outros esperados com sua implantação, para as condições locais definidas através dos dados de entrada do modelo de simulação.

5.3 Análise Dimensional

A análise dimensional é a ferramenta que permite listar, selecionar e escolher variáveis relevantes ao estudo do sistema. Com a análise dimensional, é possível listar as variáveis consideradas relevantes (TABELA 5.1) e logo após a análise (TABELAS 5.2 e 5.3), obter grupos adimensionais de variáveis. A forma como estes números adimensionais se relacionam, permite realizar cálculos do comportamento do sistema em forma independente da escala ou tamanho do sistema. Em cada componente do sistema, deve-se realizar a análise dimensional para encontrar suas variáveis relevantes. Aqui, apenas, é mostrado o procedimento geral aplicado. O resíduo orgânico pode ser separado dos contaminantes sólidos presentes na fração orgânica do resíduo urbano mediante decantação, desagregação seletiva e peneiração. As operações unitárias correspondentes podem ser estudadas mediante a análise dimensional.

Exemplo: Análise Dimensional para o Projeto de um Desagregador seletivo.

TABELA 5.1 Lista de variáveis estimadas e suas dimensões

	Variáveis	Dimensões	Descrição
K_1	D	L	Diâmetro do rotor
K_2	F	L	Folga entre placa e rotor
K_3	N	T^{-1}	Rotação
K_4	μ	$ML^{-1}T^{-1}$	Viscosidade da suspensão
K_5	V	L^3	Volume agitado
K_6	M	M	Massa a agitar e desagregar
K_7	E	ML^2T^{-3}	Consumo de potência de desagregação
K_8	Y	$ML^{-1}T^{-2}$	Resistência do material a desagregar
K_9	C	ML^{-3}	Concentração de sólidos
K_{10}	T	T	Tempo de desagregação
K_{11}	W	MLT^{-1}	Movimento de agitação
K_{12}	P	ML^2T^{-2}	Energia de desagregação

TABELA 5.2 MATRIZ DIMENSIONAL

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	K_{12}
	D	F	N	μ	V	m	E	Y	C	t	W	P
M	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1
L	1	1	0	-1	3	0	2	-1	-3	0	1	2
T	0	0	-1	-1	0	0	-3	-2	0	1	-1	-2

Equações

$$M \rightarrow K_4 + K_6 + K_7 + K_8 + K_9 + K_{11} + K_{12} = 0 \quad (i)$$

$$L \rightarrow K_1 + K_2 - K_4 + 3K_5 + 2K_7 - K_8 - 3K_9 + K_{11} + 2K_{12} = 0 \quad (ii)$$

$$T \rightarrow -K_3 - K_4 - 3K_7 - 2K_8 + K_{10} - K_{11} - 2K_{12} = 0 \quad (iii)$$

Resolver

K_{10} , K_{11} e K_{12} em termos de $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8$ e K_9 .

$$\text{De (II)+(III): } K_1 + K_2 - K_3 - 2K_4 + 3K_5 - K_7 - 3K_8 - 3K_9 + K_{10} = 0 \quad (iv)$$

$$K_{10} = -K_1 - K_2 + K_3 + 2K_4 - 3K_5 + K_7 + 3K_8 + 3K_9 \quad (v)$$

$$\text{De (I)-(II): } K_4 + K_6 + K_7 + K_8 + K_9 + K_{11} + K_{12} - (K_1 + K_2 - K_4 + 3K_5 + 2K_7 - K_8 - 3K_9 + K_{11} + 2K_{12}) = 0 \quad (vi)$$

$$K_{12} = -K_1 - K_2 + 2K_4 - 3K_5 + K_6 - K_7 + 2K_8 + 4K_9 \quad (vii)$$

$$\text{De (I)+(VII): } K_{11} = K_1 + K_2 - 3K_4 + 3K_5 - 2K_6 - 3K_8 - 5K_9 \quad (viii)$$

TABELA 5.3. Matriz Solução

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	K_{12}
	D	F	N	μ	V	m	E	Y	C	t	W	P
π_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	-1
π_2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	-1
π_3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
π_4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	-3	2
π_5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-3	3	-3
π_6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-2	1
π_7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	-1
π_8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	-3	2
π_9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	-5	4

Os números π são:

$$\pi_1 = \frac{DW}{tP} = (L)(MLT^{-1})(T)^{-1}(ML^2T^{-2})^{-1}$$

$$\begin{aligned}
\pi_2 &= \frac{FW}{tP} = (L)(MLT^{-1})(T)^{-1}(ML^2T^{-2})^{-1} \\
\pi_3 &= Nt = M^0L^0T^{-1+1} \\
\pi_4 &= \frac{\mu I^2 P^2}{W^3} = (ML^{-1}T^{-1})T^2(ML^2T^{-2})^2(MLT^{-1})^{-3} = M^{1+2-3}L^{-1+4-3}T^{-1+2-4+3} \\
\pi_5 &= \frac{VW^3}{t^3P^3} = L^3(MLT^{-1})^3T^{-3}(ML^2T^{-2})^{-3} = M^{3-3}L^{3+3-6}T^{-3-3+6} \\
\pi_6 &= \frac{mP}{W^2} = M(ML^2T^{-2})(MLT^{-1})^{-2} = M^{1+1-2}L^{2-2}T^{-2+2} \\
\pi_7 &= \frac{Et}{P} = (ML^2T^{-3})T(ML^2T^{-2})^{-1} = M^{1-1}L^{2-2}T^{-3+1+2} \\
\pi_8 &= \frac{Yt^3P^2}{W^3} = (ML^{-1}T^{-2})T^3(ML^2T^{-2})^2(MLT^{-1})^{-3} = M^{1+2-3}L^{-1+4-3}T^{-2+3-4+3} \\
\pi_9 &= \frac{Ct^3P^4}{W^5} = (ML^{-3})T^3(ML^2T^{-2})^4(MLT^{-1})^{-5} = M^{1+4-5}L^{-3+8-5}T^{3-8+5}
\end{aligned}$$

Da análise dimensional, pode-se ver que as relações entre as variáveis consideradas no processo de desagregação são bastante complexas.

A lista não é exaustiva, pois podem ser inclusas, também, variáveis da geometria do rotor e do tanque, da agitação e outras relacionadas com a forma e densidade do material em suspensão, o fluxo de extração, a área aberta e o diâmetro das perfurações da placa de extração, etc.

Como fica difícil visualizar a relação das variáveis listadas, a quantidade pode ser reduzida estudando cada operação unitária separada, apesar de, no desagregador estarem mutuamente influenciadas.

Na presente simulação, não será aplicada mais análise dimensional, mas foi apresentado como sugestão, para próximos trabalhos. Igualmente, poderiam ter-se inclusive desenhos CAD dos diferentes equipamentos projetados, mas ficam para próximos trabalhos.

5.4 Simulação do potencial econômico de uma instalação AAA de tratamento de RSU

O modelo econômico, A8 (pág. 259), simula, para diferentes etapas de implantação, o faturamento potencial ao aplicar o sistema AAA de tratamento de RSU, para avaliação preliminar dos impactos esperados de sua implantação, em cada etapa, comparando diferentes opções.

5.4.1 Simulação da conversão do RSU em produtos comerciais

No sistema AAA de tratamento, o RSU é considerado matéria prima secundária para o complexo fabril que fabrica produtos da qualidade e quantidade que o mercado precisa. A simulação da conversão, do RSU em produtos comerciais, expressando o RSU como concentração nos produtos potenciais, permite simular o desempenho do sistema AAA de tratamento, para mostrar o faturamento esperado em função dos produtos, assim como a redução progressiva da carga para o aterro, à medida que avança nas etapas de implementação. Numa primeira etapa, é comercializado o material inorgânico que tem demanda, como sucata, mas a fração orgânica deve ser processada, para ser comercializada como gás combustível e húmus de valor agrícola ou industrial, na forma que depende das condições locais. É importante fazer notar que a fração orgânica do RSU não contém (ou não deveria conter) resíduo que possa ter aproveitamento direto em forma mais nobre. O leque de opções de produtos e formas de comercializar é muito grande. Para mencionar somente algumas de interesse especial, o biogás pode ser usado para cogeração de energia elétrica, para horários de alta demanda ou em localidades remotas sem fornecimento de energia elétrica e dificuldades de transporte. Dispõe-se, assim, de uma fonte alternativa renovável e inesgotável, não, ainda, considerada nos programas energéticos e que pode usar todo tipo de resíduo orgânico local, com produção de húmus agrícola.

5.4.2 Dados internos e suposições básicas

Mudando a composição ou a concentração ou o preço ou a quantidade de material aproveitado, muda o faturamento por um lado e a quantidade destinada ao aterro por outro lado (TABELA 5.4 a TABELA 5.7).

Na TABELA 5.4 mostra-se os dados internos e suposições básicas, em forma condensada.

TABELA 5.4 Dados internos e suposições básicas

1• Suposições básicas:

• Composição do RSU	Concentração, (%)	A composição do RSU é dado local
• Matéria orgânica = MO	33,0	41,5% (Se 100% da MO reagir para formar biogás) = 8,5% (água que forma biogás)+18,5% (sobra de água)
• Água	27,0	
• Plásticos	5,0	40,0% (Fração inorgânica)
• Papel	30,0	
• Metal	1,0	
• Vidro	1,0	
• Outros	3,0	

Na TABELA 5.4, o valor na terceira coluna, 41,5% é a soma da matéria orgânica mais a água consumida, se 100% da MO reagir para formar biogás (suposição inicial). O valor 8,5 é a parte da água consumida para formar biogás. Na mesma linha, à direita, 18,5 é a sobra de água ($27 - 8,5 = 18,5$). A composição do RSU pode ser um dado interno (suposição básica, se não disponível) ou um dado local. Para as estimativas preliminares, pode ser dado interno, mas se se decidir investir no projeto, é conveniente que seja um dado local, criteriosamente obtido, pois, como não existe norma, os dados não são comparáveis, porque cada pesquisador aplica a metodologia mais simples possível, compatível, com os dados que lhe interessam. Na TABELA 5.4, a matéria orgânica é matéria em base seca, indicando, à parte sua umidade como água. Muitos pesquisadores simplesmente informam matéria orgânica, sem fazer menção à umidade, o

que não permite fazer comparações, pois a umidade da matéria orgânica é muito variável, dependendo da composição, da época do ano e da umidade no local.

As TABELAS 5.5 a 5.7, correspondem à mesma planilha *Faturamento*, para três condições diferentes, escolhidas, para ilustrar o funcionamento do modelo AAA. Note-se que, na figura da TABELA 5.5, todo o RSU é destinado ao aterro (as quantidades de reciclagem seca e úmida são zero). Foi adotado 10% como porcentagem de matéria orgânica como húmus.

TABELA 5.5 SIMULAÇÃO DA ETAPA INICIAL (Só resíduo)

Entrada de dados. (somente no quadro amarelo correspondente)					
Reciclagem seca					20
Reciclagem úmida					0%
Reciclagem seca					0%
Reciclagem úmida					0
Reciclagem seca					10%
Reciclagem úmida					
Material	Concentração	Fluxo	Preço	Faturamento	Pureza
Unidades	% peso	ton/dia	US\$/ton	US\$/ano	%
RSU aproveitado	0,00%	0,0	-7	-	
1• Metano	0,00%	0,0	330	-	0
2• CO2	0,00%	0,0	70	-	0
3• Húmus	0,00%	0,0	50	-	0
4• Recicláveis sucata	0,00%	0,0	200	-	0
5• Água	0,00%	0,0	0,01	-	0
6• Resíduo (perda)	100,00%	20,0	7	(51.100,00)	0
Total				(51.100,00)	

Impactos esperados: Como se pode verificar, em qualquer aterro sanitário:

- impacto econômico, negativo, pois mesmo considerando que o aterro é a forma ambientalmente aceita mais econômica, o manejo do aterro representa sempre um gasto, não somente durante sua vida útil, mas, também, muitos anos depois de sua desativação. Neste caso, o impacto econômico negativo foi estimado em US\$ 51.100,00 ao ano;

- b) impacto social, negativo, pela existência, mesmo reprimida, de famílias marginalizadas da sociedade, que sobrevivem no meio do RSU em condições sub-humanas;
- c) impacto ambiental, negativo, mesmo considerando que são adotadas precauções tecnicamente aceitas para minimizar os impactos ambientais com controle das emissões, estas persistem por longo tempo após a desativação do aterro; e,
- d) impacto geológico, negativo, não controlável, pois afeta a estabilidade do solo durante décadas, além de emanações perigosas para eventuais populações acima de antigos aterros, que expõe os moradores a risco de explosões e envenenamento progressivo, assim como danos estruturais das construções devido a recalques do solo.

Na TABELA 5.6 ilustra-se como se modifica a simulação ao iniciar o aproveitamento do RSU, com modesta reciclagem de 1% da fração inorgânica do RSU (Reciclagem seco), comercializado como sucata.

TAB.5.6 SIMULAÇÃO DA ETAPA INTERMEDIÁRIA (Produtos e resíduo)

Entrada de dados (somente no quadro amarelo correspondente)					
Reciclagem seca	1%				
Reciclagem úmida	0%				
Reciclagem térmica	0				
Reciclagem química	10%				
Material	Concentração	Fluxo	Preço	Faturamento	Pureza
Unidades	% peso	ton/dia	US\$/ton	US\$/ano	%
RSU aproveitado	0,40%	0,1	-7	204,40	
1• Metano	0,00%	0,0	330	-	0
2• CO2	0,00%	0,0	70	-	0
3• Húmus	0,00%	0,0	50	-	0
4• Recicláveis sucata	0,40%	0,1	200	5.840,00	99
5• Água	0,00%	0,0	0,01	-	0
6• Resíduo (perda)	99,60%	19,9	7	(50.895,60)	0
Total				(24.051,20)	

Note-se que na figura da TABELA 5.6 não é todo o RSU destinado ao aterro, pois na figura, agora, existem produtos. Os impactos ambientais, mencionados após a TABELA 5.5, ainda persistem, mas se abre a porta da oportunidade para, em forma progressiva, mais material adequadamente separado encontre mercado, e que a quantidade para aterro seja cada vez menor, com as vantagens sinaladas no item 5.8.1 (pág.173) de modo que os impactos negativos sejam transformados gradualmente em positivos.

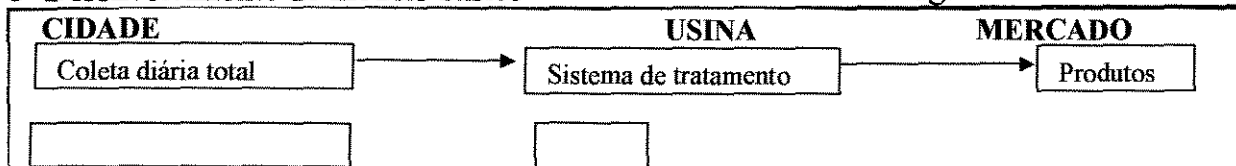
Na TABELA 5.7 ilustra-se a condição ideal, a meta (inatingível?), em que todo o

TABELA 5.7 SIMULAÇÃO DA ETAPA FINAL (Só produtos)

3• Desenvolvimento do modelo básico

Português

1



4. Entrada de dados (somente no quadro amarelo correspondente)

• Etapa implementação:	0=nada; 1= etapa 1; 2= etapa 2; 3=etapa 3 etc	3
• Coleta diária total:	ton/d	20
• Reciclagem seco	%	100%
• Reciclagem úmido	%	100%
• Tipo de substrato	0= RSU; 1= papel, madeira; 2= alimento; 3= celulose	0
• % resíduo orgânico como húmus	• Supõe não muda composição do biogás	10%
• Número de ajuste para composição de substrato	4	5,666667
• Valor do dólar em Reais		3
• Opção Dólar: 0; Real:1		0
• Materiais e faturamento potenciais para fluxo e composição típica de RSU		

Materiais	Concentração	Fluxo	Preço	Faturamento	Pureza
Unidades	% peso	ton/dia	US\$/ton	US\$/ano	%
RSU aproveitado	100,00%	20,0	-7	51.100,00	
1• Metano	10,97%	2,2	330	264.251,35	0,000
2• CO2	26,41%	5,3	70	134.977,45	90,000
3• Húmus	4,15%	0,8	50	15.161,17	96,000
4• Aparas de papel	30,00%	6,0	800	1.752.000,00	99,900
5• Plásticos	5,00%	1,0	3000	1.095.000,00	99,900
6• Metal	1,00%	0,2	5000	365.000,00	99,999
7• Vidro	1,00%	0,2	1000	73.000,00	99,999
8• Outros	3,00%	0,6	500	109.500,00	99,000
9• Água	18,46%	3,7	0,01	13,48	99,900
7- Resíduo (perda)	0,00%	0,0	7	-	0,000
Total				3.864.003,45	

material original e o resíduo produzido no processamento, sejam aproveitados, ficando desnecessário o aterro. Isto é ilustrado na figura com todo o RSU sendo transformado em produtos, sem resíduo para aterro, que some da figura.

Como a construção do modelo de simulação é dinâmica, na planilha *Faturamento*, TABELA 5.7, são mostradas mais opções que nas TABELAS 5.5 e 5.6, além da etapa de produção industrial do material reciclado, adicionando valor e ao mesmo tempo, permitindo melhor controle da cadeia produtiva, sem as freqüentes oscilações de preços e demanda da sucata.

Impactos: no modelo são sugeridos apenas alguns impactos positivos diretos esperados de uma lista de mais de 21 (item 5.8.1, pág. 173) da implantação do sistema AAA:

- 1) econômicos (US\$3.776.682,79/ano de faturamento) e ambientais, ao transformar um recurso ocioso, poluente, renovável, crescente e contaminante, numa fonte de faturamento, de criação de riqueza, sem poluir água, solo ou ar;
- 2) sociais, criando novos postos diretos de trabalho permanente (só na triagem requer, para recuperar 20t/dia de material reciclável, 114 catadores, RECICLAVEIS, 2004), resgatando social e economicamente (e outras formas, incluso psicológicas e espirituais), o contingente humano que sobrevive nos lixões; e,
- 3) humanos, proporcionando esperança e trabalho, treinamento para valorizar seu trabalho de catador, conferir-lhe dignidade, auto-estima e valor como ser humano e parte da sociedade.

5.5 Explicação de como o modelo foi construído até o presente

A explicação de como o modelo está sendo construído, que dados adicionais e suposições são usadas, as equações e sua origem, seguem à continuação.

Primeiramente, a construção do modelo é progressiva no tempo, seguindo o ciclo ilustrado no capítulo 4, Fig. 4.1 (pág.94). A idéia é iniciar simples, ver como funciona e continuar implementando capacidades, testando, adicionando capacidades úteis e, também, alguns enfeites. A idéia é comunicar, em forma simples e direta, as aplicações possíveis do modelo, implementando, em forma progressiva, mais capacidades. Como o tempo é limitado para esta dissertação, foram desenvolvidas, somente, duas capacidades para o modelo: 1) a simulação do desempenho do modelo, à medida que se aproveita mais material, sem entrar em detalhes de como se processa (próximos trabalhos); e, 2) a simulação do desempenho de um sistema de depuração (também, sem entrar em detalhes das características físicas dos diferentes tipos de depuradores).

Na TABELA 5.4 (pág.123), a composição usada para o RSU é uma média obtida para diferentes cidades brasileiras, em diferentes anos. Os dados podem ser atualizados para condições locais, mas, como a composição do RSU é essencialmente variável, pode ser mais conveniente dar um tratamento estatístico (próximos trabalhos), associando à composição, a margem de variação esperada. Pode ser adicionada a sofisticação que se quiser, como considerar variações sazonais, poder aquisitivo da sociedade e outros que permitem reduzir a margem de variação. Para esta dissertação, apenas são mencionadas essas possibilidades. Deve-se assinalar que a metodologia usada para obter os dados de composição do RSU, dada a inexistência de normas específicas, pode introduzir grandes variações ao comparar dados de diferentes fontes. Na TABELA 5.4, aparece a nota que a composição do RSU é dado local (se estiver disponível).

Também, na TABELA 5.4, foi considerada, separadamente, a água que acompanha a matéria orgânica, como umidade, expresando a matéria orgânica em base seca absoluta (105°C). Finalmente, na TABELA 5.4 é mostrado, junto ao dado de matéria orgânica, na coluna da direita, um valor correspondente à soma de matéria orgânica seca com a água que é utilizada para formar o biogás, segundo a Equação de Buswell, modificada por Mao e Pohland, em 1973 (POHLAND e HARPER, 1985), modificada, por sua vez, para incluir fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), que têm importância econômica como fertilizantes (Equações 5.2 a 5.12, pág. 130 e 131). A utilidade prática desta equação depende da disponibilidade da fórmula química global correspondente do substrato. São dadas fórmulas globais para RSU, resíduos de alimentos,

resíduos de madeira e papel, e celulose (POHLAND; HARPER, 1985). Outros resíduos, que podem ser modelados, são lodo de ETE e resíduo de CEASAs, que são bastante variáveis. Simulação do RSU, baseado em composição dos alimentos residuários presentes, teoricamente, seria fatível, mas é laboriosa demais e, além disso, pouco prática, pela variação do RSU.

Dada a composição do resíduo, seja numa fórmula química ou lista de concentrações de componentes, é possível, no modelo desenvolvido, processar a informação de modo que pode ser usada como uma opção adicional do **tipo de substrato**, da composição da fração orgânica do RSU (opções de 0 a 3, ampliadas a tantas quantas necessárias). Os dados disponíveis de lodo de ETE não permitem encontrar a fórmula global, pois faltam os dados de hidrogênio e oxigênio combinados na matéria orgânica mas, pode ser usado um número de ajuste para a opção 5 que torna possível se calcular as quantidades de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e outros componentes, que podem ser obtidas a partir de uma dada quantidade do material.

Nas equações de Buswell, e a modificada por Mao e Pohland, foi considerado que 100% da matéria orgânica se transforma em biogás, o que na natureza acontece, mas em muitas décadas. No modelo, TABELAS 5.5 a 5.7, a porcentagem de resíduo orgânico da digestão, chamado “húmus”, é um dado de entrada, que dependerá das características do substrato, pré-tratamento, quantidade e características de inóculo utilizada, temperatura e tempo de residência no digestor. A simplificação usada, que realmente não se verifica na prática (dependente da transformação do material mais rapidamente digerível), é que a composição do substrato, do húmus e do biogás, não se altera durante a transformação, para qualquer relação de transformação, o que permite aplicar a equação 5.12, (pág.131).

Outros resíduos que podem ser modelados, são lodo de ETE (incluso), resíduo de CEASA e outros (não inclusos), que são muito variáveis. Dada a fórmula química global do resíduo, seu processamento é análogo ao aplicado nas formulações de Pohland, ampliando as opções de substrato. No caso do lodo de ETE, nos dados da composição química não constam hidrogênio e oxigênio combinados na matéria orgânica, que permitiriam conhecer sua fórmula global e/ou calcular a proporção de metano e CO_2 no biogás produzido. Foi usado um número de ajuste na validação para as condições locais (não mostrado na TABELA 5.7). Como resumo da

anterior, é apresentada a TABELA 5.8, correspondente aos resultados do processamento de dados de diferentes fontes para a composição do biogás: dados de Pohland (TABELA 3.1) para RSU (opção 0), restos de madeira, papel e papelão (opção 1), restos de alimentos (opção 2), e, celulose (opção 3); combinação em proporção escolhida pelo usuário das opções 2 e 3 (opção 4) e lodo de ETE (opção 5, posteriormente eliminada). Outras opções podem ser acrescentadas, se necessário.

A dedução das equações de Buswell original e modificada, correspondem à solução geral da equação 5.1, que chega, finalmente, à equação 3.2, do capítulo 3.

$$C_a H_b O_c N_d S_e + x H_2 O = y CH_4 + z CO_2 + d NH_3 + e SH_2 \quad (5.1)$$

Analogamente, a equação pode ser ampliada para incluir fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), de interesse como fertilizantes no húmus, como mostrado na equação 5.2.

$$\begin{aligned} C_a H_b O_c N_d S_e P_f K_g Ca_h Mg_i + x H_2 O = \\ = y CH_4 + z CO_2 + d NH_3 + e SH_2 + f H_3 PO_4 + g K + h Ca + i Mg \end{aligned} \quad (5.2)$$

As incógnitas x , y e z são encontradas através do balanço químico para C (equação 5.3), H (equação 5.4) e O (equação 5.5).

$$C: a = y + z \quad (5.3)$$

$$H: b + 2x = 4y + 3d + 2e + 3f \quad (5.4)$$

$$O: c + x = 2z + 4f \quad (5.5)$$

A equação 5.6 obtém-se a partir da equação 5.5.

$$x = 2z - c + 4f \quad (5.6)$$

A equação 5.7 obtém-se a partir da equação 5.3.

$$y = a - z \quad (5.7)$$

A equação 5.8 obtém-se substituindo as equações 5.6 e 5.7 na equação 5.4.

$$b + 4z - 2c + 8f = 4a - 4z + 3d + 2e + 3f \quad (5.8)$$

A equação 5.9 obtém-se ordenando a equação 5.8.

$$z = a/2 - b/8 + c/4 + 3d/8 + e/4 - 5f/8 \quad (5.9)$$

A equação 5.10 obtém-se substituindo a equação 5.9 na equação 5.6.

$$x = a - b/4 - c/2 + 3d/4 + e/2 + 11f/4 \quad (5.10)$$

A equação 5.11 obtém-se substituindo a equação 5.9 na equação 5.7.

$$y = a/2 + b/8 - c/4 - 3d/8 - e/4 + 5f/8 \quad (5.11)$$

Substituindo os valores encontrados para x , y e z na eq. 5.2 se chega à equação 5.12 de Buswell, Mao, Polhand e Aguirre.

$$\begin{aligned} &C_a H_b O_c N_d S_e P_f K_g Ca_h Mg_i + (a - b/4 - c/2 + 3d/4 + e/2 + 11f/4) H_2O = \\ &= (a/2 + b/8 - c/4 - 3d/8 - e/4 + 5f/8) CH_4 + (a/2 - b/8 + c/4 + 3d/8 + e/4 - 5f/8) CO_2 + \\ &+ dNH_3 + eSH_2 + fH_3PO_4 + gK + hCa + iMg \end{aligned} \quad (5.12)$$

Deve-se fazer notar que parte (até 32% do total de fração orgânica do RSU) da água livre presente na fração orgânica do RSU será consumida para formar o biogás, como mencionado. Também, deve-se recordar que, na prática, a reação não é total, pois fica um resíduo sólido, o composto anaeróbio ou húmus.

Para chegar aos valores mostrados na TABELA 5.5, o procedimento é, simplesmente, expressar cada um dos componentes do biogás, multiplicados pela massa molecular, como porcentagem da matéria orgânica seca, lembrando que a soma será maior que 100%, devido à incorporação de parte da água livre (até 32%, para o lodo de ETE). Para evitar distorções nos cálculos e erro na soma das porcentagens na TABELA 5.5 a 5.7, deve-se dividir pelo valor que incorpora a água (soma das porcentagens de biogás obtido) e depois, multiplicar pelo substrato seco mais água consumida.

A operação de expressar os componentes do biogás como porcentagem da matéria seca e depois dividir pela matéria orgânica mais a água transformados em biogás é equivalente a expressar os componentes do biogás como porcentagem da matéria orgânica mais água convertidas em biogás. Isto é mostrado no exemplo para a primeira linha da TABELA 5.8.

TABELA 5.8 Resultados da composição de biogás baseado na composição do substrato

Opção	Substrato (MO)	CH ₄ /MO	CO ₂ /MO	NH ₃ /MO	H ₂ S/MO	H ₃ PO ₄ /MO	K/MO	Ca/MO	Mg/MO	húmus
0	RSU = $C_{99}H_{149}O_{59}N$	0,264	0,630	0,006	0	0	0	0	0	0,100
1	$C_{203}H_{334}O_{138}N$	0,264	0,633	0,003	0	0	0	0	0	0,100
2	Alim. = $C_{16}H_{27}O_8N$	0,278	0,585	0,037	0	0	0	0	0	0,100
3	$C_6H_{10}O_5$	0,240	0,660	0,000	0	0	0	0	0	0,100
4	$C_{16}H_{27}O_8N + x C_6H_{10}O_5$	0,252	0,637	0,011	0	0	0	0	0	0,100
5	Lodo de ETE	0,175	0,466	0,074	0,007	4E-04	0,007	0,149	0,003	0,100

Na opção 4, da TABELA 5.8, x é ajustável (TABELA 5.4, Número de ajuste para substrato, opção 4). Posteriormente, as opções 4 e 5 foram eliminadas (fora do escopo do trabalho e falta de disponibilidade de dados reais).

5.5.1 Construção da primeira linha (opção 0) da TABELA 5.8

Da fórmula do substrato: $C_{99}H_{149}O_{59}N$ e por comparação com a equação 5.12, resulta: $a = 99$ moles; $b = 149$ moles; $c = 59$ moles; $d = 1$ [mol]; e $e = f = g = h = i = 0$ mol que

permitem o cálculo das colunas seguintes. A massa molecular da matéria orgânica é calculada multiplicando-se o valor de a por 12 g/mol, que é a massa do átomo de carbono; b por 1 g/mol, do hidrogênio; c por 16 g/mol, do oxigênio; d por 15 g/mol, que é a massa do átomo de nitrogênio; e , e por 32 g/mol, do enxofre. Resulta 2296 g de massa molecular da matéria orgânica. Calculam-se as massas moleculares dos outros componentes de forma análoga. Para a massa da água consumida, se multiplica a massa molecular da água, 18 g/mol, pela quantidade de moles de água consumida, calculada ao substituir os valores de a , b , c , d , e e na eq. 5.10. Resulta 594 g. A massa de metano produzido é calculada multiplicando-se por 16 g/mol o valor calculado substituindo a , b , c , d , e e na eq. 5.11. Resulta 848 g. Analogamente, calcula-se a massa de CO_2 , multiplicando por 44 g/mol (massa molecular do CO_2) o valor calculado ao substituir a , b , c , d , e e na eq. 5.9. Resulta 2024 g. Finalmente, pois não há enxofre e outros, se calcula a massa de NH_3 produzido, multiplicando o valor de d por 18 g/mol (massa molecular do NH_3), resultando 18g. Para conferir se o cálculo foi correto, a soma de matéria orgânica e água deve ser igual à soma de todo o biogás produzido. Verifica-se que: $2296\text{g} + 594\text{g} = 848\text{g} + 2024\text{g} + 18\text{g} + 0\text{g} = 2890\text{g}$.

Se toda a matéria orgânica fosse transformada em biogás, o valor de $\text{CH}_4/(\text{MO}+\text{H}_2\text{O})$ se obteria dividindo $848/2890=0,293$, que deve ser corrigido multiplicando pela fração de $\text{MO}+\text{H}_2\text{O}$ transformada efetivamente em biogás, 0,9 ($=1-0,1$), resultando o valor 0,264 da terceira coluna na primeira linha da TABELA 5.8. As outras colunas são calculadas em forma análoga, exceto a última, que é dado (foi assumido que 10% da matéria orgânica não foi transformada em biogás, ficando como húmus) . Conferindo o cálculo, a soma do valor de cada coluna por linha deve ser igual a 1: $0,264083 + 0,630311 + 0,005606 + 0,1 = 1$. Na TABELA 5.4, (pág.123), coluna.3 (valor 41,5), para incluir a água consumida para formar biogás, multiplica-se cada valor teórico pela soma de matéria orgânica mais água.

Como na planilha Excel as mesmas fórmulas são replicadas nas linhas subseqüentes, para o cálculo dos outros substratos, não é necessária mais verificação. Cuidar apenas em não errar ao entrar com os dados. Analogamente, procede-se para as outras linhas da TABELA 5.8.

5.5.2 Construção das TABELAS 5.5 a 5.7

As TABELAS 5.5 a 5.7 são, matematicamente, as mesmas, com resultados e figuras mudando em função dos dados da proporção da fração inorgânica (**Reciclagem seca**) e da fração orgânica (**Reciclagem úmida**) que podem variar de zero a 100%. Na TABELA 5.5, ambos valores são zero, tipificando que não há reciclagem. Na figura, todo o material é destinado ao aterro. Os valores indicam que o faturamento é negativo, devido ao custo por tonelada do que é destinado ao aterro.

Na TABELA 5.6, aparece 1% para a reciclagem seca e a figura é modificada, indicando que, agora, existe produto. Também, modificam-se os valores da TABELA 5.6, pois, para a linha **Recicláveis**, como sucata, aparecem valores diferentes de zero. O faturamento anual, ainda, é negativo, mas menor que no primeiro caso (TABELA 5.5).

Na TABELA 5.7, com 100% de reciclagem seca e úmida (caso limite e hipotético), a figura, novamente, é modificada, sem aterro, e há um faturamento significativo, mesmo com a tonelagem total de, apenas, 20 toneladas por dia (como isto será possível, é objeto de desenvolvimento futuro, mas a visão de negócios, espírito criativo, inovação e empreendedorismo tem importante participação, pois o que é bom num local, pode ser melhorado, ainda mais, em outro). Os impactos esperados são altamente significativos, especialmente, se lembrar que o recurso usado era poluente, representava somente um gasto e não apresentava nenhuma vantagem social, pois os catadores, sem organização e condições de trabalho mínimas, apenas sobrevivem no meio do resíduo insalubre. As vantagens esperadas da aplicação do sistema AAA são listadas no item 5.8.1 (pág.173).

Para mudar a figura nas TABELAS 5.5 a 5.7, duas condições devem ser satisfeitas, simultaneamente: que tanto a reciclagem seca (célula F33 da Planilha Excel) como a úmida (célula F34), sejam 0% ou 100%, respectivamente. O comando Excel usado é: SE(E(F33=0%;F34=0%),"";SE(\$F\$22=0;"Products";SE(\$F\$22=1;"Produtos";"Productos"))). As

opções de língua, também, são mostradas, pois entrando 0 na célula F22 se obtém Inglês. Com 1 será Português e qualquer outro número a linguagem será Espanhol. O comando usado é combinação dos comandos “SE” e “E”. O comando “SE” permite executar uma fórmula ou outra, se o resultado do teste da condição lógica for “verdadeiro” ou “falso”. O comando “E” retorna verdadeiro, somente se, todos (até 30 argumentos), forem verdadeiros. Posteriormente, os valores de F22, F33 e F34 foram transferidos para a planilha “Dados”.

O desenvolvimento do modelo é dinâmico. Inicia-se de maneira simples e, após testes de desempenho, vai se tornando complexo à medida que são acrescentadas capacidades.

As TABELAS 5.5 a 5.7 são da mesma planilha “*Faturamento*”, mas a TABELA 5.7 é mais completa.

Na TABELA 5.5, agrupou-se os dados, de forma a simplificar a etapa inicial. Sempre podem ser adicionadas linhas para estes ou outros componentes mais detalhados, para os quais exista valor econômico (mercado e demanda constante no tempo, capaz de absorver toda a produção). Linhas para os outros componentes da TABELA 5.4, separados, foram adicionadas posteriormente, como mostrado na TABELA 5.7. Tem-se, deste modo, assinalado o caminho para se adicionar linhas à medida necessária (vide “*Faturamento*” no APÊNDICE A8, pág.259).

5.5.3 Valores da coluna de concentração nas TABELAS 5.5 a 5.7

Os valores para metano, gás carbônico e outros gases, húmus e água são o resultado do produto da concentração de matéria orgânica no RSU (33,0% no exemplo usado) mais a água consumida para formar biogás (8,5% TABELA 5.4, quarta coluna, valor 41,5%), pelo valor da linha correspondente à opção de substrato escolhida (opção 0), na coluna correspondente da TABELA 5.7 (por exemplo, para CH₄/MO é a terceira) que é 0,264, multiplicada, ainda, pela

porcentagem úmida reciclada (100% na TABELA 5.7). Resulta 10,97%. Verificando: $41,5\% \cdot 0,264 \cdot 100\% = 10,97\%$ que está certo, pois se existir diferença, deverá ser apenas devido a arredondamento. Analogamente, para outros gases do biogás (CO₂ e outros), o húmus e a água. Os valores para a reciclagem seca, são obtidos como produto da concentração correspondente na TABELA 5.7 (na TABELA 5.7, a soma, 40%) pela porcentagem seca reciclada. Para verificar os resultados, na mesma tabela, há duas células, independentes. A primeira é o valor do RSU aproveitado, calculado como o quociente do fluxo aproveitado e a tonelagem total, expresso em porcentagem (%). A segunda, é o valor de Resíduo (perda), calculado como a diferença entre a unidade e a soma das outras porcentagens de concentração, desde o metano até a água. A soma de ambos deve ser 100%, sempre.

5.5.4 Valores da coluna de fluxo nas TABELAS 5.5 a 5.7 (pág. 124 a 126)

Para as linhas do metano até o resíduo (perda), se obtém, como o produto da concentração de cada componente pelo fluxo total, que são as toneladas de coleta diária, neste caso, 20. Para o RSU aproveitado, é a soma dos valores de fluxos indo de 1. metano até 5. água. O fluxo aproveitado mais a perda deve ser igual ao fluxo total, sempre.

5.5.5 Valores da coluna de preço nas TABELAS 5.5 a 5.7 (pág. 124 a 126)

Os preços são dados dependentes do mercado, preferivelmente, local. Geralmente, o preço é função do valor do produto virgem ou equivalente, sua quantidade relativa e segurança de

fornecimento contínuo e a qualidade do material reciclável, expressa como pureza (última coluna).

Para uma estimativa preliminar, podem ser usados os preços, em Reais convertidos a Dólares, dos preços publicados em diferentes fontes, por exemplo, nos “sites” RECICLÁVEIS, (2001) e CEMPRE, (2004).

Convém utilizar dados locais reais e atualizados toda vez que usar o programa, pois muitos valores mudam freqüentemente e não são, normalmente, atualizados.

As variações de preços de local para local são muito maiores que as esperadas pela análise estatística (vide planilha *Dados* no Apêndice A3, pág.233).

O transporte introduz variações significativas de preços para localidades distantes dos centros de compras.

Foi adicionada, também, na planilha “Dados”, a opção moeda, para expressar os valores em Dólar ou em Real. Isto permite uma atualização aproximada dos preços, atrelados ao Dólar.

5.5.6 Valores da coluna de faturamento nas TABELAS 5.5 a 5.7 (pág. 124 a 126)

Para as linhas partindo de metano até resíduo (perda), se obtém, simplesmente, para cada linha, o faturamento como o produto dos valores da coluna fluxo pela coluna preço, multiplicado por 365 dias (1 ano), pois a produção de RSU é diária. O faturamento anual total é, simplesmente, a soma dos valores da coluna faturamento. Se o preço for expresso em Reais, o faturamento será expresso em Reais, se for em dólares, será expresso em dólares (opção na planilha *Dados*)..

Deve-se lembrar que o valor obtido corresponde ao faturamento potencial. O valor real, sempre, dependerá das condições de mercado, contratos e outros.

5.5.7 Valores para a coluna de pureza nas TABELAS 5.5 a 5.7 (pág. 124 a 126)

A coluna de pureza foi preenchida com valores preliminares, diferentes nas etapas de implantação mas, realmente, devem ser pesquisados no mercado os valores desejados ou exigidos, pois afetam o preço e a viabilidade de seu aproveitamento. Quando a pureza é menor que a exigida pelo mercado, os produtos não têm saída, pois nas indústrias recicladoras, as impurezas na matéria prima podem reduzir a vida útil do maquinário e afetar a qualidade do produto final, além de causar prejuízos que ocasionam a descontinuidade do processo, especialmente, se não há sistemas depuradores apropriados. A pureza muda nas diferentes etapas de implantação do Sistema AAA, assim como os preços. Para produtos industriais, a pureza é elevada porque são usados processos industriais de depuração. A simulação do desempenho dos depuradores está relacionada com esta coluna, como dado para as planilhas de depuração.

5.6 Simulação do desempenho de um sistema de depuração

Esta é uma área muito polêmica. Na indústria, os fabricantes de equipamentos são muito cuidadosos em evitar proporcionar informação que possa dar origem a litígios, se o equipamento não satisfazer aos valores informados. Por outro lado, existe pouco desenvolvimento teórico publicado que possibilite adequada previsão de resultados (AGUIRRE, 2003).

A situação, também, não avança muito devido ao custo experimental envolvido, tanto de tempo, como de pessoal qualificado.

Por outro lado, dispor de um modelo confiável, para simular o desempenho de um sistema de depuração, deve significar um grande avanço, mesmo que exista desconfiança, pois alguns modelos, lamentavelmente, são não somente inúteis mas, também, excessivamente complexos, caros, requerem longo período de aprendizado e são geralmente frustrantes.

Valores “típicos” são mencionados para seleção e dimensionamento dos equipamentos, mas não são encontradas previsões sobre qual será o desempenho esperado na eficiência de depuração, mesmo que os investimentos sejam elevados.

Para depuradores probabilísticos, pode-se estender a aplicação da equação modificada de Nelson, válida para peneiras, para qualquer depurador probabilístico que possa ser caracterizado por, somente, um parâmetro, a “**Seletividade**” (pág. 80 e 81 e Apêndice C, pág.291).

5.6.1 Seleção da melhor configuração de um sistema de depuração

A seleção da configuração de equipamentos de depuração mais adequada para proporcionar a máxima eficiência de depuração, com mínima perda de material útil, é um problema prático que é abordado pela simulação do desempenho do sistema de depuração. Um desenvolvimento matemático detalhado foi realizado (Vide Apêndice D, pág.295) e várias tabelas de cálculo apresentadas, tendentes a encontrar, através da simulação, qual era a melhor configuração de três depuradores em diferente seqüências, chegando à conclusão que a melhor configuração depende do valor dos dados iniciais. Os cálculos foram feitos com duas abordagens diferentes: planilhas *depuração* e *depuração 1*. Usando a mesma área de cada planilha para o cálculo do balanço de fluxos de cada configuração, aplica-se cálculo iterativo para chegar aos

resultados ao clicar sobre a figura da configuração selecionanda. Foram desenvolvidas Macros para automatizar o cálculo, facilitando a obtenção de resultados. Posteriormente, observou-se que a entrada dos valores de taxas de rejeitos era muito laboriosa e demorada para se chegar a resultados práticos (convergência para a solução muito vagarosa), e decidiu-se experimentar a função “Solver” do Excel. Como esta função opera de forma iterativa, o cálculo do balanço de fluxos, de forma iterativa, teve que ser substituído pelo cálculo direto para permitir a aplicação do “Solver”, o que foi feito em uma nova planilha, *Depuração 2* (pág.138 a 171).

Finalmente, para simplificar a ferramenta de simulação e eliminar a complicação das Macros, que ativam os sistemas antivírus dos computadores e não permitem o envio por correio eletrônico do modelo, as planilhas *Simulação* e *Simulação 1* foram substituídas do modelo, pois os resultados dependem da configuração escolhida e dos dados, não do método de cálculo.

5.6.2 Simulação de sistemas de depuração

Da equação de Nelson modificada que estabelece a relação matemática entre eficiência de remoção de contaminantes e taxa de rejeitos, através do conceito de Seletividade (equação 3.6 pág. 81) permite aproveitar o isomorfismo das equações que relacionam o fluxo de rejeito com o fluxo de alimentação para fluxo total e fluxo de contaminantes, o que permite replicar as equações para os dados em posições adequadas. Para otimizar a seleção das taxas de rejeito, construiu-se a planilha *Depuração*, em que, para cada configuração, há uma Tabela de cálculo de Fluxos. As equações de cálculo são, agora, expressas em função direta dos dados, sem iterações. Os valores das taxas de rejeito podem ser inseridos em forma manual ou encontrados, automaticamente, pelo uso do “Solver”. Para aplicar o “Solver” (Anexo A, pág.333 a 353), se abre a Caixa de diálogo do “Solver”.

Primeiro, deve-se definir a **célula de destino**, que será um máximo, um mínimo ou igual a um determinado valor. Neste caso, será a **perda**, expressa em termos das taxas de rejeito correspondentes, que deve ser mínima. Em seguida, se definem as **células de variáveis**, que são os valores das taxas de rejeito correspondentes a essa seletividade.

Finalmente, se adicionam as restrições, uma a uma, clicando no botão **Adicionar**, da **Caixa de Diálogo do “Solver”**. Neste caso, as restrições são:

- ♦ o valor da **pureza** desejada deve ser a primeira restrição a ser satisfeita. Expressa-se a pureza em função das taxas de rejeito e se estabelece como restrição que seu valor será maior ou igual ao valor desejado. Para simplificar, a pureza é expressa como concentração residual de contaminantes no material depurado, C_d , que deve ser menor ou igual à concentração residual do material depurado;
- ♦ os valores das **concentrações**, só podem estar entre zero e 100%. Isso se estabelece em dois passos. No primeiro, se estabelece que os valores das células das concentrações são maiores que zero e, no segundo passo, que os valores são menores que 100%. Após cada passo, se deve pressionar o botão **Adicionar**;
- ♦ o valor da **perda** sempre será maior ou igual a zero; e,
- ♦ os valores das taxas de rejeito são entre zero e 100%.

Para evitar valores pouco práticos, podem ser acrescentadas restrições que limitem a quantidade de fluxos de alimentação e outras, conforme necessário, ou simplesmente limitando o valor máximo das taxas de rejeitos, por exemplo, até 60%.

Três configurações de sistemas de depuração com três depuradores foram simuladas.

Elas foram nominadas como configuração Verde, para sistema série com rejeitos em contracorrente; configuração Vermelha, para sistema em três estágios com aceitos em cascata; e, configuração Azul, para uma combinação das duas primeiras. Logicamente, outras configurações são possíveis.

5.6.2.1 Configuração Verde

As equações para o cálculo do balanço de material são, agora, resolvidas para permitir a aplicação do “Solver”. Para facilitar a dedução das equações de fluxo correspondentes à configuração verde, é necessário **visualizar os números das linhas de fluxo**, Figura 5.1.

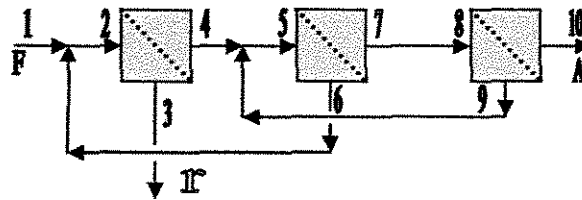


Figura 5.1 Sistema de Depuração para a Configuração Verde

A linha 1 de fluxo total, T_1 , é o fluxo de material a depurar, relacionado com o dado F , equação 5.56, para introduzir o dado do material a depurar, F .

$$T_1 = F \quad (5.56)$$

Em que T_1 [t/d] é o fluxo total pela linha 1.

O fluxo total pela linha 2 é dado pela equação 5.57 como a soma do fluxo T_1 com o fluxo T_6 .

$$T_2 = F + T_6 \quad (5.57)$$

Onde: T_2 [t/d] e T_6 [t/d] são os fluxos totais pelas linhas 2 e 6.

O rejeito do sistema, r (T_3), corresponde ao rejeito do primeiro depurador, que por definição de taxa de rejeito (vide Glossário, pág.205) é o produto da taxa de rejeito do depurador, pela sua alimentação, como mostrado na equação 5.58.

$$T_3 = r = (F + T_6) R_1 \quad (5.58)$$

Onde: R_1 é a taxa de rejeito do primeiro depurador e os sub-índices de T indicam os números das linhas de fluxo.

O fluxo de material depurado pelo primeiro depurador é T_4 , correspondente à diferença de fluxos de alimentação e rejeito, dados nas equações 5.57 e 5.58, com resultado ordenado na equação 5.59.

$$T_4 = T_2 - T_3 = (F + T_6) (1 - R_1) \quad (5.59)$$

A alimentação do segundo depurador, T_5 , é a soma de T_4 com T_9 , dada na equação 5.60.

$$T_5 = T_4 + T_9 = (F + T_6) (1 - R_1) + T_9 \quad (5.60)$$

Por definição de taxa de rejeito (Glossário, pág. 213), o rejeito do segundo depurador, T_6 , é o produto da taxa de rejeito do depurador, pela sua alimentação, como mostrado na equação 5.61.

$$T_6 = T_5 R_2 = ((F + T_6) (1 - R_1) + T_9) R_2 \quad (5.61)$$

Ordenando a equação 5.61, obtém-se a equação 5.62, com a qual se encontra o valor de T_6 em função de T_9 .

$$T_6 = \frac{F(1 - R_1)R_2 + T_9R_2}{(1 - (1 - R_1)R_2)} \quad (5.62)$$

O fluxo de material depurado pelo segundo depurador é T_7 , correspondente à diferença de fluxos de alimentação e rejeito, dados nas equações 5.60 e 5.62, com resultado ordenado na equação 5.63, que inclui a igualdade com o fluxo de alimentação ao terceiro depurador.

$$T_7 = T_5 - T_6 = T_8 = \frac{F(1-R_1)(1-R_2) + T_9(1-R_2)}{(1-(1-R_1)R_2)} \quad (5.63)$$

Aplicando a definição de taxa de rejeito, obtém-se o fluxo de rejeito do terceiro depurador, T_9 . Ordenando, obtém-se a equação 5.64.

$$T_9 = \frac{F(1-R_1)(1-R_2)R_3}{(1-(1-R_1)R_2) - (1-R_2)R_3} \quad (5.64)$$

Substituindo a equação 5.64 na equação 5.61 e ordenando e simplificando, obtém-se a equação 5.65, para o fluxo de rejeito do segundo depurador, T_6 .

$$T_6 = \frac{F(1-R_1)R_2}{(1-(1-R_1)R_2) - (1-R_2)R_3} \quad (5.65)$$

Substituindo a equação 5.65 na equação 5.58 e ordenando e simplificando, obtém-se a equação 5.66, para o fluxo de rejeito do primeiro depurador, T_3 , que é o rejeito R do sistema.

$$T_3 = \frac{F(1-(1-R_2)R_3)R_1}{(1-(1-R_1)R_2) - (1-R_2)R_3} = R \quad (5.66)$$

Comparando-se as equações 5.58 e 5.59, obtém-se a equação 5.67, onde se expressa o fluxo de material depurado em função do fluxo de rejeito.

$$T_4 = T_3 \frac{(1-R_1)}{R_1} \quad (5.67)$$

Substituindo a equação 5.66 na equação 5.67, obtém-se a equação 5.68.

$$T_4 = \frac{F(1-(1-R_2)R_3)(1-R_1)}{(1-(1-R_1)R_2) - (1-R_2)R_3} \quad (5.68)$$

Analogamente, obtêm-se os fluxos depurados do segundo e terceiro depuradores, correspondentes às equações 5.69 e 5.70.

$$T_7 = \frac{F(1-R_1)(1-R_2)}{(1-(1-R_1)R_2 - (1-R_2)R_3)} \quad (5.69)$$

$$T_{10} = \frac{F(1-R_1)(1-R_2)(1-R_3)}{(1-(1-R_1)R_2 - (1-R_2)R_3)} \quad (5.70)$$

Para conferir, deve-se verificar que a massa a depurar, F , corresponde à soma da massa depurada, T_{10} , mais o rejeito, T_3 , do sistema, ou, que somando as equações 5.66 e 5.70 resulta a equação 5.71, que deve ser igual a F .

$$T_3 + T_{10} = \frac{F(R_1(1-(1-R_2)R_3) + (1-R_1)(1-R_2)(1-R_3))}{(1-(1-R_1)R_2 - (1-R_2)R_3)} = F \quad (5.71)$$

Na fração da equação 5.71, será suficiente demonstrar que o numerador, dividido por F , é igual ao denominador. Realizando as operações algébricas do numerador e denominador e ordenando, obtêm-se a equação 5.72, que deve ser igual à unidade, pois $F/F=1$.

$$\begin{aligned} & \frac{R_1 - R_1R_3 + R_1R_2R_3 + 1 - R_3 - R_2 + R_2R_3 - R_1 + R_1R_3 + R_1R_2 - R_1R_2R_3}{1 - R_2 + R_1R_2 - R_3 + R_2R_3} = \\ & = \frac{(R_1 - R_1 - R_1R_3 + R_1R_3 + R_1R_2R_3 - R_1R_2R_3) + (1 - R_2 - R_3 + R_1R_2 + R_2R_3)}{(1 - R_2 - R_3 + R_1R_2 + R_2R_3)} = 1 \end{aligned} \quad (5.72)$$

O conteúdo do primeiro parênteses da equação 5.72 é zero e o conteúdo do segundo parênteses é igual ao denominador, portanto o resultado da equação é 1. Deste modo, confere-se a validade das equações principais, que podem, agora, ser incluídas na planilha **Depuração 2**, para, aplicando o “Solver”, otimizar-se os valores das taxas de rejeito que satisfazem à pureza desejada com mínima perda, para os valores dados de seletividade.

A coluna de fluxo impurezas é obtida replicando-se, nela, a coluna de fluxo total, cuidando que os dados estejam nas posições convenientes.

Aplicando o “Solver” para $S=0,995$, $F=100$ t/d e concentração de contaminantes na massa depurada $C_d=0,1\%$, obtém-se os valores da TABELA 5.9, em que os valores das taxas de rejeito de cada depurador, R_1 , R_2 e R_3 , foram otimizados pelo “Solver”.

TABELA 5.9 Balanço de fluxos da configuração Verde para $S=0,995$

Número	Descrição	Total	Contam.	Conc.	Eficiências e
da linha	Sistema Verde	t/d	t/d	%	taxas de rejeito
1	Alimentação do sistema	100,000	10,000	10,0%	
2	Alimentação do primeiro depurador	100,843	10,246	10,2%	$E1 = 0,976$
3	rejeito do sistema	16,991	9,999	58,8%	$R1 = 0,168$
4	depurado do primeiro Depurador	83,852	0,247	0,3%	
5	Alimentação do segundo depurador	167,000	0,488	0,3%	$E2 = 0,504$
6	rejeito do segundo depurador	0,843	0,246	29,1%	$R2 = 0,005$
7	depurado do segundo depurador	166,157	0,242	0,1%	
8	alimentação do terceiro depurador	166,157	0,242	0,1%	$E3 = 0,995$
9	rejeito do terceiro depurador	83,148	0,241	0,3%	$R3 = 0,500$
10	material depurado	83,009	0,001	0,001%	$E = 0,99988$

Note-se que o valor da concentração de contaminantes na massa depurada é muito menor que o correspondente ao valor desejado, o que significa, na prática, que para a seletividade suposta, $S=0,995$, ser conseguida, possivelmente, não seriam necessários três depuradores em série para chegar à depuração desejada.

Para cálculo de fluxos por somente um depurador, simplesmente se faz igual a zero as taxas de rejeitos dos outros depuradores.

Usando a configuração Verde, com três depuradores em série e os rejeitos em contracorrente, para seletividade $S=0,995$ dos depuradores, obtém-se a depuração desejada com

bastante folga, pois para a pureza desejada de 99,9%, a concentração de impurezas no material depurado deveria ser 0,1%.

Neste caso, para as taxas de rejeito ajustadas, a perda de material foi de 6,99 t/d no rejeito total do sistema de 16,99 t/d para 100 t/d de material a depurar e a pureza seria 99,999% ($=1-C_d$).

Na TABELA 5.10, apresenta-se o resultado otimizado para uma seletividade menor, $S=0,925$.

TABELA 5.10 Balanço de fluxos da configuração Verde para $S=0,925$

Número da linha	Descrição Sistema Verde	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito para o Sistema
1	Alimentação do sistema	100,000	10,000	10,0%	
2	Alimentação do primeiro depurador	83745,1	5907,7	7,1%	E1=0,0017
3	Rejeito do sistema	10,6	9,9	93,9%	R1=0,00013
4	depurado do primeiro Depurador	83734,5	5897,8	7,0%	
5	Alimentação do segundo depurador	83782,1	5898,4	7,0%	E2=1,000
6	Rejeito do segundo depurador	83645,1	5897,7	7,1%	R2=0,998
7	depurado do segundo depurador	137,033	0,725	0,5%	
8	alimentação do terceiro depurador	137,033	0,725	0,5%	E3=0,876
9	Rejeito do terceiro depurador	47,586	0,635	1,3%	R3=0,347
10	material depurado	89,447	0,090	0,100%	E=0,99105

Como não foi colocada restrição de fluxos máximos, a solução ajustada do “Solver”, que satisfaz às restrições impostas, não tem validade prática, pois o custo de instalação e operação desse sistema seria muito elevado, tornando a solução economicamente inviável, devido aos fluxos muito altos, a causa da elevada recirculação nas linhas, resultante das taxas de rejeito obtidas pelo “Solver”.

A perda seria muito baixa: 10,6 t/d total – 9,9 t/d de contaminantes = 0,7 t/d.

Na TABELA 5.11, apresenta-se o resultado otimizado para uma seletividade menor, $S=0,855$.

TABELA 5.11 Balanço de fluxos da configuração Verde para $S=0,855$

Número da linha	Descrição Sistema Verde	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito para o Sistema
1	Alimentação do sistema	100,000	10,000	10,0%	
2	Alimentação do primeiro depurador	41678,2	1987,0	4,8%	E1=0,0050
3	Rejeito do sistema	30,3	9,9	32,7%	R1=0,00073
4	depurado do primeiro Depurador	41647,8	1977,1	4,7%	
5	Alimentação do segundo depurador	87939,2	2296,6	2,6%	E2=0,861
6	Rejeito do segundo depurador	41578,2	1977,0	4,8%	R2=0,473
7	depurado do segundo depurador	46361,03	19,640	0,7%	
8	alimentação do terceiro depurador	46361,03	19,640	0,7%	E3=1,000
9	Rejeito do terceiro depurador	46291,43	19,570	0,7%	R3=0,998
10	material depurado	69,668	0,0700	0,100%	E=0,99303

A perda, neste caso, será de 20,4 t/d, mas, como no caso anterior, sem restrição de fluxos, a solução do “Solver” é inviável economicamente (custo de instalação e de operação elevado devido aos fluxos exagerados). No final do item 5.6 (pág.163 a 171), aparecem mais cálculos, mostrando que, ao restringir os valores máximos das taxas de rejeito até 60 %, os valores dos fluxos poderiam ser viáveis economicamente pelos fluxos envolvidos.

5.6.2.2 Configuração Vermelha

Para a configuração Vermelha, a dedução das equações é similar à configuração Verde. As equações para o cálculo do balanço de material são, aqui, resolvidas, para permitir a aplicação

do “Solver”. As linhas de fluxo, numeradas, mostradas na Figura 5.2, foram usadas para deduzir as equações de cálculo mostradas a seguir.

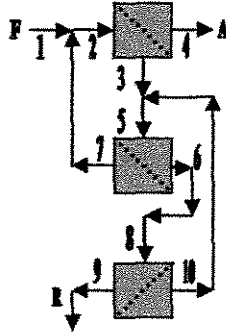


Figura 5.2 Sistema de Depuração para a configuração Vermelha

A linha 1, de fluxo total, T_1 , é, simplesmente, o fluxo de material a depurar, ou F , dado na equação 5.73.

$$T_1 = F \quad (5.73)$$

O fluxo total pela linha 2 é a soma do fluxo T_1 com o fluxo T_7 , equação 5.74.

$$T_2 = F + T_7 \quad (5.74)$$

Onde T_2 [t/d] e T_7 [t/d] são os fluxos totais pelas linhas 2 e 7, respectivamente.

O rejeito do primeiro depurador é T_3 , correspondendo, por definição, ao produto da taxa de rejeito do depurador, pela sua alimentação, equação 5.75.

$$T_3 = (F + T_7) R_1 \quad (5.75)$$

O fluxo de material depurado pelo primeiro depurador é T_4 , que é o material depurado pelo sistema, correspondente à diferença de fluxos de alimentação e rejeito, dados nas equações 5.74 e 5.75, com resultado ordenado na equação 5.76.

$$T_4 = T_2 - T_3 = (F + T_7) (1 - R_1) \quad (5.76)$$

A alimentação do segundo depurador, T_5 , é a soma de T_3 com T_{10} , dada na equação 5.77.

$$T_5 = T_3 + T_{10} = (F + T_7) R_1 + T_{10} \quad (5.77)$$

Por definição de taxa de rejeito, o rejeito do segundo depurador, T_6 , é o produto da taxa de rejeito do depurador, pela sua alimentação, como mostrado na equação 5.78, onde está inclusa a igualdade do fluxo rejeitado pelo segundo depurador e a alimentação do terceiro depurador.

$$T_6 = T_5 R_2 = ((F + T_7) R_1 + T_{10}) R_2 = T_8 \quad (5.78)$$

O fluxo de material depurado pelo segundo depurador é T_7 , correspondendo à diferença de fluxos de alimentação e rejeito, dados nas equações 5.77 e 5.78, com resultado ordenado na equação 5.79.

$$T_7 = T_5 - T_6 = ((F + T_7) R_1 + T_{10}) (1 - R_2) \quad (5.79)$$

A partir de 5.79, encontra-se o valor de T_7 , em função de F , T_{10} e das taxas de rejeito, equação 5.80.

$$T_7 = \frac{FR_1(1 - R_2) + T_{10}(1 - R_2)}{(1 - R_1(1 - R_2))} \quad (5.80)$$

A partir da equação 5.80, substituída na equação 5.78, encontra-se o fluxo de alimentação ao terceiro depurador, T_8 , em função de F , T_{10} e das taxas de rejeito, como mostrado na equação 5.81.

$$T_8 = T_{10}R_2 + R_1R_2 \left(F + \frac{FR_1(1 - R_2) + T_{10}(1 - R_2)}{(1 - R_1(1 - R_2))} \right) =$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{T_{10}R_2(1-R_1(1-R_2)) + R_1R_2(F(1-R_1(1-R_2)) + R_1(1-R_2)) + T_{10}(1-R_2)}{(1-R_1(1-R_2))} = \\
&= \frac{FR_1R_2 + T_{10}(R_2 - R_1R_2(1-R_2 - 1 + R_2))}{(1-R_1(1-R_2))} = \frac{FR_1R_2 + T_{10}R_2}{(1-R_1(1-R_2))} \quad (5.81)
\end{aligned}$$

Aplicando relação análoga às equações 5.74, 5.75 e 5.76, o fluxo depurado, T_{10} , pelo terceiro depurador, é dado pela equação 5.82.

$$T_{10} = T_8(1-R_3) = \frac{(1-R_3)R_2T_{10} + (1-R_3)FR_1R_2}{(1-R_1(1-R_2))} \quad (5.82)$$

E, da equação 5.82, encontra-se T_{10} , em função de F e das taxas de rejeito, como mostrado na equação 5.83.

$$T_{10} = \frac{FR_1R_2(1-R_3)}{(1-R_1(1-R_2) - R_2(1-R_3))} \quad (5.83)$$

Da comparação das equações 5.75 e 5.76, aplicando-se para relacionar o rejeito com o material depurado, obtém-se a equação 5.84, que expressa o rejeito do sistema.

$$T_9 = \frac{T_{10}R_3}{(1-R_3)} = \frac{FR_1R_2R_3}{1-R_1(1-R_2) - R_2(1-R_3)} \quad (5.84)$$

Substituindo a equação 5.83 na equação 5.80 e ordenando e simplificando, resulta a equação 5.85, para o fluxo de material depurado do segundo depurador, T_7 .

$$\begin{aligned}
T_7 &= \frac{FR_1(1-R_2)}{(1-R_1(1-R_2))} + \frac{(1-R_2)}{(1-R_1(1-R_2))} * \frac{FR_1R_2(1-R_3)}{(1-R_1(1-R_2) - R_2(1-R_3))} = \\
&= \left(\frac{FR_1(1-R_2)}{(1-R_1(1-R_2))} \right) \left(\frac{(1-R_1(1-R_2)) - R_2(1-R_3) + R_2(1-R_3)}{(1-R_1(1-R_2) - R_2(1-R_3))} \right) =
\end{aligned}$$

$$= \frac{FR_1(1-R_2)}{(1-R_1(1-R_2)-R_2(1-R_3))} \quad (5.85)$$

Substituindo a equação 5.85 na equação 5.76 e ordenando e simplificando, resulta a equação 5.86 para o fluxo de massa depurada do primeiro depurador, T_4 , que é a massa depurada A do sistema.

$$\begin{aligned} T_4 &= (1-R_1) \left(F + \frac{FR_1(1-R_2)}{(1-R_1(1-R_2)-R_2(1-R_3))} \right) = \\ &= F(1-R_1) \left(\frac{1-R_1(1-R_2)-R_2(1-R_3)+R_1(1-R_2)}{(1-R_1(1-R_2)-R_2(1-R_3))} \right) = \\ &= \frac{F(1-R_1)(1-R_2(1-R_3))}{(1-R_1(1-R_2)-R_2(1-R_3))} = A \end{aligned} \quad (5.86)$$

Da equação 5.67 (pág.144), que expressa a fluxo de material depurado em função do fluxo de rejeito, obtém-se a equação recíproca, que expressa o fluxo de material rejeitado em função do material depurado, como mostrado na equação 5.87 para T_3 e 5.88 para T_6 .

$$T_3 = \frac{T_4 R_1}{(1-R_1)} = \frac{FR_1(1-R_2(1-R_3))}{(1-R_1(1-R_2)-R_2(1-R_3))} \quad (5.87)$$

$$T_6 = \frac{FR_1 R_2}{(1-R_1(1-R_2)-R_2(1-R_3))} \quad (5.88)$$

Para conferir, deve-se verificar que a massa a depurar, F , corresponde à soma da massa depurada, T_4 , mais o rejeito, T_2 , do sistema, ou, que da soma das equações 5.86 e 5.84 resulta a equação 5.89, que deve ser igual a F .

$$F = A + R = \frac{F(1 - R_1)(1 - R_2(1 - R_3)) + FR_1R_2R_3}{(1 - R_1(1 - R_2) - R_2(1 - R_3))} =$$

$$= F \frac{1 - R_2 + R_2R_3 - R_1 + R_1R_2 - R_1R_2R_3 + R_1R_2R_3}{1 - R_1 + R_1R_2 - R_2 + R_2R_3} = F \quad (5.89)$$

O denominador da fração da equação 5.89 é igual ao numerador, pois os termos finais no numerador $(-R_1R_2R_3 + R_1R_2R_3)$ se anulam.

Assim, está conferida a validade das equações principais, que podem, agora, ser incluídas na planilha **Depuração 2**, para, aplicando o “Solver”, otimizar os valores das taxas de rejeito que satisfazem à pureza desejada com mínima perda, para os valores dados de seletividade. A coluna de fluxo impurezas é obtida copiando-se nela a coluna de fluxo total. Com as equações de cálculo de fluxo resolvidas, preenche-se a planilha de cálculo Excel **Depuração 2** para a configuração Vermelha.

Nas TABELAS 5.12 a 5.14 são apresentados os resultados ajustados pela operação do “Solver”, obtidos para os mesmos valores que, na configuração Verde, foram usados para a seletividade dos depuradores: $S=0,995$; $S=0,925$; e, $S=0,855$.

TABELA 5.12 Balanço de fluxos da configuração Vermelha para $S=0,995$

Número da linha	Descrição	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depurador	140,3	10,16	7,24%	E1=0,9911
3	Rejeito do primeiro depurador	50,3	10,07	20,00%	R1=0,3587
4	Material depurado	90,0	0,09	0,10%	
5	Alimentação do segundo depurador	53,0	10,08	19,03%	E2=0,9843
6	rejeito do segundo depurador	12,6	9,92	78,53%	R2=0,2386
7	depurado do segundo depurador	40,3	0,16	0,39%	
8	alimentação do terceiro depurador	12,6	9,92	78,53%	E3=0,9987
9	rejeito do sistema	10,0	9,91	99,00%	R3=0,7922
10	depurado do terceiro depurador	2,6	0,01	0,50%	E=0,9910

Ao limitar as concentrações de contaminantes a 99% no máximo (restrições nos parâmetros do “Solver”), o rejeito do sistema fica no valor limite para perda mínima, 0,1 t/d. Como existe uma concentração progressiva dos contaminantes no fluxo de rejeito, a perda mínima, com elevada seletividade, será possível, teoricamente, com 100% de concentração no rejeito do sistema.

TABELA 5.13 Balanço de fluxos da configuração Vermelha para S=0,925

Número da linha	Descrição Sistema Vermelho	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro dep.	6024,8	18,42	0,31%	E1=0,9992
3	rejeito do primeiro depurador	5964,6	18,41	0,31%	R1=0,9900
4	Material depurado	60,2	0,01	0,02%	
5	Alimentação do segundo dep.	90023,9	1602,15	1,78%	E2=0,9947
6	rejeito do segundo depurador	84099,1	1593,73	1,90%	R2=0,9342
7	depurado do segundo depurador	5924,8	8,42	0,14%	
8	alimentação do terceiro depurador	84099,1	1593,73	1,90%	E3=0,0063
9	rejeito do sistema	39,8	9,99	25,12%	R3=0,0005
10	depurado do terceiro depurador	84059,3	1583,74	1,88%	E=0,9986

A condição limitante de, no máximo, 99% para as taxas de rejeito foi a condição limite para mínima perda, 29,8 t/d. Novamente, a falta de restrição de fluxo, resultou em solução inviável economicamente, por fluxos exagerados. A forma mais fácil de limitar o fluxo, é reduzindo os valores máximos das taxas de rejeito.

TABELA 5.14 Balanço de fluxos da configuração Vermelha para S=0,855

Número da linha	Descrição Sistema Vermelho	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro dep.	6024,8	41,23	0,68%	E1=0,9985
3	rejeito do primeiro depurador	5964,6	41,17	0,69%	R1=0,9900
4	Material depurado	60,2	0,06	0,10%	
5	Alimentação do segundo dep.	90023,9	3088,86	3,43%	E2=0,9899
6	rejeito do segundo depurador	84099,1	3057,63	3,64%	R2=0,9342
7	depurado do segundo depurador	5924,8	31,23	0,53%	
8	alimentação do terceiro depurador	84099,1	3057,63	3,64%	E3=0,0033
9	rejeito do sistema	39,8	9,94	25,00%	R3=0,0005
10	depurado do terceiro depurador	84059,3	3047,69	3,63%	E=0,9940

Foi necessário limitar a taxa de rejeito a 99%, porque do contrário, todo o material sairia como rejeito. Como na configuração Verde, os valores otimizados pelo “Solver”, sem restrição de fluxos, são inviáveis economicamente devido aos fluxos altíssimos (900 vezes a alimentação).

5.6.2.3 Configuração Azul

As equações para o cálculo do balanço de material são, agora, resolvidas, para permitir a aplicação do “Solver”. Para a dedução das equações de fluxo correspondentes à configuração azul, é necessário visualizar as linhas de fluxo na Figura 5.3.

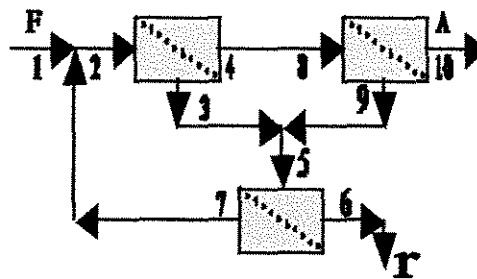


Figura 5.3 Sistema de Depuração para Configuração Azul

A linha 1, de fluxo total, T_1 , é, simplesmente, o fluxo de material a depurar, ou F , dado na equação 5.90.

$$T_1 = F \quad (5.90)$$

O fluxo total pela linha 2 é a soma do fluxo T_1 com o fluxo T_7 , equação 5.91.

$$T_2 = F + T_7 \quad (5.91)$$

Em que T_2 [t/d] e T_7 [t/d] são os fluxos totais pelas linhas 2 e 7, respectivamente.

O rejeito do primeiro depurador é T_3 , correspondendo, por definição, ao produto da taxa de rejeito do depurador, pela sua alimentação, como mostrado na equação 5.92.

$$T_3 = (F + T_7) R_1 \quad (5.92)$$

O fluxo de material depurado pelo primeiro depurador é T_4 , correspondente à diferença de fluxos de alimentação e rejeito, dados nas equações 5.91 e 5.92, com resultado ordenado na equação 5.93. A alimentação do terceiro depurador, T_8 , é a massa aceita pelo primeiro depurador, também inclusa na equação 5.93.

$$T_4 = T_2 - T_3 = (F + T_7) (1 - R_1) = T_8 \quad (5.93)$$

O rejeito do terceiro depurador, T_9 , por definição da taxa de rejeito, é o produto da taxa de rejeito pela alimentação, T_8 , como se pode ver na equação 5.94.

$$T_9 = (F + T_7) (1 - R_1) R_3 \quad (5.94)$$

A alimentação do segundo depurador, T_5 , é a soma de T_3 com T_9 , dados como soma das equações 5.92 e 5.94 na equação 5.95.

$$T_5 = T_3 + T_9 = (F + T_7) R_1 + (F + T_7)(1 - R_1) R_3 = (F + T_7)(R_1 + (1 - R_1) R_3) \quad (5.95)$$

Por definição de taxa de rejeito, o rejeito do segundo depurador, T_6 , é o produto da taxa de rejeito do depurador, pela sua alimentação, como mostrado na equação 5.96, corresponde ao rejeito r do sistema.

$$T_6 = T_5 R_2 = (F + T_7)(R_1 + (1 - R_1) R_3) R_2 = R \quad (5.96)$$

O fluxo de material depurado pelo segundo depurador, é T_7 , correspondente à diferença de fluxos de alimentação e rejeito, dados nas equações 5.95 e 5.96, com resultado ordenado na equação 5.97.

$$T_7 = T_5 - T_6 = (F + T_7)(R_1 + (1-R_1)R_3)(1-R_2) \quad (5.97)$$

A partir de 5.97, encontra-se o valor de T_7 em função de F e as taxas de rejeito, como se pode ver na equação 5.98.

$$T_7 = \frac{F(R_1 + (1-R_1)R_3)(1-R_2)}{(1 - (R_1 + (1-R_1)R_3)(1-R_2))} \quad (5.98)$$

O rejeito do sistema, $R = T_6$, se obtém aplicando a relação entre fluxo de rejeito e fluxo depurado num depurador, como na equação 5.87, se chega a partir da equação 5.98 à equação 5.99.

$$T_6 = \frac{F(R_1 + (1-R_1)R_3)R_2}{(1 - (R_1 + (1-R_1)R_3)(1-R_2))} \quad (5.99)$$

Para o cálculo da massa depurada pelo sistema, A , equivalente a T_{10} , no terceiro depurador, se substitui 5.98 em 5.93, obtendo, também o valor de T_8 na equação 5.100.

$$T_4 = \frac{F(1-R_1)}{(1 - (R_1 + (1-R_1)R_3)(1-R_2))} = T_8 \quad (5.100)$$

E da equação 5.100, se encontra T_{10} , que é a massa depurada, A , do sistema, em função de F e as taxas de rejeito, como mostrado na equação 5.101, pois o fluxo de massa depurada é igual ao fluxo na alimentação multiplicada por 1 menos a taxa de rejeito.

$$T_{10} = \frac{F(1-R_1)(1-R_3)}{(1 - (R_1 + (1-R_1)R_3)(1-R_2))} = A \quad (5.101)$$

Da equação 5.87 (pág.152), que expressa a fluxo de material depurado em função do fluxo de rejeito, obtém-se a equação recíproca, que expressa o fluxo de material rejeitado em função do material depurado, como mostrado na equação 5.102 para T_3 a partir de 5.100 e 5.103 para T_9 a partir de 5.101.

$$T_3 = \frac{FR_1}{(1 - (R_1 + (1 - R_1)R_3)(1 - R_2))} \quad (5.102)$$

$$T_9 = \frac{F(1 - R_1)R_3}{(1 - (R_1 + (1 - R_1)R_3)(1 - R_2))} \quad (5.103)$$

Substituindo as equações 5.102 e 5.103 em 5.95, resulta a equação 5.104 para T_5 .

$$\begin{aligned} T_5 = T_3 + T_9 &= \frac{F(R_1 + (1 - R_1)R_3)R_1 + F(R_1 + (1 - R_1)R_3)(1 - R_1)(1 - R_3)}{(1 - (R_1 + (1 - R_1)R_3)(1 - R_2))} = \\ &= \frac{F(R_1 + (1 - R_1)R_3)}{(1 - (R_1 + (1 - R_1)R_3)(1 - R_2))} \end{aligned} \quad (5.104)$$

Para conferir, deve-se verificar que a massa a depurar, F , corresponde à soma da massa depurada, T_{10} , mais o rejeito, T_6 , do sistema, ou, que da soma das equações 5.101 e 5.99 resulta a equação 5.105, que deve ser igual a F .

$$\begin{aligned} F = R + A = T_6 + T_{10} &= \frac{F(R_1 + (1 - R_1)R_3)R_2 + F(1 - R_1)(1 - R_3)}{(1 - (R_1 + (1 - R_1)R_3)(1 - R_2))} = \\ &= \frac{F(R_1R_2 + R_2R_3 - R_1R_2R_3 + 1 - R_1 - R_3 + R_1R_3)}{(1 - (R_1 + (1 - R_1)R_3)(1 - R_2))} = \\ &= \frac{F(1 - R_1 + R_1R_2 - R_3 + R_1R_3 + R_2R_3 - R_1R_2R_3)}{1 - R_1 + R_1R_2 - R_3 + R_1R_3 + R_2R_3 - R_1R_2R_3} = F \end{aligned} \quad (5.105)$$

Com o que está conferida a validade das equações principais, que podem, agora, ser incluídas na planilha **Depuração 2**, para, aplicando-se o “Solver”, otimizar os valores das taxas de rejeito que satisfazem à pureza desejada com mínima perda, para os valores dados de seletividade. A coluna de fluxo impurezas é obtida copiando-se nela a coluna de fluxo total. O

Excel atualiza automaticamente os endereços, que de acordo com a estrutura dos dados, isto permite economia de trabalho e tempo na elaboração do programa. Nas TABELAS 5.15 a 5.17 são apresentados os resultados “otimizados” pela aplicação do “Solver”, obtidos para os mesmos valores de seletividade dos depuradores: $S=0,995$; $S=0,925$ e $S=0,855$, usados nas configurações Verde e Vermelha.

TABELA 5.15 Balanço de fluxos da configuração Azul para $S=0,995$

Número da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depurador	102,5	10,0	9,77%	E1= 0,9545
3	Rejeito do primeiro depurador	9,7	9,6	98,10%	R1= 0,0950
4	Depurado do primeiro depurador	92,8	0,5	0,49%	
5	Alimentação do segundo depurador	12,5	9,9	79,50%	E2= 0,9988
6	Rejeito do sistema	10,0	9,9	99,20%	R2= 0,8000
7	Depurado do segundo depurador	2,5	0,0	0,00%	
8	Alimentação do terceiro depurador	92,8	0,5	0,49%	E3= 0,8608
9	Rejeito do terceiro depurador	2,8	0,4	14,10%	R3= 0,0300
10	Material depurado pelo sistema	90,0	0,1	0,07%	E= 0,9937

Na TABELA 5.15, observa-se que foram satisfeitas todas as restrições e a perda foi de 0,1 t/d (linha de fluxos número 6, rejeito do sistema: $10 \text{ t/d} - 9,9 \text{ t/d} = 0,1 \text{ t/d}$). Na TABELA 5.16, a condição de concentração de contaminantes menor que 0,1% para o material depurado foi satisfeita, em excesso, pelo “Solver”, no ajuste das taxas de rejeito, para mínima perda, 45,01 t/d.

Novamente, a falta de restrição de fluxo, resultou em solução inviável economicamente. Estabelecendo-se a condição de que a concentração depurada seja igual a 0,1%, a operação do “Solver” não encontrou solução viável (TABELA 5.17), pois os fluxos pelas linhas, aumentaram exageradamente.

Limitando o fluxo de alimentação dos depuradores a 200 t/d, também, não resultou em uma solução automática.

TABELA 5.16 Balanço de fluxos da configuração Azul para S=0,925

Número da linha	Descrição	Total t/d	Contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito	
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%		
2	Alimentação primeiro depurador	1124,1	23,9	2,13%	E1=	0,9816
3	Rejeito do primeiro depurador	899,3	23,5	2,60%	R1=	0,8000
4	Depurado do primeiro depurador	224,8	0,4	0,20%		
5	Alimentação segundo depurador	1079,1	23,9	2,20%	E2=	0,4174
6	Rejeito do sistema	55,0	10,0	18,16%	R2=	0,0510
7	Depurado do segundo depurador	1024,1	13,9	1,00%		
8	Alimentação do terceiro depurador	224,8	0,4	0,20%	E3=	0,9816
9	Rejeito do terceiro depurador	179,9	0,4	0,20%	R3=	0,8000
10	Material depurado pelo sistema	45,0	0,0	0,02%	E=	0,9992

Comparando, na Planilha *Depuração1* para configuração Azul e S=0,925 (Anexo D2, TABELA D8, pág.328), foi encontrada uma perda de 10,1 t/d para taxas de rejeito de 50%; 7,6% e 54% que satisfazem à pureza desejada. Os fluxos também são viáveis economicamente. Este resultado é importante, porque permite ver que a aplicação do “Solver” realmente não otimiza a solução. Para outros valores de taxas de rejeito a aplicação do “Solver” resulta nos valores apresentados nas TABELAS 5.17 e 5.18.

TABELA 5.17 Balanço de fluxos da configuração Azul para S=0,925, ajuste 2

Número Da linha	Descrição	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito	
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%		
2	Alimentação do primeiro depurador	590378	27552,4	4,67%	E1=	0,9984
3	Rejeito do primeiro depurador	583989	27508,8	4,70%	R1=	0,9892
4	Depurado do primeiro depurador	6388,9	43,6	0,68%		
5	Alimentação do segundo depurador	590309	27552,4	4,70%	E2=	0,0004
6	Rejeito do sistema	30,9	9,9	32,18%	R2=	0,0001
7	Depurado do segundo depurador	590278	27542,4	5,00%		
8	Alimentação do terceiro depurador	6388,9	43,6	0,68%	E3=	0,9984
9	Rejeito do terceiro depurador	6319,8	43,6	0,70%	R3=	0,9892
10	Material depurado pelo sistema	69,1	0,1	0,10%	E=	0,9931

Nas condições aplicadas (TABELA 5.17), obteve-se valores totalmente inviáveis. Por que o “Solver” não otimiza? Evidentemente, o “Solver” está otimizando para um mínimo, com coordenadas perto das taxas de rejeito dadas.

TABELA 5.18 Balanço de fluxos da configuração Azul para S=0,925 ajuste 3

Número Da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depurador	2028	153,1	7,55%	E1= 0,9791
3	Rejeito do primeiro depurador	1578	149,9	9,5%	R1= 0,7782
4	Depurado do primeiro depurador	449,8	3,2	0,71%	
5	Alimentação do segundo depurador	1938	153,1	7,9%	E2= 0,0649
6	Rejeito do sistema	10,0	9,9	99,0%	R2= 0,0052
7	Depurado do segundo depurador	1928	143,1	7%	
8	Alimentação do terceiro depurador	449,8	3,2	0,71%	E3= 0,9816
9	Rejeito do terceiro depurador	359,8	3,1	0,9%	R3= 0,8000
10	Material depurado pelo sistema	90,0	0,059	0,07%	E= 0,9941

A solução depende do valor inicial das taxas de rejeito. Com taxas de rejeito de 50%; 7,6% e 54% que satisfazem à pureza desejada, como valor inicial, com o “Solver” chega-se aos valores da TABELA 5.18, com perda de 0,1 t/d, mas fluxos, ainda, exagerados. Finalmente, o balanço para a Seletividade S=0,855, apresenta os resultados mostrados na TABELA 5.19.

TABELA 5.19 Balanço de fluxos da configuração Azul para S=0,855

Número da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,0	10,00	
2	Alimentação do primeiro depurador	354432	10234,9	2,89	E1=1,0000
3	Rejeito do primeiro depurador	354323	10234,4	2,90	R1=0,9997
4	Depurado do primeiro depurador	108,7	0,5	0,42	
5	Alimentação do segundo depurador	354382	10234,8	2,90	E2=0,0010
6	Rejeito do sistema	50,0	9,9	19,90	R2=0,0001
7	Depurado do segundo depurador	354332	10224,9	3,00	
8	Alimentação do terceiro depurador	108,7	0,5	0,42	E3=0,8901
9	Rejeito do terceiro depurador	58,7	0,4	0,70	R3=0,5400
10	Material depurado pelo sistema	50,0	0,05	0,10	E=0,9950

Para os mesmos dados anteriores, a partir de outros valores de taxas de rejeito para otimizar, obtém-se os valores apresentados na TABELA 5.20, que confirmam que existem outros mínimos ou bem, que o “Solver” realmente não otimiza o mínimo (Vide opções do “Solver” no Anexo A).

TABELA 5.20 Balanço de fluxos da configuração Azul para S=0,855 ajuste 2

Número da linha	Descrição	Fluxo Total t/d	Fluxo Contam. t/d	Conc. Contam. %	Eficiências e Taxas de Rej.
1	Sistema Azul				
	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00	
2	Alimentação do primeiro depurador	347571	14403,9	4,14	E1= 0,9750
3	Rejeito do primeiro depurador	295280	14043,3	4,80	R1= 0,8496
4	Depurado do primeiro depurador	52291,2	360,6	0,69	
5	Alimentação do segundo depurador	347506	14403,8	4,10	E2= 0,0007
6	Rejeito do sistema	34,8	9,9	28,60	R2= 0,0001
7	Depurado do segundo depurador	347471	14393,9	4,00	
8	Alimentação do terceiro depurador	52291,2	360,6	0,69	E3= 0,9998
9	Rejeito do terceiro depurador	52226,0	360,5	0,70	R3= 0,9988
10	Material depurado pelo sistema	65,2	0,065	0,10	E= 0,9935

Como conclusão, o modelo da *Planilha 2* não proporciona muita facilidade de uso para a configuração Azul, pois os valores devem ser ajustados manualmente, como na *Planilha Depuração 1*, devido a que os valores otimizados pelo “Solver” resultam inviáveis para $S < 0,995$. Realmente, a solução do “Solver” depende dos valores iniciais de taxas de rejeitos. A partir de uma solução viável, o “Solver” a melhora, encontrando menor perda.

O resumo comparativo para as configurações Verde, Vermelha e Azul dos valores calculados para cada seletividade, com taxas de rejeito ajustadas pelo “Solver”, é apresentado na TABELA 5.21.

Na TABELA 5.21 (comparar com TABELAS D5 e D6 da planilha *Depuração 1* pág.324) apresenta-se, como resultados, para os valores de taxas de rejeito ajustados somente os valores de perda, concentração residual de contaminantes no material depurado e eficiência do sistema. Os valores de fluxos por linha, que não aparecem, podem ser muito altos, inviabilizando economicamente a solução matemática. As planilhas *Depuração* e *Depuração 1* foram

substituídas, mas o cálculo de fluxos se pode refazer na planilha *Depuração 2*, pois os resultados são independentes, usando o cálculo iterativo ou direto. Vide Apêndice D (pág.295).

TABELA 5.21 Resumo comparativo para configurações Verde, Vermelha e Azul.

Configurações	S= 0,995			S= 0,925			S= 0,855		
Dados ajustados	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Verde	16,8%	0,5%	50,0%	0,0%	99,8%	34,7%	0,1%	47,3%	99,8%
Vermelha	35,9%	23,9%	79,2%	93,3%	28,0%	4,0%	99,0%	93,4%	0,0%
Azul	9,5%	80,0%	3,0%	77,8%	0,5%	54,0%	85,0%	0,0%	99,9%
Resultados	Perda	Cd	Eficiênc.	Perda	Cd	Eficiênc.	Perda	Cd	Eficiênc.
Verde	6,992	0,001%	0,99988	0,642	0,100%	0,99105	20,402	0,100%	0,9930
Vermelha	0,100	0,100%	0,99100	29,766	0,023%	0,99861	29,812	0,100%	0,99397
Azul	0,080	0,07%	0,99366	0,100	0,066%	0,99410	24,840	0,100%	0,99347

Considerando os fluxos, somente para Seletividade elevada ($S=0,995$), os resultados apresentados são viáveis economicamente para as três configurações estudadas, o que significa que, a menos que se disponha de depuradores altamente seletivos, para elevado nível de contaminantes, a depuração não será viável economicamente, se elevada pureza for requerida.

Na fabricação de papel, por exemplo, somente a adequada combinação de depuradores de alta seletividade permite satisfazer à qualidade de alguns tipos de papéis. Também, na Indústria, alguns depuradores são usados como classificadores do material, para diferentes usos, segundo suas propriedades. Por exemplo, peneiras usadas com alta taxa de rejeito são chamadas classificadores. Permitem separar a massa de aparas de papel (OCC) em duas frações. A fração de fibra longa, que sai no “rejeito” e a fração de fibra curta, que sai na “depurada”. A fração de fibra longa é usada na fabricação das capas e a curta na fabricação do miolo, na fabricação de cartão corrugado para caixas.

No caso específico de RSU, é necessário satisfazer, simultaneamente, aos requerimentos técnicos, econômicos, sociais e ambientais. O modelo pode ter ampliadas suas capacidades, para incluir estes aspectos, em forma mais ampla, em outros trabalhos.

Um ponto interessante a ser estudado é encontrar a forma de, mediante restrições adequadas, obter soluções práticas com a aplicação do “Solver”. Por exemplo, limitando os valores a serem ajustados em até 80% nas taxas de rejeito, para $S=0,855$, consegue-se uma solução mais aceitável economicamente, como ilustrado na TABELA 5.22.

TABELA 5.22 Balanço do Sistema Azul para $S=0,855$ limitando R_i a 80%

Número Da linha	Descrição Sistema Azul	Fluxo Total t/d	Fluxo Contam. t/d	Concentr. Contam. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depurador	1114	36,4	3,27%	$E1 = 0,9650$
3	Rejeito do primeiro depurador	891	35,1	3,9%	$R1 = 0,8000$
4	Depurado do primeiro depurador	222,8	1,3	0,57%	
5	Alimentação do segundo depurador	1069	36,4	3,4%	$E2 = 0,2739$
6	Rejeito do sistema	55,4	10,0	18,0%	$R2 = 0,0519$
7	Depurado do segundo depurador	1014	26,4	3%	
8	Alimentação do terceiro depurador	222,8	1,3	0,57%	$E3 = 0,9650$
9	Rejeito do terceiro depurador	178,2	1,2	0,7%	$R3 = 0,8000$
10	Material depurado pelo sistema	44,6	0,045	0,10%	$E_T = 0,9955$

Comparando com a TABELA 5.20, a perda aumentou de 24,8 t/d para 45,4 t/d mas, os fluxos de alimentação para os depuradores são reduzidos substancialmente.

Aplicando-se o “Solver”, obtém-se um resultado levemente diferente do anterior para elevada seletividade ($S= 0,995$). Somente como referência, as TABELAS 5.23 e 5.24 permitem a comparação dos valores obtidos, que confirma uma vez mais, que o “Solver” não otimiza para uma única solução, superior às demais (ótima), e que, no caso da configuração Azul, a superfície de resposta aparentemente apresenta múltiplos mínimos.

Outra explicação pode ser simplesmente que, satisfeitas todas as restrições, o “Solver” não continua otimizando. Fisicamente, os resultados estão suficientemente próximos para serem considerados o mesmo, como se pode ver comparando a TABELA 5.15 com 5.23 e 5.24.

TABELA 5.15 Balanço de fluxos da configuração Azul para S=0,995 (pág.159)

Número da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	Contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depur.	102,5	10,0	9,77%	E1=0,9545
3	Rejeito do primeiro depurador	9,7	9,6	98,1%	0 R1=,0950
4	Depurado do primeiro depurador	92,8	0,5	0,49%	
5	Alimentação do segundo depur.	12,5	9,9	79,5%	E2=0,9988
6	Rejeito do sistema	10,0	9,9	99,20%	R2=0,8000
7	Depurado do segundo depurador	2,5	0,0	0%	
8	Alimentação do terceiro depur.	92,8	0,5	0,49%	E3=0,8608
9	Rejeito do sistema	2,8	0,4	14,1%	R3=0,0300
10	Material depurado pelo sistema	90,0	0,1	0,07%	E=0,9937

TABELA 5.23 Balanço de fluxos da configuração Azul para S=0,995 ajuste 1

Número da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depurador	102,9	10,0	9,74%	E1=0,9614
3	rejeito do primeiro depurador	11,4	9,6	84,59%	R1=0,1106
4	depurado do primeiro Depurador	91,5	0,4	0,42%	
5	Alimentação do segundo depurador	12,9	9,9	77,14%	E2=0,9986
6	rejeito do sistema	10,0	9,9	99,00%	R2=0,7781
7	depurado do segundo depurador	2,9	0,0	0,49%	
8	Alimentação do terceiro depurador	91,5	0,4	0,42%	E3=0,7674
9	rejeito do terceiro depurador	1,5	0,3	20,00%	R3=0,0162
10	material depurado	90,0	0,1	0,10%	E=0,9910

TABELA 5.24 Balanço de fluxos da configuração Azul para S=0,995 ajuste 2

Número da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depurador	102,5	10,0	9,77%	E1=0,9600
3	rejeito do primeiro depurador	11,0	9,6	87,45%	R1=0,1072
4	depurado do primeiro Depurador	91,5	0,4	0,44%	
5	Alimentação do segundo depurador	12,5	9,9	79,11%	E2=0,9987
6	rejeito do sistema	10,0	9,9	99,00%	R2=0,7981
7	depurado do segundo depurador	2,5	0,0	0,50%	
8	Alimentação do terceiro depurador	91,5	0,4	0,44%	E3=0,7752
9	rejeito do terceiro depurador	1,6	0,3	20,00%	R3=0,0169
10	material depurado	90,0	0,1	0,10%	E=0,9910

As três TABELAS (5.15, 5.23 e 5.24) foram otimizadas pelo “Solver” para os mesmos dados, inclusive as taxas de rejeito ajustadas manualmente para obter uma solução na Planilha *Depuração 1*, que foi copiada para a planilha *Depuração 2*. Depois, foi experimentado o que acontece se os valores das taxas iniciais de rejeito não são uma solução. A TABELA 5.25 contém os resultados a partir de valores de taxas de rejeito iniciais iguais a 1%, antes do ajuste, e a TABELA 5.26 contém o resultado do ajuste pelo “Solver”.

TABELA 5.25 Balanço de fluxos da configuração Azul para S=0,995 antes do ajuste

Número da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	Contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depurador	102,0	14,2	13,90%	E1=0,6689
3	rejeito do primeiro depurador	1,0	9,5	929,84%	R1=0,0100
4	depurado do primeiro Depurador	101,0	4,7	4,65%	
5	Alimentação do segundo depurador	2,0	12,6	621,97%	E2=0,6689
6	rejeito do sistema	0,0	8,4	41603,10%	R2=0,0100
7	depurado do segundo depurador	2,0	4,2	208,02%	
8	alimentação do terceiro depurador	101,0	4,7	4,65%	E3=0,6689
9	rejeito do terceiro depurador	1,0	3,1	310,98%	R3=0,0100
10	material depurado	100,0	1,6	1,55%	E=0,8445

Para os valores iniciais de taxas de rejeito de 1%, está-se longe de satisfazer aos requisitos do problema e apresenta valores de concentração irreais, mas foram introduzidos para experimentar a capacidade do “Solver” de resolver o problema. A Tabela 5.26 contém os valores obtidos após aplicar o “Solver”, que agora são completamente distantes das outras soluções.

TABELA 5.26 Balanço de fluxos da configuração Azul para S=0,995 ajuste 3

Número da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	Contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depurador	110,3	10,1	9,11%	E1=0,9517
3	rejeito do primeiro depurador	9,9	9,6	96,64%	R1=0,0898
4	depurado do primeiro Depurador	100,4	0,5	0,48%	
5	Alimentação do segundo depurador	20,4	10,0	49,28%	E2=0,9949
6	rejeito do sistema	10,1	10,0	99,00%	R2=0,4952
7	depurado do segundo depurador	10,3	0,1	0,50%	
8	alimentação do terceiro depurador	100,4	0,5	0,48%	E3=0,9588
9	rejeito do terceiro depurador	10,5	0,5	4,45%	R3=0,1042
10	material depurado	89,9	0,0	0,02%	E=0,9980

Os valores obtidos das taxas de rejeito ajustadas pelo “Solver”, para obter a solução que satisfaz a todas as restrições e condições impostas, são completamente diferentes dos valores anteriores, demonstrando que é possível obter, para um rejeito levemente superior, elevada pureza para depurador de alta seletividade e, muito importante, que as soluções do “Solver” são **ajustadas perto da região onde foram entrados os valores iniciais**, mas não examina todas as possibilidades, chegando a dizer que não foi encontrada solução válida, mesmo que ela exista. **As soluções não são realmente otimizadas**, mas progressivamente se pode chegar ao ótimo fazendo uso das opções. Quando o “Solver” não encontra solução viável, abrindo a Caixa de Opções do “Solver”, podem ser escolhidos outros caminhos para achar a solução. Opções do “Solver”: Tempo máximo =100 segundos; Iterações =100; Precisão =0,000001; Tolerância =5%; Convergência =0,0001; Estimativas = Tangente; Derivadas = Adiante; Pesquisar = Newton (Vide Anexo A - Opções do “Solver” para significado). Resultados apresentados na TABELA 5.27 Usando as outras opções, se chega ao mesmo resultado com S=0,995. Falta experimentar o que acontece com seletividade menor.

TABELA 5.27 S=0,995 após ajuste do “Solver”. Valores comparáveis aos da TAB. 5.26.

Número da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depurador	110,3	10,1	9,11%	E1=0,9517
3	rejeito do primeiro depurador	9,9	9,6	96,64%	R1=0,0898
4	depurado do primeiro Depurador	100,4	0,5	0,48%	
5	Alimentação do segundo depurador	20,4	10,0	49,28%	E2=0,9949
6	rejeito do sistema	10,1	10,0	99,0%	R2=0,4952
7	depurado do segundo depurador	10,3	0,1	0,50%	
8	alimentação do terceiro depurador	100,4	0,5	0,48%	E3=0,9588
9	rejeito do terceiro depurador	10,5	0,5	4,45%	R3=0,1042
10	Material depurado	89,9	0,0	0,02%	E=0,9980

Na TABELA 5.28, para seletividade S=0,925, contém os valores obtidos com taxas de rejeito de 1% (valores iniciais) e a TABELA 5.29 após ajuste do “Solver”, que não conseguiu otimizar. Manualmente foi encontrada a solução exibida na TABELA 5.30. Após a solução manual, foi tentado mais uma vez o “Solver”, com resultados otimizados na TABELA 5.31.

TABELA 5.28 S= 0,925 antes do ajuste

Número da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depurador	102,0	12,5	12,20%	E1=0,1187
3	rejeito do primeiro depurador	1,0	1,5	144,86%	R1=0,0100
4	depurado do primeiro Depurador	101,0	11,0	10,86%	
5	Alimentação do segundo depurador	2,0	2,8	136,95%	E2=0,1187
6	rejeito do sistema	0,0	0,3	1625,5%	R2=0,0100
7	depurado do segundo depurador	2,0	2,5	121,92%	
8	alimentação do terceiro depurador	101,0	11,0	10,86%	E3=0,1187
9	rejeito do terceiro depurador	1,0	1,3	128,96%	R3=0,0100
10	material depurado	100,0	9,7	9,67%	E=0,0330

TABELA 5.29 S= 0,925 após o ajuste. “Solver” não consegue ajuste

Número da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depurador	131,6	10,5	7,96%	E1=0,9524
3	rejeito do primeiro depurador	78,9	10,0	12,64%	R1=0,6000
4	depurado do primeiro Depurador	52,6	0,5	0,95%	
5	Alimentação do segundo depurador	78,9	10,0	12,64%	E2=0,9524
6	rejeito do sistema	47,4	9,5	20,1%	R2=0,6000
7	depurado do segundo depurador	31,6	0,5	1,50%	
8	alimentação do terceiro depurador	52,6	0,5	0,95%	E3=0,0000
9	rejeito do terceiro depurador	0,0	0,0	0,00%	R3=0,0000
10	material depurado	52,6	0,5	0,95%	E=0,9501

TABELA 5.30 S= 0,925 após o ajuste manual.

Número da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depurador	150,4	10,5	6,98%	E1=0,9524
3	rejeito do primeiro depurador	90,3	10,0	11,08%	R1=0,6000
4	depurado do primeiro Depurador	60,2	0,5	0,83%	
5	Alimentação do segundo depurador	126,1	10,5	8,31%	E2=0,9524
6	rejeito do sistema	75,6	10,0	13,2%	R2=0,6000
7	depurado do segundo depurador	50,4	0,5	0,99%	
8	alimentação do terceiro depurador	60,2	0,5	0,83%	E3=0,9514
9	rejeito do terceiro depurador	35,8	0,5	1,33%	R3=0,5950
10	material depurado	24,4	0,0	0,10%	E=0,9976

Ao usar novamente o “Solver”, para a solução encontrada manualmente (como valor inicial para ajuste do “Solver”), as taxas foram ajustadas nos valores exibidos na TABELA 5.31 (coluna Eficiências e Taxas de Rejeitos). As opções usadas foram não linear, tempo de 30000 segundos (demorou menos de 1 minuto), até 1000 iterações, Estimativas = Quadrática, Derivadas = Central e Pesquisar = Conjugado.

TABELA 5.31 Soluções do “Solver” para $S=0,925$ a partir de solução manual

Número da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depurador	552,5	39,0	7,06%	E1=0,9524
3	rejeito do primeiro depurador	331,5	37,2	11,21%	R1=0,6000
4	depurado do primeiro Depurador	221,0	1,9	0,84%	
5	Alimentação do segundo depurador	464,1	38,9	8,39%	E2=0,2546
6	rejeito do sistema	11,6	9,9	85,5%	R2=0,0250
7	depurado do segundo depurador	452,5	29,0	6,41%	
8	alimentação do terceiro depurador	221,0	1,9	0,84%	E3=0,9524
9	rejeito do terceiro depurador	132,6	1,8	1,33%	R3=0,6000
10	material depurado	88,4	0,1	0,10%	E=0,9912

A perda foi muito menor, 1,7 t/d, comparada com 65,6 t/d da TABELA 5.30 mas, com fluxos muito maiores. Aplicando novamente 1% (inicial) às taxas de rejeito para $S=0,855$, obtêm-se os valores da TABELA 5.32.

TABELA 5.32 Valores do balanço de fluxos para $S=0,855$ e $R_1=R_2=R_3=1\%$.

Número da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depurador	102,0	11,3	11,11%	E1=0,0651
3	rejeito do primeiro depurador	1,0	0,7	72,37%	R1=0,0100
4	depurado do primeiro Depurador	101,0	10,6	10,49%	
5	Alimentação do segundo depurador	2,0	1,4	70,36%	E2=0,0651
6	rejeito do sistema	0,0	0,1	458,2%	R2=0,0100
7	depurado do segundo depurador	2,0	1,3	66,44%	
8	alimentação do terceiro depurador	101,0	10,6	10,49%	E3=0,0651
9	rejeito do terceiro depurador	1,0	0,7	68,34%	R3=0,0100
10	material depurado	100,0	9,9	9,91%	E=0,0093

Valores não otimizados. De fato, é impossível um valor de concentração de impurezas do sistema acima de 100%. Os valores otimizados manualmente estão na TABELA 5.33, pois o “Solver” não achou solução para Taxas de Rejeito menores que 60%.

TABELA 5.33 Valores de balanço de fluxos para $S=0,855$ ajustados manualmente.

Número da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depurador	1045,3	33,9	3,24%	E1=0,9650
3	rejeito do primeiro depurador	836,3	32,7	3,91%	R1=0,8000
4	depurado do primeiro Depurador	209,1	1,2	0,57%	
5	Alimentação do segundo depurador	1002,5	33,8	3,38%	E2=0,2942
6	rejeito do sistema	57,1	10,0	17,40%	R2=0,0570
7	depurado do segundo depurador	945,3	23,9	2,53%	
8	alimentação do terceiro depurador	209,1	1,2	0,57%	E3=0,9640
9	rejeito do terceiro depurador	166,2	1,1	0,69%	R3=0,7950
10	material depurado	42,9	0,04	0,10%	E=0,9957

O rejeito do sistema é 47,1 t/d mas os fluxos são altos.

A solução do “Solver”, usando como ponto de partida os valores do ajuste manual e taxa de rejeito limitada no máximo a 80%, está exibida na TABELA 5.34.

TABELA 5.34 Balanço de fluxos para $S=0,855$ após “Solver” com R_1, R_2 e $R_3 \leq 80\%$.

Número da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeito
1	Alimentação do sistema	100,0	10,00	10,00%	
2	Alimentação do primeiro depurador	1113,3	36,4	3,27%	E1=0,9650
3	rejeito do primeiro depurador	890,6	35,1	3,94%	R1=0,8000
4	depurado do primeiro Depurador	222,7	1,3	0,57%	
5	Alimentação do segundo depurador	1068,8	36,3	3,40%	E2=0,2741
6	rejeito do sistema	55,5	10,0	17,90%	R2=0,0519
7	depurado do segundo depurador	1013,3	26,4	2,60%	
8	alimentação do terceiro depurador	222,7	1,3	0,57%	E3=0,9650
9	rejeito do terceiro depurador	178,1	1,2	0,69%	R3=0,8000
10	material depurado	44,5	0,04	0,10%	E=0,9955

A solução do “Solver” é melhor que a encontrada manualmente, pois a perda agora é 45,5 t/d, mas somente foi possível após ajuste manual. De todas formas, a aplicação prática destes resultados será inviável economicamente, devido aos altos fluxos envolvidos, que requerem equipamentos ou muito grandes ou vários em paralelo, com elevado consumo de energia no equipamento e nas bombas.

Comentário: Na TABELA 5.26 - Balanço de fluxos da configuração Azul, para $S=0,995$, ajuste 3, foi experimentada a otimização pela aplicação do “Solver”, a partir de valores de taxas de rejeito não ajustadas, previamente, à mão. A solução encontrada foi de valores de taxas de rejeito bastante diferentes às encontradas a partir de valores previamente ajustados. A perda foi praticamente igual, mas o nível residual de contaminantes, no material depurado, foi significativamente menor.

Aplicando o mesmo procedimento para seletividade um pouco menor ($S= 0,925$), a aplicação do “Solver” não resultou em solução viável, indicando limitação importante da ferramenta “Solver” (se o valor inicial não for perto da solução, pode ter dificuldade para a encontrar).

Usando valores ajustados à mão na planilha Depuração 1 e limitando as taxas de rejeito a 60% no máximo, a aplicação do “Solver” resultou em uma solução, com muito menor perda (1,7 t/d em lugar de 10,4 t/d), mas os fluxos pelas linhas acima de 5 vezes o fluxo de alimentação, o que é uma desvantagem econômica. Mais cálculos foram experimentados (TABELAS 5.27 a 5.34), chegando à conclusão que o “Solver” melhora qualquer solução ajustada manualmente, mas não consegue, sozinho, para todos os casos (taxas de rejeito que não são solução), chegar a uma solução viável.

Também, pode-se concluir que, se o Usuário não tem adequada formação e experiência, não conseguirá utilizar adequadamente este recurso do Excel mas, o ajuste manual das taxas de rejeito está a seu alcance, ficando somente mais laborioso encontrar a solução.

5.7 Ferramenta poderosa para simulação do desempenho do sistema AAA

O modelo de simulação de desempenho do sistema AAA responde, simultaneamente, em quatro áreas:

1. estratégia integrada, presente e futura, enriquecida com armas competitivas para adequado desempenho técnico e comercial;
2. solução que responde às funções para as quais foi projetada: efetividade de desempenho; otimização da eficiência de separação de contaminantes, com baixa perda de material orgânico no rejeito; adequação às condições de alimentação de dados; e, eficácia do desempenho;
3. interesse em forma efetiva a clientes potenciais, ao permitir a visualização de seu funcionamento, a entender como funciona, a experimentar facilidade de uso e a confiabilidade dos resultados; e,
4. esgota as possibilidades de coleta de dados e conhecimentos prévios para a construção do modelo de simulação de desempenho de tratamento geral de RSU que venha a auxiliar no projeto de sistemas reais que funcionem bem à primeira e permitam validar completamente o modelo de simulação.

5.8 Benefícios do sistema integrado AAA

Os benefícios do sistema integrado AAA são apresentados como vantagens.

5.8.1 Vantagens esperadas do sistema AAA

As vantagens esperadas pela implantação progressiva do sistema AAA, em etapas, são as seguintes:

1. ao separar, tratar e dar destino final a 100% da fração orgânica do RSU, reduz carga para aterros em perto de 50% do volume;
2. como consequência, elimina produção de chorume e emissão de gases do aterro (matéria orgânica tratada em digestores);
3. elimina os impactos ambientais correspondentes (chorume e gases);
4. reduz custo de instalação e manejo do aterro;
5. elimina instabilidade do solo do aterro (sem material que decompõe);
6. aproveitamento agrícola do co-produto sólido (húmus), com pré e pós-tratamento para o compatibilizar com o uso;
7. possibilidade de obtenção de créditos de carbono;
8. melhora ambiental;
9. melhora sanitária;
10. redução de custo do tratamento, com eventual lucro;
11. produção de energia (biogás), que pode ser depurado, para compatibilizar uso com gás natural, se existir excedente no processo;
12. ao separar, tratar e dar destino final, em forma progressiva, até a 100% da fração inorgânica do RSU, aproveita recurso ocioso, renovável, crescente e poluente como matéria prima secundária;
13. reduz progressivamente o custo de manejo do aterro, à medida que novos materiais encontram aplicação na reciclagem da fração inorgânica;
14. prolonga a vida útil do aterro, reduzindo a carga para os aterros em forma crescente, à medida que novos materiais encontram aplicação na reciclagem da fração inorgânica;
15. vantagens sociais e econômicas decorrentes da incorporação à sociedade das pessoas que, atualmente, sobrevivem nos lixões;
16. redução de impactos ambientais da mineração de material virgem (ex. Alumínio);

17. facilita desenvolvimento econômico, incorporando novas oportunidades industriais e de trabalho;
18. geração de receita crescente, à medida que os produtos são, adequadamente, desenvolvidos e comercializados;
19. impactos econômicos e ambientais positivos, ao transformar um recurso ocioso, poluente, renovável, crescente e contaminante, numa fonte de faturamento, de criação de riqueza, sem poluir água, solo ou ar (vide 3.4.3 e 3.4.4 pág. 70 a 74);
20. impactos sociais positivos, criando novos postos diretos de trabalho permanente (só na triagem requer, para 20 t/d de RSU, de 80 a 114 catadores), resgatando social e economicamente (e outras formas, incluso psicológicas e espirituais), o contingente humano que sobrevive nos lixões;
21. impactos humanos positivos, proporcionando esperança e trabalho, treinamento para valorizar seu trabalho de catador, conferir-lhe dignidade, auto-estima e valor como ser humano e parte da sociedade (mecanização para seleção de materiais do RSU é muito mais cara e menos precisa);
22. na etapa final, ideal, se chegaria à eliminação da necessidade do aterro, com o aproveitamento praticamente total do RSU, sem gerar mais resíduo; e,
23. interessante oportunidade de ganho, aplicando criatividade e espírito comercial para aproveitamento total do RSU, adequadas às condições locais.

5.8.2 Vantagens esperadas para o projeto, pelo uso da simulação

As vantagens para o projeto, pelo uso da simulação, são:

- permite a abordagem eficaz, versátil e confiável para a resolução de problemas complexos;
- facilita obtenção de dados a partir de experiências de simulação confiáveis;
- facilita a otimização do desempenho desejado ao serem aplicadas simulações confiáveis com dados, também, confiáveis;
- facilita a otimização do sistema, sua configuração, dimensões e capacidades dos

componentes, experimentando diferentes materiais, métodos de operação e configurações no modelo (capacidades potenciais, ainda a serem desenvolvidas);

- reduz o custo do projeto, otimizando o “design” e fazendo necessária a construção de, somente, um protótipo, se necessário, para validar a simulação (se forem utilizadas suposições ou aproximações não validadas na simulação);
- reduz o tempo do projeto e a quantidade de desenhos construtivos, após a validação da simulação;
- permite a obtenção de estudos prontos para análise e seleção, praticamente, ao se acabar de introduzir os dados;
- permite a análise de situação “que..... se.....”;
- permite controle dos passos da execução do projeto, desde o planejamento e alocação de recursos até sua eventual desativação no final de sua vida (por implementar);
- reduz o risco do empreendimento (se forem usados dados confiáveis);
- facilita o financiamento do sistema, após demonstração da simulação, pela fácil compreensão do seu funcionamento e confiabilidade dos resultados;
- reduz o tempo do projeto, permitindo ir da fase conceito à de comercialização, em prazos muito curtos (mais curtos, ainda, que na engenharia simultânea);
- pesquisar rapidamente (para o aplicativo com essa capacidade incorporada) diferentes situações para definir as melhores opções a aplicar; antecipar estimativa de quanto custará, quantas pessoas empregará e quais serão os impactos esperados (negativos e positivos, nas áreas sociais, ambientais, econômicas, técnicas, legais, de segurança e de saúde pública);
- auxílio na tomada de decisões, considerando os diversos fatores a serem levados em consideração;
- base para licitações de projetos, proporcionando regras claras e dados bem definidos;
- base para avaliações de projetos, proporcionando toda a informação a ser levada em consideração para a escolha de projetos sustentáveis e de benefícios esperados explícitos, sem ocultar os perigos potenciais e precauções próprias de manejo de substâncias perigosas (cortantes, contagiantes, tóxicas, radioativas, explosivas e/ou inflamáveis);
- base para construção dos projetos selecionados com toda a informação técnica relevante a ser complementada com informação local, como leis de zoneamento, quantidade de RSU e outras;

- base para complementações da ferramenta de simulação com novas capacidades;
- base para estudos de reforma integrada a sistemas existentes;
- base para operação de sistemas construídos, segundo projetos selecionados, pois a operação será auxiliada conhecendo-se os valores esperados por linha, que poderão ser conferidos na instrumentação estrategicamente localizada; e,
- base para projeto e construção de equipamentos especiais com os dados obtidos e os requerimentos a serem satisfeitos, várias opções de equipamentos podem ser testadas por simulação para escolha da opção mais conveniente, assim como dos materiais e métodos de fabricação que darão melhores resultados, para a obtenção de equipamentos de curta vida (meses) mas, baratos, ou de meia vida (cinco anos), com partes substituíveis para custo médio ou mais caro, para vida longa (20 anos), sem problemas. Para os fabricantes, será mais conveniente a fabricação de modelos baratos (preço de custo dos materiais) inicialmente, para facilitar a obtenção de parâmetros construtivos relevantes e, depois, os de meia vida, assegurando um mercado permanente. Equipamentos para vida longa, somente, depois de superada a fase de rápidas mudanças na tecnologia de tratamento de resíduo sólido.

5.8.3 Vantagens esperadas da construção da ferramenta de simulação

As vantagens esperadas da construção da ferramenta de simulação são:

- ♦ obter uma poderosa ferramenta para simulação do desempenho do sistema AAA de tratamento de RSU;
- ♦ ferramenta de simulação de fácil uso, aplicação e compreensão;
- ♦ inovação na aplicação (utilização para desenvolvimento do sistema completo, desde o conceito, estrutura, componentes, configuração, otimização para condições locais, projeto dos componentes, controle e operação, orçamentos, licenças, previsão de custos, previsão de investimento, previsão de impacto social, previsão de impacto ambiental, previsão de impacto econômico e estratégico, etc.);

- ◆ introdução de novos recursos de depuração (projeto e desenvolvimento de sistemas de depuração, assim como de máquinas e equipamentos);
- ◆ auxílio da simulação para achar configuração ótima para obter o desempenho requerido;
- ◆ facilitar fiscalização ambiental do projeto (parâmetros relevantes);
- ◆ desenvolvimento de sistemas de tratamento mais adequados às condições locais (tipo de coleta, composição do RSU, configuração do sistema de tratamento, comercialização dos produtos, satisfação dos padrões de qualidade dos produtos e também ambientais, com toda a atividade visando ao lucro, motor de um empreendimento saudável financeiramente, com qualidade ambiental e bem-estar social); e,
- ◆ ferramenta prática, com capacidades facilmente ampliáveis, segundo aplicação.

5.9 Modelo de simulação

Os resultados da ferramenta de simulação somente podem ser apreciados através de sua aplicação, pelo que resulta difícil separar o que é a ferramenta de simulação e o que é o sistema que está sendo simulado. A comparação com outras ferramentas de simulação também permite apreciar pontos comuns e diferenças, mesmo no estágio atual de desenvolvimento.

A terminologia usada é a corrente, evitando-se o uso de termos muito especializados, para facilitar a compreensão do usuário. A definição de composto, usada no trabalho, corresponde ao conceito amplo dado por Lima (1985 e 1995), que não corresponde à definição dada pela ABNT na NBR 13591 (ABNT, 1996), aplicável somente ao resíduo sólido da compostagem aeróbia. Biossólido, também, não seria aplicável para não confundir com o lodo de ETE. Húmus, também, é discutível, mas foi usado, assim como **composto**, equivalente ao “compost” usado nos trabalhos em inglês e de uso generalizado, mesmo que as características de

ambos produtos (aeróbio e anaeróbio) sejam diferentes. Não existe muita informação disponível do uso agrícola do composto anaeróbio, mas se espera que seu desempenho seja similar ao do lodo anaeróbio, usado com sucesso, mas sem as restrições quanto à presença de microrganismos patogênicos, que não devem estar presentes no processo termofílico do sistema AAA.

No modelo de simulação de desempenho, organizam-se os dados e as informações disponíveis, acrescentando valor e criando o conhecimento necessário para atender às necessidades específicas ao transformar os problemas derivados da acumulação de RSU em vantagens econômicas, sociais, ambientais, sanitárias, etc.

Deve-se separar o que são as capacidades potenciais do modelo, do que são as capacidades efetivamente desenvolvidas.

As capacidades desenvolvidas são:

1. simular a conversão do RSU em produtos comerciais, expressando o RSU como concentração nos produtos potenciais. Mudando a composição, a concentração, a quantidade dos materiais aproveitados ou a forma de aproveitar o material, muda-se a receita, por um lado, e a quantidade destinada ao aterro e a pureza exigida ao material, por outro lado;
2. visualizar o impacto econômico e social do empreendimento, segundo fator de escala, determinada pela disponibilidade de RSU diário (inicial, pode ser expandido, se necessário);
3. simular desempenho da depuração, segundo seleção da configuração de equipamentos de depuração, para escolha da mais adequada, de modo a proporcionar máxima eficiência de depuração, com mínima perda de material útil; e,
4. otimizar as taxas de rejeito dos sistemas de depuração, para comparar efeito da configuração e dados usados.

As capacidades podem, facilmente, ser ampliadas em planilhas adicionais, por exemplo, para balanço de fluxos de material e energia do processo completo, que proporciona dados necessários para o dimensionamento e capacidades dos equipamentos requeridos, segundo dados de produção e qualidade, como a concentração de contaminantes no material depurado e outros.

Os dados utilizados na TABELA 5.4 (pág.123), estão muito compactos, podendo vir a serem ampliados, se necessário.

As TABELAS 5.5 (pág.124) a 5.7 (pág.126) não têm o mesmo formato, devido ao trabalho paralelo na planilha do modelo, ampliando-se progressivamente, capacidades. Com efeito, serve para ilustrar o desenvolvimento progressivo da ferramenta de simulação e sua facilidade para incorporar novas capacidades, aplicando a filosofia de iniciar simples e, a cada ciclo da Fig. 4.1 (pág.94), adicionar progressivamente novas capacidades. Este processo é sem fim, como mencionado no início do capítulo 5.

Na planilha *Depuração*, Apêndice D1, TABELA D1 - Balanço de Fluxos do Sistema de Depuração (pág. 301), na linha de fluxos 3 (rejeito do sistema) e coluna concentração, esta deveria ser 45%, conforme o dado, mas o valor que aparece (44,3%) é um pouco menor, devido a uma pequena parcela de contaminante que sai no aceito do sistema. Com rigor matemático, o cálculo deveria incluir o valor da eficiência de depuração do sistema, mas nesse caso, o cálculo iterativo divergiu, pois a eficiência do sistema, também, é calculada em forma iterativa, o que provoca fortes oscilações nos valores calculados, sem convergir.

Na planilha *Depuração 2*, sem iteração para o cálculo do balanço de fluxos em cada configuração do sistema de depuração, usa-se o recurso “Solver” para encontrar, mediante iteração automática, soluções que satisfaçam às restrições impostas para ajuste das taxas de rejeito. As soluções, se encontradas, dependem do ponto inicial. Se o ponto inicial é solução, o “Solver” o melhora. Mas, pode-se concluir que, se o Usuário não tem adequada formação e/ou experiência, não conseguirá utilizar adequadamente este recurso do Excel, sem adequado treinamento, e deverá limitar-se a introduzir manualmente as taxas de rejeito, com mais trabalho para chegar ao resultado (se existir), cuidando de respeitar as restrições (concentrações de contaminantes menores de 100%, valores positivos na planilha, perda mínima e pureza desejada).

Nas tabelas de resultados em que não aparecem fluxos, seria fácil iludir-se para definir a melhor configuração, mas sempre se deve observar os valores dos balanços de fluxos correspondentes, porque elevadas recirculações no sistema são possíveis devido a altas taxas de

rejeito, o que inviabiliza economicamente o sistema, pois fluxos elevados requerem grandes depuradores, bombas, tubulações, motores, com maiores gastos de instalação, energia e manutenção.

O modelo tem limitações incorporadas na entrada de dados numéricos e conta com proteção das outras células para evitar errar na introdução dos dados (proteção da planilha).

A comparação com outros modelos desenvolvidos na Suécia e USA é desejável, para incorporar capacidades adicionais necessárias para planejamento a nível federal. Cabe mencionar, como comentário das diferenças com o MIME/Waste e MWS de Suécia (Ljunggren, 2004), que esses modelos estão baseados em sistemas existentes, pelo que nos estudos de planejamento, não se admite a inclusão de novos sistemas de tratamento. Esta é uma limitação importante, pois a falha, ao não incluir todos os fatores envolvidos, leva a conclusões falsas (vide final do sub item 3.4 Relevância ambiental,... pág. 48). Outra diferença importante, é que na Suécia favorece-se à incineração porque se aproveita o calor de combustão para aquecimento, na região urbana circunvizinha.

No sistema AAA, o biogás pode ser usado para co-geração, se não existir demanda como gás veicular, de origem renovável (devolve à atmosfera o dióxido de carbono retirado pelas plantas, base alimentar dos seres vivos, produtores de matéria orgânica, encontrada no RSU).

Cabe mencionar que outro motivo para favorecer à incineração é o custo da mão de obra envolvida para a seleção de material, que torna esse método inviável economicamente em países desenvolvidos. No Brasil, tenta-se o caminho de formação de cooperativas, para evitar a carga na Folha de Pagamentos do Município. No modelo, ainda, não estão completas as planilhas de custo e análise econômica mas, em forma preliminar, pode-se antecipar que, para o faturamento esperado, nas etapas inicial e intermediária, dificilmente será sustentável economicamente para pagar a mão de obra (sequer para um salário mínimo). Por isso é importante completar o modelo (outros trabalhos).

Capacidades **potenciais** desejáveis ao modelo são:

- 1 incluir, no aplicativo em desenvolvimento, um procedimento padrão, que acelere a aprovação de toda a documentação requerida, ao colaborar com a Autoridade que outorga as Licenças, de modo que seja simplificado todo o processo de aprovação do projeto, se a simulação do desempenho da instalação, para os dados locais, demonstrar que os valores esperados satisfazem às normas ambientais vigentes e a escolha do local satisfaz à lei de zoneamento;
- 2 capacidades facilmente ampliáveis, se necessário;
- 3 possibilidade de incluir outros sistemas de tratamento de RSU, se necessário;
- 4 possibilidade de projeto de novos equipamentos para satisfazer a necessidades específicas;
- 5 possibilidade de inclusão do balanço de fluxos de material e energia do processo completo, que proporcionará dados necessários para o dimensionamento e capacidades dos equipamentos requeridos, para dados de qualidade e de concentração de contaminantes; e,
- 6 possibilidade de uso em treinamento dos operadores, simulando o funcionamento do sistema completo; possibilidade de uso da simulação para auxílio na tomada de decisões; etc.

5.9.1 Limitações do Modelo

A principal limitação, por enquanto, é que sua aplicação é limitada ao sistema AAA de tratamento de RSU. Como as capacidades são facilmente ampliáveis, esta limitação e outras, podem, facilmente (mas laboriosamente), vir a serem superadas.

Já mencionada, a limitação de uso do “Solver”, que requer mais elaboração, para facilitar a vida do usuário e fornecer informação útil e confiável. Para a depuração, por enquanto, foram utilizados dados hipotéticos da seletividade.

Outra limitação do modelo é o tempo que requer para se adicionar novas capacidades, pois deve-se testar cada nova capacidade adicionada, eliminando “bugs”. Ainda mais demorada, é a documentação do que foi feito, para quê e porquê.

5.9.2 Pontos fracos do modelo de simulação do desempenho

Os principais pontos fracos do modelo de simulação são:

- a) requer disponibilidade de dados confiáveis para resultados confiáveis. Esta característica, obviamente, é geral para todo modelo numérico;
- b) ainda falta muito por fazer, como incluir custos de mão de obra, de transporte, quantidades em demanda na região e regiões vizinhas, etc;
- c) induz à falsa sensação de precisão, porque os resultados podem ser expressos com grande quantidade de decimais. Mas, sem tratamento estatístico dos dados, não há forma de conhecer a precisão dos resultados;
- d) induz à falsa sensação de grandes ganhos, a partir do RSU. Os valores apresentados, se não estiverem respaldados por fluxo de consumo e preços estáveis, são somente potenciais;
- e) induz à falsa sensação de ganhos ambientais, econômicos e sociais. A realidade é bastante complexa e precisa tempo, treinamento, instalações adequadas, trabalho, cooperação, entusiasmo, etc. para se chegar aos valores apresentados;
- f) para ampliação de capacidades, requer boa dose de experiência e de cautela do programador, para que não forneça previsões fora da realidade;
- g) na aplicação do “Solver”, pode-se não encontrar solução viável. Nesse caso, reaplicar, após encontrar valores de solução manualmente (se existir); e,
- h) modelo em desenvolvimento. No estágio inicial, ainda, pode apresentar falhas não detectadas, que precisam dos ajustes correspondentes (validação).

5.9.3 Pontos fortes do modelo de simulação do desempenho

Os principais pontos fortes do modelo de simulação são:

- 1) facilidade de uso, mesmo durante implementação;
- 2) não requer treinamento prévio especial;
- 3) ampla disponibilidade de computadores com planilha Excel instalada, para uso universal do modelo, praticamente, em qualquer lugar;
- 4) fácil entrada de dados nos locais certos, marcados (amarelo) e com valores já existentes, que servem de guia e comparação;
- 5) planilhas protegidas, para evitar destruição de capacidades programadas por erro na entrada dos dados;
- 6) fácil adição de capacidades, adicionando novas planilhas integradas;
- 7) ampla disponibilidade de computadores e usuários capazes de utilizar o modelo, desenvolvido em forma aberta, documentada e fácil de ser usada;
- 8) modelo não compilado, permite visualização direta dos resultados à medida que se entra com os dados, exceto nos casos em que há iterações;
- 9) senso de aventura pela facilidade de testar soluções e encontrar novos resultados;
- 10) permite incluir novos sistemas, inclusive em projeto;
- 11) capacidade potencial de auxílio para desenvolvimento de novos sistemas e equipamentos;
- 12) visualizar diferentes cenários, praticamente, sem custo; etc.

5.9.4 Aplicações

O modelo de simulação do desempenho do sistema AAA de tratamento de resíduo sólido tem aplicação direta nos objetivos para o qual foi desenvolvido, isto é:

- permitir otimizar alternativas do sistema AAA;
- incluir o estudo, a seleção e a comparação de diferentes opções; e,
- estrutura do modelo em forma flexível, que permite ampliar sua aplicação para outros sistemas de tratamento de RSU, para comparação e análise de seu grau de sustentabilidade.

O último ponto é propriedade direta da planilha Excel, pois permite facilmente a adição de planilhas adicionais.

Em relação a aplicações para casos específicos, a simulação é de aplicação imediata a cada caso, após entrada dos dados solicitados. Com dados válidos, bem documentados, as predições do modelo poderão ser satisfeitas, na realidade, implementando-se o sistema AAA, já otimizado (pelo modelo de simulação) para as condições locais.

No estudo de caso, usando dados de Ribeirão Preto, os resultados obtidos poderiam ter sido incorporados com todos os aspectos relevantes mencionados pelos especialistas em seus trabalhos (TCHOBANOGLIOUS, THEISEN e ELIASSEN, 1977; CLARK, 1978; AISSE, OBLADEN e SANTOS, 1981; KIROV, 1971; USEPA, 1991; TCHOBANOGLIOUS, THEISEN e VIGIL, 1993; POLPRASERT, 1996; STESSEL, 1996; WATSON, 1999; VANDEVIVERE, DE BAERE e VERSTRAETE, 2003), mas ficou para próximos trabalhos.

Dentro da filosofia de desenvolvimento sustentável, deve-se incluir, nos projetos concretos e aplicados para uma região definida:

- ◆ questão ambiental;
- ◆ reflexão e planificação do processo total, desde sua concepção, formulação, projeto, discussão, aplicação da ação modificadora e suas conseqüências;
- ◆ desenvolvimento territorial sustentável;
- ◆ desenvolvimento urbano sustentável;
- ◆ gestão e contrato social;
- ◆ técnicas e instrumentos;
- ◆ impactos esperados no ambiente;

- ♦ avaliação do impacto e comportamento ambiental;
- ♦ comunicação, educação, participação, responsabilidade ambiental;
- ♦ legislação ambiental;
- ♦ avaliação sócio-econômica-ambiental para determinar se os projetos são factíveis e sustentáveis; e,
- ♦ alcances e projeções futuras.

Vide APÊNDICE A5, na planilha ***Report***, os resultados de estudo de caso, para Ribeirão Preto (pág. 245 e 246).

6 CONCLUSÕES

As conclusões são:

- visualização imediata da opção mais conveniente ao projetar um sistema de tratamento de RSU, pela simulação do seu desempenho;
- usando dados locais, o projeto fica otimizado para essas condições;
- incluindo todas as informações relevantes e confiáveis, permite-se predizer, adequadamente, o desempenho esperado do sistema AAA, aplicado às condições locais (satisfaz primeiro objetivo específico);
- simulação ampliável para outros sistemas de tratamento, com adição de planilhas (satisfaz segundo objetivo específico), pela estrutura flexível do modelo;
- claras vantagens ambientais e sociais deveriam justificar aplicação do sistema AAA, mesmo se resultados econômicos iniciais fossem desfavoráveis;
- bons resultados econômicos, sociais e ambientais na implantação da etapa final;
- assim como para a interpretação de uma sinfonia, o maestro e os músicos devem estar adequadamente preparados e, na execução da partitura, deve-se levar em conta a preparação dos músicos e os recursos dos instrumentos, para que o público se beneficie da música, analogamente, na preparação do modelo de simulação devem ser considerados todos os fatores envolvidos, incluindo as características da cidade em que será aplicado, a escolaridade e capacidade do pessoal que usará esta ferramenta, a disponibilidade de dados essenciais, os recursos do município, etc. (satisfaz objetivo geral);

- o aplicativo deve ser aprimorado de modo a proporcionar uma idéia bastante aproximada dos recursos necessários e do grau de preparação do pessoal requerido para implantar o plano integral AAA;
- a colaboração do público, devidamente informado, será essencial para que a interpretação desta sinfonia seja do agrado de todos (aplicação prática); e,
- **pela transcendência que terá sua aplicação prática, para que ela seja de sucesso, é essencial contar com todos os recursos e apoios necessários e suficientes.**

7. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Um grande leque de amplas possibilidades abre-se com a aplicação da simulação ao sistema de tratamento de resíduo. A primeira, é que este modelo de simulação continue a ser desenvolvido, conservando suas características de facilidade de aplicação, confiabilidade dos resultados e simplicidade para o usuário, de modo a permitir comparação com outros sistemas de tratamento, especialmente a sustentabilidade nos aspectos financeiros, ambientais e sociais.

Sugere-se que sejam realizados testes agrícolas do composto anaeróbio do processo AAA, para o caracterizar e diferenciar do composto tradicional. Um nome comercial adequado pode auxiliar no lançamento (“marketing” sugerido: “Húmus AAA”).

Sugere-se que sejam realizados testes para verificar qual é a seletividade e qual é a concentração máxima que podem ter os contaminantes no rejeito, segundo o tipo de depurador e tipo de contaminante (que interessa minimizar), para simulação realista da depuração.

Sugere-se, também, esperar pela continuidade deste trabalho, pois nesta simulação não é mostrado como, fisicamente, no mundo real, se chega aos valores mostrados para o faturamento ou na depuração. Será desenvolvimento futuro, mostrando que e como deve ser processado o material para chegar aos resultados desejados.

As recomendações para o sucesso da aplicação deste aplicativo são:

- comparar os recursos existentes com os necessários e o grau de preparação do pessoal requerido para implantar o plano integral AAA;

- informar devidamente ao público, pois é essencial sua participação e colaboração para que a interpretação desta sinfonia seja do agrado de todos;
- pela transcendência que terá sua aplicação, para que ela seja de sucesso, é essencial contar com todos os recursos e apoios necessários e suficientes, especialmente da autoridade, independentemente de mandatos políticos; e,
- escolher uma Cidade para teste e implementar o que seja necessário, dentro das limitações de tempo.

O resultado econômico negativo ou pouco expressivo para a etapa inicial e intermediária, como concluído no Apêndice A12, pág. 273, não deve desestimular a implantação do sistema AAA, pois o benefício econômico direto será obtido na etapa final de implantação, após a formação de um complexo empresarial industrial competitivo e sustentável.

Portanto, deve-se sugerir um estudo da relação custo-benefício em todos os 15 aspectos do ser humano integral, como recomendado por Dooyerweerd, filósofo Europeu do século XX (BASDEN, 2004).

Finalmente, sugere-se aplicar o sistema AAA (excelência total) focando os problemas críticos da comunidade e seus objetivos, para produzir efeitos catalíticos e multiplicadores dos impactos benéficos, não somente em forma direta, mas como ondas expansivas em todas as direções e no tempo, com efeitos nos balanços econômico, social e ambiental do município, da região e, porquê não? - do planeta.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13591: Composto**. Brasil. 1996. Disponível em: <http://www.cecae.usp.br/recicla/publica/sobre_lixo/compostagem.html>. Acesso em: 13 abr. 2004, 22h10 min.

ACUÑA C.; AGUIRRE M., **Processo de digestão anaeróbica em Alta consistência para produção de metano e húmus a partir de lixo urbano e outros resíduos**, Br nº PI 9906182- 1, (pendente), 6 dez.1999a.

ACUÑA C.; AGUIRRE M., **Processo de aproveitamento integral do lixo**, Br nº PI 9906183- 0, (pendente), 6 dez. 1999b.

AGUIRRE M. **Depuración centrífuga en circuitos papeleros**. EL PAPEL, ATCP Chile, nov. 2003.

AISSE M. M., OBLADEN N. L.; SANTOS A. S. **Aproveitamento dos resíduos sólidos Urbanos**. CNPq, ITAH, IPPUC, LHSAMA. 1981. BAE/UNICAMP 628.44 Ai88a.

ANSEMS A. M. M. **Model for the collection and processing of waste streams** . In: "Systems engineering models for waste management" International workshop, 1998, Göteborg, Sweden. Disponível em: <<http://www.entek.chalmers.se/~josu/art-anse.htm>>. Acesso em: 6 ago. 2004.

BALDASANO J.M.; SORIANO C. Emission of greenhouse gases from anaerobic digestion processes: comparison with other municipal solid waste treatments. **Water Science and Technology** v. 41, n. 3, p. 275-282, IWA Publishing, 2000.

BARROS NETO B.; SCARMINO I. S.; BRUNS R.E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas, SP: Universidade estadual de Campinas, 2001.

BARROS, O. V. **Investigación operativa. Análisis de sistemas.** Vol.I. Metodología y técnicas. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Editorial Universitária. Chile. 1974.

BARROSO, I de Q. **Introdução ao cálculo numérico**, Edgard Blucher, 1976.

BASDEN, A. **Dooyeweerd's Theory of Aspects**. Disponível em:
<<http://www.isi.salford.ac.uk/dooy/asp.html>>. Acesso em: 27 set. 2004.

“BIBLIOTHÈQUE Publique d’information l’institute Jean Nicod”. Biblioteca Pública de Informação do Instituto Jean Nicod “La science um bien public global pour le 21^{ème} siècle”. Informação do debate realizado entre 15 e 30 de novembro de 2001, Crus et Ehess, França, 2001.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Organização de texto: Juarez de Oliveira. 4 ed. São Paulo: Saraiva, 1990. 188 p. (Série Legislação Brasileira). Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/>>. Acesso em: 27 mar. 2003.

BRASIL. Lei 6.938, de 31 de Agosto de 1981, atualizada 07.02. 2000. Última alteração Lei 9.960 de 28 de janeiro de 2000. Disponível em:
<<http://www.dhnet.org.br/direitos/sos/ecologia/meioamb.htm>>. Acesso em: 30 out. 2002a.

BRASIL. Lei 7.347, de 24 de julho de 1985. Disponível em:
<<http://www.seagri.ba.gov.br/legislacao.asp>>. Acesso em: 30 out. 2002b.

BRASIL. Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Disponível em:
<<http://www.seagri.ba.gov.br/legislacao.asp>> Acesso em: 30 out. 2002c.

BRASIL. Decreto nº 99.274, de 6 de julho de 1990. Disponível em:
<<http://www.seagri.ba.gov.br/legislacao.asp>> Acesso em: 30 out. 2002d.

BRASIL. Decreto nº 407, de 27 de dezembro de 1991. Disponível em:
<<http://www.seagri.ba.gov.br/legislacao.asp>>. Acesso em: 30 out. 2002e.

BRASIL. Lei 9.605, de 12 de fev. de 1998. **Lei de crimes ambientais**. Disponível em:
<http://www.bem.com.br/bem/informacoes_ambientais/qualidade_ambiental/sipam_sivam/condicionantes_legais/responsabilidades_danos_meio_amb.htm>. Acesso em: 30 out. 2002f.

BRASIL. Decreto nº 3.179, de 21 de setembro de 1999. Disponível em:
<<http://www.seagri.ba.gov.br/legislacao.asp>> Acesso em: 30 out. 2002g.

BRASIL. Lei nº 6902, de 27 de abril de 1981. Dispõe sobre a criação de Estações Ecológicas, Áreas de Proteção Ambiental e dá outras providências. Disponível em: <www.lei.adv.br/6902-81.htm>. Acesso em: 3 ago. 2004a.

BRASIL. Lei nº 7804, de 18 de julho de 1989. Dispõe sobre Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins, mecanismos de formulação e aplicações... Disponível em: www.lei.adv.br/7804-89.htm Acesso em: 3 ago. 2004b.

BRASIL. Lei nº 7853, de 24 de outubro de 1989. Atuação do Ministério Público na área dos portadores de deficiências. Disponível em: www.pgj.ccgov.br/centros/coagsdab/legisppd.htm Acesso em: 3 ago. 2004c.

BRASIL. Lei nº 8028, de 18 de julho de 1990. Dispõe sobre a organização da Presidência de República e dos ministérios. Disponível em: www.lei.adv.br/8028-90.htm Acesso em: 3 ago. 2004d.

BRASIL. Lei nº 8078, de 11 de setembro de 1990. Dispõe sobre proteção do consumidor e dá outras providências. Disponível em: www.apdconsumo.pt/indice16.html - Acesso em: 3 ago. 2004e.

BRASIL. Lei nº 8158, de 8 de janeiro de 1991. Disponível em: www.apdconsumo.pt/indice16.html - Acesso em: 3 ago. 2004f.

BROWN, L.R. **Facing reality at the World Food Summit**. WorldWatch Institute. Disponível em: <<http://www.worldwatch.org/press/news/1996/11/01/>> Acesso em: 18 jul.2003.

BUCKMINSTER FULLER R. **Sinergetics, Explorations in the Geometry of Thinking**. Macmillan & Collier Macmillan, London. 3a. Ed. 1978.

CALDERONI S. **Os milhões ... no lixo**. Disponível em: <<http://www.reciclaveis.com.br/sabetai.htm>>. Acesso em: 7 nov. 2002.

CANAL DO ENGENHEIRO, Disponível em: <<http://www.canaldoengenheiro.dsgx.org/canal/index.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2003.

CARDOSO, M. **Destinação de resíduos precisa de legislação específica, afirmam pesquisadores**. Boletim Recicle News. Notícias em destaque. Julho 2003. Disponível em: www.reciclaveis.com.br. Acesso em: 18 jul.2003.

CARVALHO, B. **Glossário de saneamento e ecologia**, ABES RJ. 1981.

CECCHI, F. MATAALVAREZ, J. PAVAN, P. SANS, C. MERLI, C. Semidry Anaerobic-

Digestion of MSW - Influence of Process Parameters on the Substrate Utilization Model. **Water Science and Technology**. SN 0273-1223. PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD. ITALY. SPAIN. ITALY. 1992.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. Disponível em: <www.cempre.org.br> Acesso em: jul. 2004.

CENAPAD, Centro Nacional de processamento de alto desempenho em São Paulo, ligado à Pro-Reitoria de pesquisa da UNICAMP, 1994. Disponível em: <<http://www.cenapad.unicamp.br/home/maim.shtml>>. Acesso em: 10 fev.2004.

CHARLES, M.& WISON, J. Adaptado do texto de **Fermentor Design**. Bioprocess Engineering: systems, equipment and facilities. John Wiley & sons, 1994.

CLARK R. M. **Analysis of Urban Solid Waste Services**. A System Approach. Ann Arbor Science. Mich. USA. 1978. BAE/UNICAMP 628.445 c549a.

DELANEY W; VACCARI W. **Dynamic Models on discret event simulation**. M. Dekker Inc. N.Y. USA. 1989. BAE/UNICAMP 001.434D373d.

DE BAERE, L. Anaerobic digestion of solid waste: state of the art. **Water Science and Technology** v. 41, n. 3, p. 283-290, IWA Publishing, 2000.

EXCEL. O fabricante é a Microsoft Corporation, One Microsoft Way, Redmond, WA 98052-6399, Copyright 1996 Microsoft e/ou seus fornecedores, One Microsoft Way, Redmond, Washington 98052-6399, E.U.A. Todos os direitos reservados. 1996. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/brasil/misc/copyright.htm>> Acesso em: 17 jul. 2004.

FEHR M., Metas Realistas para um Aterro Único Municipal/Industrial. **Gerenciamento Ambiental**, n. 17, p. 38-40, nov./dez. 2001.

FERRUCCIO R.S. **Comparação da aplicação de remediação em áreas degradadas e da implantação de sistemas integrados nas cidades de Campinas (SP), Americana (SP), Porto Alegre (RS) e Caixias do Sul (RS)**. 195 f. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. 1997. BC/UNICAMP F418c 31380.

FLORES, A . **A Indústria e a reciclagem**. 04 de Setembro de 2000. Disponível em www.reciclaveis.com.br/ana.htm . Acesso em: 7 nov. 2002.

FRENCH, H. **Vanishing borders. Protecting the Planet in the Age of Globalization**. WorldWatch Institute on-line Library. Disponível em: <www.worldwatch.org/library>. Acesso em: set. 2002.

FRONTLINE SYSTEMS. [informações em inglês do “Solver”]. Disponível em: <<http://www.frontsys.com>>. Acesso em: 5 ago. 2004.

GARDNER, G - chapter 6 “**State of the World 1998**” World Watch Institute on-line Library. USA. 1998. Disponível em: <www.worldwatch.org/library>. Acesso em: set. 2002. ESW806 file,

GAZETA MERCANTIL, **Agenda 21 brasileira**. Rio de Janeiro, n. 599, ago, 2000. Disponível em: <www.reciclaveis.com.br/anamg.htm> Acesso em: 7 nov. 2002.

GERENCIAMENTO AMBIENTAL. **Agenda 21 brasileira**. Rio de Janeiro, n. 21, ago/set, p. 37-41. 2002. Bimensal. Edição especial.

GOVERNO do Estado de Paraná – SEMA/IAP/SUDERHSA. **Política de Resíduos Sólidos do Estado do Paraná**. Programa desperdício zero, 2003. Disponível em: <http://www.pr.gov.br/sema/politico.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2004.

GUIMARÃES A.; GONZALES D. **Usina da Vila Leopoldina vai ser desativada**. O Estado de São Paulo - Geral – 07 maio 2004. Disponível em: http://www.unicamp.br/unicamp/canal_aberto/clipping/maio2004/clipping040508_estado.html
Acesso em: 25 jun. 2004.

HAHN, G. J. **Design of experiments**. Encyclopedia of Chemical Technology, 4th Ed.,v. 7, p. 1056-1071. GE. 1992.

HALWEIL, B. **A Corrida do Ouro Orgânico**. Extraído do Worldwatch de maio/jun. 2001. Disponível em <www.worldwatch.org/library> Acesso em: set. 2002.

INSTITUTO GEA. **Problema do lixo**. Disponível em: <<http://www.institutogea.org.br/>>. Acesso em: 21 abr. 2004.

IPT-CEMPRE. **Lixo Municipal. Manual de Gerenciamento Integrado**. Paginas & Letras. 2^a reimp. 1998. BAE 628.4 L767.

IPT-CEMPRE. **Disposição de efluentes e de resíduos sólidos**. Disponível em : <http://pcc2540.pcc.usp.br/PCC%202540%20Aula%208%20-%20Efluentes%20e%20res%C3%ADduos%20s%C3%B3lidos.PDF> acesso em: 3 agosto 2004.

KIROV N. Y. **Solid Waste Treatment and Disposal**. Mich.USA. Ann Arbor Science. 1971.

KREITH F., **Handbook of solid waste Management**. MCGRAW-Hill. USA. 1994. BAE 628.445 H191.

LAW A.M; KELTON W.D. Simulation, Modeling and Analysis. MC Graw Hill, 1982. BAE 001.434L41s.

LIMA, L.M.Q. **Tratamento de Lixo**. Hemus. Brasil, [1985] sdt.

LIMA, L.M.Q. **Resíduos orgânicos. Tratamento e Biorremediação**, São Paulo: Hemus, 1995.

LJUNGGREN, M. **The MWS model - A systems engineering approach to national solid waste management**. Disponível em: < The MWS model - a systems engineering approach to national solid waste management >. Acesso em: jul. 2004.

MARTIN, **Bioconversion of Waste Materials to Industrial Products**. Elsevier Applied Science. London and N.York. 1991. BAE 628.4458 B52.

MAS. Ministério de Ação Social. **Cartilha de Limpeza Urbana**. Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM. Disponível em: < http://www.resol.com.br/cartilha >. Acesso em: 4 ago. 2004.

McGINN, A.P. **From Rio to Johannesburg: Reducing the Use of Toxic Chemicals Advances Health and Sustainable Development**. WORLD SUMMIT POLICY BRIEF #7. THE WORLDWATCH INSTITUTE'S Series, Washington. USA. 2002. Disponível em: < http://www.worldwatch.org/press/news/2002/06/25 >. Acesso em: set. 2002.

MICROSOFT Excel Solver.[código de otimização não linear “Generalized Reduced Gradient” de Allan Waren e Leon Lasdom]. Disponível em: http://office.microsoft.com/assistance/preview.aspx?AssetID=HP051983681033&CTT=4&Origin=CH010004571033 Acesso em: 5 ago. 2004.

MINTER. Portaria. **Portaria nº 53 de 1 de março de 1979**: normas ao projeto específico de tratamento e disposição de resíduo sólido... São Paulo. 1979. Disponível (descrição somente) em: http://www.comcap.org.br/artigos/residuos_solidos_urbanos.pdf Acesso em: 4 ago. 2004.

MIRÓ, J. correspondência pessoal, cartas trocadas em 2003 comentando “**Proyectos de Hipermedia**”, Brasil-Espanha, 2003.

MMA. Resolução CONAMA nº 001 de 23 de janeiro de 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm> Acesso em: 7 jul. 2004a.

MMA. Resolução CONAMA nº 006 de 24 de janeiro de 1986. Publicaçãode pedidode Licenciamento. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/cona Acesso em: 7 jul. 2004b.

MMA. Resolução CONAMA nº 020, de 18 de junho de 1986. Classes e qualidades de água. Disponível em: <http://www.ambientec.com.br/conama_020.htm> Acesso em: 7 jul. 2004c.

MMA. Resolução CONAMA nº 005 de 15 de junho de 1988. Disponível em: : <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>> Acesso em: 7 jul. 2004d.

MMA. Resolução CONAMA nº 003 de 28 de junho de 1990. Qualidade do Ar. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 7 jul. 2004e

MMA. Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Estabelece obrigatoriedade do Licenciamento Ambiental para atividades de tratamento de resíduos sólidos. Disponível em: : <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 7 jul. 2004f

MMA. Resolução CONAMA nº 316 de 29/10/2002. Dispõe procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, para que não apresentem resíduos deletérios à saúde, tanto nos efluentes sólidos, gasosos, como nos líquidos, durante o processo. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 7 jul. 2004g

MMA. Resolução CONAMA nº 308 de 29/07/2002. Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 5 out. 2004h

MONTEIRO J.H.P. et alii. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduo Sólido**. SEDU. IBAM. RJ. 2001. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/>>. Acesso em: 31 maio 2004.

NELSON, G.L. The screening quotient: a better index for screening performance in Pulp mill equipment evaluation. **Tappi Journal**. Tech. Assoc. Pulp&Paper Ind. USA, v. 64, (5) p. 133-134, may. 1981.

NOVAES, W. Washington Novaes alerta para o problema do lixo no mundo. Disponível em: <http://www.negocionacional.com.br/lixo.htm> Acesso: 4 de out. de 2004.

O ESTADO DE SÃO PAULO, **FHC lança a Agenda 21 brasileira**. Disponível em: <http://www.estadao.com.br/ciencia/noticias/2002/jul/16/216.htm>, Acesso em: 27 nov. 2002.

OLIVEIRA L. S.; PINTO C.S. J. C.; MONTEIRO F. J. L. **Um novo método de planejamento seqüencial de experimentos para discriminação de modelos**. Bol. téc. PETROBRAS, R.J., v. 41, n. (1/2), p. 65-74, jan/jun. 1998. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/portugue/meioambi/devsus/devsus.htm>>. Acesso em: 17 dez. 2001.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **Definição de Saúde**. Disponível em: <<http://www.cafb.fcf.usp.br/legisla/farmapub.html>>. Acesso em: 3 ago. 2004.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Agenda 21 Global**. Eco 92. Rio de Janeiro. Brasil. 1992. Disponível em: <http://www.vitaecivilis.org.br/midbiblinp.htm#ag21> . Acesso em: 07 jul. 2003.

ORTEGA, E. **Agenda 21, Rio+10 e as questões de Energia e Desenvolvimento**. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/fea/ortega/plan-disc/Agenda21-Energia.pdf>>. Acesso em: abr. 2004.

PALMOWSKI MÜLLER. Influence of the size reduction of organic waste on their anaerobic digestion. **Water Science and Technology**. v. 41, n. 3, p. 155-162, IWA Publishing, 2000.

PAVAN P.; BATTISTONI P.; MATA-ALVAREZ J.; et al. **Desempenho do processo de digestão anaeróbia termofílica semi-seca mudando a biodegradabilidade da alimentação**. *Water Science and Technology*. v 41 n 3 p75-81 . IWA Publishing, 2000.

PAVONI J., **Handbook of Solid Waste. Disposal Materials and Energy**. Van Nostrand Reinhold Ltda. Canada. 1975.

PEREIRA NETO, Tinôco. **Manual de Compostagem: Processos de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996.

PERIN FILHO, C. Introdução à simulação de sistemas. Editora da UNICAMP, Campinas. SP. Br. 1995. ISBN 85-268-0349-2.

PETROBRAS. Meio Ambiente. Certificações. **Desenvolvimento sustentável**. Brasil, in <<http://www.petrobras.com.br/portugue/meioambi/devsus/devsus.htm>>. Acesso em: 17 dez. 2001.

PETROBRAS. Representante da Petrobras consultado após sua palestra no **Primeiro Encontro Internacional sobre Energia no Campo**. UNICAMP. 29-31 out. 2002.

PIMENTEL N. G. Anexo D e E do curso: Teoria e apóio à prática de projectos. Departamento de Engenharia Mecânica. Elementos finitos. Instituto de Engenharia de Lisboa. Portugal. 2003.. Disponível em: <<http://iselspm.no.sapo.pt/anexos.htm>>. Acesso em: 20 ago. 2003.

PINHEIRO, T.V. **Desenho de Máquinas**. Manual. SENAI. sdt.

POHLAND G.F.; HARPER, R.G. **Critical Review and Summary of Leachate and Gas Production from Landfills**. Georgia Institute of Technology. Atlanta, USA. 1985.

POLPRASERT C., **Organic Waste Recycling**. J.Wiley & Sons. Chichester, England, 1996. BAE 628.44 P767o.

RECICLÁVEIS. **Noticias On Line** - www.reciclaveis.com.br Acesso em: 2002.

RECICLÁVEIS. Noticias e destaques – **Cooperativa e reciclagem de Paulínia Cooperlína ganha certificado ISO 14001**. www.reciclaveis.com.br Acesso em: maio 2004.

RINTALA, JA; JARVINEN, T; **Full scale mesophilic anaerobic co-digestion of municipal solid waste and sewage sludge: Methane production characteristics**. Finland, 1996.

Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&method=list&ArticleListID=191321375&sort=d&st=4&acct=C000049648&version=1&urlVersion=0&userid=972058&md5=b9a4379601199edb255a2ce08ccf76a5>. Acesso em: 4 ago. 2004.

ROBINSON W., **The Solid Waste Handbook**. A Practical Guide. J. Wiley & Sons. 1986. BAE 628.44 So44.

ROZZI, A.; TOMEI, M.C.; DIPINTO, A.C.; et al. Monitoring toxicity in anaerobic digesters by the rantox biosensor: Theoretical background. **Biotechnology and Bioengineering**. Jul, 1997.

ROZZI, A.; MASSONE, A.; ANTONELLI, M. A. VFA measuring biosensor based on nitrate reduction. **Water Science and Technology**, 1997.

RURALNEWS. **Adubação orgânica**. Disponível em:

<http://www.ruralnews.com.br/agricultura/irrigacao/adubacao_organica.htm>. Acesso em: 24 out. 2002a.

RURALNEWS. **Métodos naturais de proteção de pragas**. Disponível em:

http://www.ruralnews.com.br/agricultura/pragas/metodos_naturais_protecao_hortas.htm Acesso em: 24 out. 2002b.

SABESP Uso racional. Fontes de Pesquisa. Solicitação de dados de análise de lodo de esgoto. Disponível em: http://200.144.74.11/pura/fontes_pesquisas/resp.htm Acesso em: 24 jun. 2004a.

SABESP. Legislação saneamento. Disponível em:

<<http://200.144.74.11/legislacao/saneamento/default.htm>>. Acesso em: 4 ago. 2004b.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 8.468. São Paulo: 1976. Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/decreto_8468_completo.htm>. Acesso em: 25 maio 5/2004a.

SÃO PAULO (Estado). **Constituição do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1989. Disponível em: <<http://www.adusp.org.br/arquivo/ConstEst/Default.htm>>. Acesso em: 25 maio 2004b.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 7.750**. Dispõe sobre Política de Saneamento. São Paulo, 1992. Disponível em: <<http://200.144.74.11/legislacao/PDF/LE775092.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2004c.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 40.046**. São Paulo: 1995. Disponível em: <www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/geral/politica_meio/40046.htm>. Acesso em: 25 maio 2004d.

SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 9.509**: Política Estadual do Meio Ambiente...São Paulo: 1997. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/geral/politica_meio/lei_est950997.htm>. Acesso em: 25 maio 2004e.

SÃO PAULO (Estado). **Deliberação CONSEMA 20/90**. Efeitos da instalação de antenas para celulares. Disponível em: <<http://www.mp.sp.gov.br/caoconsumidor/Atua%C3%A7%C3%A3oPr%C3%A1tica/Iniciais/03-284.htm>>. Acesso em: 3 ago. 2004f.

SEMAD – Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de São Paulo. **Agenda 21 Brasileira**. Brasil, 2002. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/agenda21bras/agendabras.htm>>. Acesso em: 27 nov. 2002.

SHIMIZU, T. **Simulação em computador Digital**. Edgar Blücher Ltda.(USP), 1975.

SILVA, L.N. de C. **Análise e síntese de estratégias de aprendizado de redes neurais artificiais**. 248 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas. 1998.

SIX, W.; DE BAERE, L. **Dry anaerobic conversion of municipal solid-waste by means of the DRANCO process**. Water Science and Technology. SN 0273-1223. Pergamon-Elsevier Science Ltd. Belgium. [1992?].

SMA. **Resolução nº 42** de 29 de dezembro de 1994. São Paulo. 1994. Disponível em: <www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/geral/licenc/sma4294.htm>. Acesso em: 2004a

SMA. **Resolução nº 35**: Balcão Único para o Licenciamento Ambiental na Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo. 1996. Disponível em: <www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/geral/licenc/sma3596.htm>. Acesso em: 2004b.

SMA. **Resolução nº 5:** Compromisso de Ajustamento de Conduta Ambiental. São Paulo. 1997. Disponível em: <www.ambiente.sp.gov.br/leis_internet/geral/crimes_amb/sma597.htm>. Acesso em: 2004c.

SMA. **Resolução nº 11.** São Paulo. 1998. Disponível em: <www.ambiente.sp.gov.br/licenciamento/procedimento/sma98_11.doc> . Acesso em: 2004d.

SMITH J.M. Mathematical modeling and digital simulation for engineers and scientists. 2nd ed. John Wiley & Sons, 1987. BAE/UNICAMP 001.424Sm61m.

SNEDECOR G.W.; COCHRAN W.G. **Statistical Methods**. Ames: Iowa State University. 1989. IMECC 519.5Sn22s.

STESSEL R., **Recycling and resource recovery engineering. Principles of waste processing**. Heidelberg, Verlag. Berlin, 1996. BAE 628.44 St45r

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; ELIASSEN, R. Solid Wastes: engineering principles and management issues. Mc Graw-Hill in Series **Water Resources and Environmental Engineering**. N.York. 1977. BAE 628.44 T219s.

TCHOBANOGLIOUS G., THEISEN H., e VIGIL S., Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues.1993. Mc Graw-Hill in Series **Water Resources and Environmental Engineering**. N.York. 1993. BAE 628.44 T2191.

THE SOCIETY for modeling simulation. International multidisciplinary forum dedicated to application, development, education and research in modeling simulation. Disponível em: <<http://www.scs.org>>. Acesso em: set. 2003.

THOMAZ, L. P. GHL automação industrial. Correspondência pessoal 26 agosto, resposta a consulta sobre simulação. Brasil. 2003.

TRAVASSOS J.M.C. **Teoria e apoio à prática de projecto. Secção de Projecto Mecânico**. Departamento de Engenharia Mecânica. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Portugal. 2003. Disponível em: <<http://iselspm.no.sapo.pt/cap1.htm>>. Acesso 20 ago. 2003

UNICAMP, Laboratório de Mecânica Computacional. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade estadual de Campinas, SP. Disponível em: <http://labmec.fec.unicamp.br> Acesso em: 22 ago. 2003.

UNIDO (United Nations Industrial Development Organization), File Nº 312/07 (003), P.O.Box 300, A-1400 Vienna, Austria. **File: Z 27** - Código ISIC 9000 - Dic. 1993. (Arquivo PINE

University, W. USA). Acesso em: 2000. Disponível em: <<http://www.unido.org/doc/3923>>. Acesso em: 2000.

USEPA (United States Environmental Protection Agency) **Treatment Technologies**. Office of Solid Waste. Gov. Institutes Inc. USA. 1991. BAE 628.4456 T71 2ed.

VANDEVIVERE, P.; DE BAERE, L.; VERSTRAETE, W. **Types of Anaerobic Digesters for Solid Waste**. [2002]. Disponível em: <<http://www.roseworthy.adelaide.edu.au/~pharris/biogas/pvdv.pdf>>. Acesso em: 8 jul. 2003.

VIVEIROS, M. **Lixo vai gerar energia para 200 mil pessoas**. Notícias, Recicláveis. Disponível em: <<http://www.reciclaveis.com.br/noticias/00401/0040128energia.htm>>. _ Acesso: 31 jan. 2004.

VN4D. Aplicativo comercial para simulação do desempenho de máquinas virtuais visualizando seu funcionamento. Disponível em: <http://www.mscsoftware.com/support/prod_support/nastran/documentation/release.pdf>. Acesso em: 2003.

WATSON J., **Separation Methods for Waste and Environmental Applications**. Marcel Dekker,. Berel. N.Y. USA. 1999. BAE 628.4 W334s

WIDMAN L. E; LUPARO K. A; NIELSEN N. R. **Artificial Intelligence, Simulation, and Modeling**. John Wiley & Sons, 1989. BAE/UNICAMP 001,535Ar78.

WILSON E. **Incorporating the Environment into Municipal Solid Waste Planning: Life Cycle Inventory Tools and the Decision Making Process**. In: "Systems engineering models for waste management" International workshop, 1998, Göteborg, Sweden. Disponível em: <http://www.entek.chalmers.se/~josu/art-ewil.htm> Acesso em: 6 ago. 2004

WORKING MODEL, 2D e 4D. Aplicativos comerciais da MSC Software para simulação. Disponível em: <<http://www.workingmodel.com/products/wm2d.html>>. Acesso em: 2004.

WORLDWATCH Press Releases. October 09, 2002. Fact Sheet: New Organic Standards to Hit U.S. Shelves on October 21, 2002. Disponível em: <http://www.worldwatch.org/press/news/2002/10/09/> Acesso em: 21 ago..2003.

ZAKIA, M.J.B. **Mini Curso de Legislação Ambiental**, organizado pela Coordenadoria de Pós Graduação. Faculdade de engenharia agrícola/Universidade Estadual de Campinas, 7 jun. 2002.

ZWICKY F. **Discovery, Invention, Research Through the Morphological Approach**. Tradução do alemão para o inglês do original Entdecken, Erfinder, Forschem im

morphologischem Weltbild, 1966.The Macmillan Company.USA, 1969. BAE/UNICAMP
501Z97d.

GLOSSÁRIO

Absorção = processo físico ou físico químico em que um material retém outro (adaptado, CARVALHO, 1981).

“Aceito” = fluxo principal de material depurado, após a depuração, que concentra os contaminantes no fluxo secundário, o rejeito. Neologismo em Português, palavra usada com novo significado para aceito, (admitido), igual que “accepts” em inglês e “aceptado” em espanhol, que admitem, também, o significado de material depurado.

Adensador ou espessador = tanque de sedimentação ou equipamento específico para aumentar a concentração de sólidos do lodo ou outro material com sólidos em suspensão (modificado, CARVALHO, 1981).

Agenda 21 = documento aprovado na conferência ECO 92, que estabelece um programa de ações para promover o desenvolvimento sustentável do planeta (SABESP, 2004b).

Agitadores = equipamentos mecânicos para criar turbulência em líquidos (Adaptado, CARVALHO, 1981).

Água de Reuso: água utilizada mais de uma vez, após receber o tratamento adequado (SABESP, 2004b).

Alimentação = entrada ao sistema. Na depuração, é o fluxo alimentado ao depurador e é igual à soma do aceito (fluxo de material depurado) mais o rejeito (fluxo de material com contaminantes concentrados).

Análise de sistemas = atividade que se propõe a estabelecer uma previsão do comportamento de um sistema devido ao conhecimento de suas diversas reações, por vezes impossíveis de serem manipuladas ou realizadas com antecedência. Apóia-se na representação da instantaneidade do sistema, expressa por uma série de funções e valores (Adaptado, CARVALHO, 1981)

Assoreamento: processo de deposição de sedimentos (areia, detritos) que diminui o leito de um corpo de água (rio, canal, lago), causando diversos problemas, como enchentes (SABESP, 2004b).

Aterro sanitário = processo de disposição do resíduo sólido na terra, sem causar moléstias nem perigo à saúde pública ou à segurança sanitária, mediante métodos de engenharia para confinar os despejos numa área, reduzi-los a um volume mínimo e cobri-los com uma capa de terra, segundo seja necessário (CARVALHO, 1981).

Biodegradável: nomenclatura usada para materiais que podem ser decompostos por microrganismos (SABESP, 2004b).

Biogás = produto gasoso da fermentação anaeróbia, composto principalmente por dióxido de carbono e metano, e quantidades menores de outros gases, dependendo da composição do material orgânico transformado e a cinética do processo bioquímico de transformação; combustível.

Biomassa: matéria orgânica existente em um organismo, numa população ou ainda num ecossistema (SABESP, 2004b).

Biossólido: é um rico adubo utilizado nas plantações agrícolas. Esse fertilizante pode ser obtido através do tratamento adequado de parte do esgoto recolhido nas cidades (SABESP, 2004b).

Cadeia alimentar: é uma sequência ou "cadeia" de organismos em um ecossistema, no qual cada ser vivo se alimenta do organismo inferior. Em uma ponta da cadeia estão as plantas e na outra os animais carnívoros (SABESP, 2004b).

Chorume: líquido resultante da decomposição do lixo (SABESP, 2004b), preto e de odor desagradável, com elevado teor poluidor.

Composto: vide húmus.

Coleta Seletiva = separação, na fonte geradora (domicílios), dos diversos componentes recicláveis (papel, plásticos, vidros, metais, etc.) e da sua fração orgânica (MAS, 2004).

Decantação e sedimentação = separação de sólido de um líquido, ou de líquidos imiscíveis de densidades diferentes, pela sedimentação do material mais denso, quando em repouso ou em baixa velocidade. Clarificação (adaptado de CARVALHO, 1981).

Decantador = tanque de separação sólido – líquido, ou líquido – líquido (imiscíveis) por decantação. Uma lagoa e o mar podem ser considerados decantadores naturais, com lodo depositado no fundo. Também pode ser chamado Sedimentador.

Decomposição = transformação de um material complexo em substâncias mais simples, por meios químicos, térmicos ou biológicos (Adaptado, CARVALHO, 1981).

Degradável: que pode ser decomposto pela natureza (SABESP, 2004b).

Desenvolvimento sustentável = processo produtivo que cuida simultaneamente dos aspectos ambientais, econômicos, sociais, culturais, territoriais e político-institucionais para satisfação das necessidades e aspirações de uma geração sem comprometer as gerações futuras.

Desidratação do lodo = processo de remoção de parte da água do lodo, por quaisquer meios (drenagem, evaporação, pressão, filtração, centrifugação, exaustão, calandragem, flutuação ácida,

flotação por ar dissolvido), até uma condição que facilite sua disposição final (modificado, CARVALHO, 1981).

Desinfecção = aplicação de agentes destruidores de microrganismos em um determinado meio, com a finalidade de desativar seres patogênicos (CARVALHO, 1981).

digestão anaeróbia = transformação bioquímica da matéria orgânica em substâncias mais simples e estáveis (biogás e húmus) pela ação de organismos anaeróbios (CARVALHO, 1981).

Digestão termofílica = processo de degradação da matéria orgânica realizada entre 45°C e 63°C (completado, CARVALHO, 1981).

Estação de transferência = As estações de transferência, ou transbordo, são locais onde os caminhões coletores vazam sua carga para transferi-la a veículos com carrocerias de maior capacidade que seguem até o destino final. Têm como objetivo reduzir o tempo gasto de transporte e conseqüentemente os custos com o deslocamento do caminhão coletor desde o ponto final do roteiro até o local de disposição final do lixo. Esta solução costuma ser empregada quando as áreas disponíveis para disposição do lixo se encontram muito afastadas dos locais de coleta (MAS, 2004).

Estação de tratamento de esgoto = conjunto de dispositivos, estruturas, instalações e equipamentos para tratamento e disposição final de águas residuárias e lodo. (Adaptado, CARVALHO, 1981).

Estocásticos = modelos matemáticos que aplicam cálculo de probabilidades e dados estatísticos para efeitos de causas acidentais (CARVALHO, 1981).

Estudos Ambientais = são todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados a localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: plano

e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco (MMA, 2004f).

Fermentação: processo pelo qual uma substância se transforma em outra por meio da ação de determinados microorganismos (MAS, 2004).

Gasômetro: reservatório de acumulação de gás (MAS, 2004).

Húmus = composto aeróbio ou anaeróbio. Resíduo sólido da decomposição biológica de matéria orgânica, bio-estabilizado e mineralizado, de cor escura e rica em partículas coloidais que, quando aplicada ao solo, melhora suas características físicas, químicas e biológicas para uso agrícola.

Impacto ambiental = estuda perigo potencial do processo produtivo sobre o ambiente. O estudo deve incluir medidas mitigadoras e na desativação do empreendimento as medidas **para recuperar ambientalmente a área degradada. Também pode ser impacto positivo, melhorando uma situação existente.**

Inoculação do substrato = introdução de microrganismos biologicamente ativos no substrato.

Licença Ambiental = ato administrativo pelo qual órgão ambiental competente estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental (MMA, 2004f).

Licenciamento Ambiental = procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras

ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as dispersões legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso (MMA, 2004f).

Lixo = lixo é tudo aquilo que não se quer mais e se joga fora; coisas inúteis, velhas e sem valor (Dicionário de Aurélio Buarque de Holanda). 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 (ABNT, 2004). Lixo é todo material sólido ou semi-sólido indesejável e que necessita ser removido por ter sido considerado inútil por quem o descarta, em qualquer recipiente destinado a este ato. (MONTEIRO, 2004). São os restos e sobras jogados fora, originadas de atividades humanas. A origem é o principal elemento para a caracterização dos resíduos sólidos. (condensado, MAS, 2004).

Lixo residencial = resíduos sólidos gerados nas atividades diárias em casas, apartamentos, etc. (MAS, 2004).

Lixo comercial = é aquele produzido em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade ali desenvolvida (MAS, 2004).

Lixo público = são os resíduos da varrição, capina, raspagem, etc., provenientes dos logradouros públicos (ruas e praças, por exemplo), bem como móveis velhos, galhos grandes, aparelhos de cerâmica, entulho de obras e outros materiais inservíveis deixados pela população, indevidamente, nas ruas ou retirados das residências através de serviço de remoção especial (MAS, 2004).

Lixo de fontes especiais = é aquele que, em função de determinadas características peculiares que apresenta, passa a merecer cuidados especiais em seu acondicionamento, manipulação e disposição final, como por exemplo o lixo industrial, o hospitalar e o radioativo (MAS, 2004).

Lixo domiciliar = lixo doméstico + comercial (MAS, 2004).

Lodo = sólidos acumulados e separados do líquido, depositados no fundo do decantador (Adaptado, CARVALHO, 1981).

Método = procedimento sistematizado para realizar bem uma tarefa.

Modelo matemático ou de simulação = tem por finalidade traduzir conceitos físicos, químicos, térmicos e biológicos de qualquer sistema num conjunto de relações matemáticas e manejo dos sistemas obtidos deste modo. Serve para a análise dos sistemas (Adaptado, CARVALHO, 1981).

Processo produtivo = define o uso do conjunto de procedimentos e recursos (mão de obra, matéria prima, maquinário, tecnologia, energia, etc) para transformar a matéria prima em produtos.

Putrefação = decomposição biológica de matéria orgânica, associada a condições anaeróbias, com formação de cheiro desagradável (Adaptado, CARVALHO, 1981).

Putrescibilidade = propriedade de ser putrescível ou decompor por ação de microrganismos.

Reciclagem = é a obtenção de material a partir de resíduo, introduzindo-o novamente no ciclo de produção. Esse material é novamente transformado em produtos comercializáveis no mercado de consumo.

Rejeito = fluxo de material que concentra os contaminantes, após a depuração.

Resíduo orgânico não biodegradável = substância orgânica que não pode servir de alimento a nenhum ser vivo. Geralmente são produtos sintéticos e poluentes: plásticos, pesticidas, herbicidas, inseticidas, detergentes (Adaptado, CARVALHO, 1981).

Resíduo sólido = despejo sólido, resto remanescente putrescível (exceção dos excrementos) e não putrescíveis, que incluem papel, papelão, latas, material de jardim, madeira, vidro, cacos,

trapos, lixo de cozinha e resíduo de indústria e até aparelhos imprestáveis. É altamente poluente (Adaptado, CARVALHO, 1981). Termo técnico-científico para lixo.

Salubridade Ambiental = qualidade ambiental capaz de prevenir a ocorrência de doenças veiculadas no ambiente e de promover o aperfeiçoamento das condições favoráveis à saúde da população urbana e rural (SÃO PAULO, 2004c).

Saneamento = conjunto de ações, serviços e obras que têm por objetivo alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental, por meio do abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos líquidos, sólidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária do uso e ocupação do solo, drenagem urbana, controle de vetores de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializados (SÃO PAULO, 2004c).

Saneamento Básico = ações, serviços e obras considerados prioritários em programas de saúde pública, notadamente o abastecimento público de água e a coleta e tratamento de esgotos (SÃO PAULO, 2004c).

Sistema = conjunto de elementos inter-relacionados que funcionam no tempo e no espaço, de acordo a um propósito, que é o objetivo do sistema.

Sistema Integral AAA de tratamento de RSU = é o conjunto de processos de coleta, triagem e transformação do RSU, com o propósito de realizar seu tratamento e disposição final adequada às condições locais. Permite manejar o RSU como matéria prima secundária, para, através de diferentes processos de seleção, depuração e produção, obter uma variedade de produtos para a indústria, a construção e o comércio (ACUÑA e AGUIRRE, 1999b).

Sólidos totais = soma dos constituintes dissolvidos e suspensos em água ou outros líquidos, após secagem a 105⁰C (CARVALHO, 1981, modificado).

Sólidos voláteis = quantidade de sólidos perdidos, dos sólidos totais, por calcinação a 550⁰C (CARVALHO, 1981, modificado).

Sustentabilidade ambiental = projeto produtivo que respeita o ambiente, evitando destruição do equilíbrio entre os diversos subsistemas de vida. Evita a perda da riqueza biológica.

Sustentabilidade cultural = projeto produtivo que evita a perda da riqueza cultural da região. Respeita valores culturais.

Sustentabilidade econômica = projeto produtivo capaz de gerar lucro no curto e longo prazo.

Sustentabilidade social = projeto produtivo que incorpora, de forma ativa, à população local, sem marginaliza-la ou expulsá-la.

Sustentabilidade territorial = projeto produtivo evita conflito com regiões vizinhas por concentração pontual no território.

Taxa de Rejeito = R = fração em peso, $R = r / F$, que expressa a relação entre o fluxo de material rejeitado, r , por um depurador e o fluxo de sua alimentação, F .

Tratamento = aplicação de processos e técnicas para modificar ou conservar uma condição.

Tratamento aeróbio = estabilização de resíduo pela ação de microrganismos, na presença de ar ou oxigênio elementar, com produção de CO_2 e húmus.

Tratamento anaeróbio = estabilização de resíduo pela ação de microrganismos, na ausência de ar ou oxigênio elementar (CARVALHO, 1981), com produção de biogás e húmus.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Modelo de Simulação do Desempenho do Sistema AAA (imagens)

APÊNDICE B: Modelo de Simulação do Desempenho do Sistema AAA (CD-ROM)

APÊNDICE C: Determinação prática da Seletividade

APÊNDICE D: Planilhas Depuração e Depuração 1

APÊNDICE A - Imagem do Modelo de Simulação de Desempenho do Sistema AAA

A1 - INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA

- Explica o Sistema AAA de Tratamento de RSU, o conteúdo das planilhas desenvolvidas e informação geral.

SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE RSU

O programa está distribuído em diferentes planilhas, ampliáveis e modificáveis como requerido.

As planilhas estão em desenvolvimento progressivo.

A planilha "Glossário" define os termos usados nas diferentes planilhas. Isto facilita a compreensão dos termos usados.

A planilha "Dados" agrupa os dados usados nas diferentes planilhas. Isto facilita a comparação e atualização dos dados.

A planilha "Report" resume a informação de um estudo de caso. Isto facilita a compreensão do uso prático da simulação.

A planilha "Legal" agrupa as citações das leis e regulamentos pertinentes para uma usina de tratamento de RSU.

A planilha "Licenciamento" aplica os requisitos legais em forma prática, conforme requerido para obter o licenciamento e cumprir outros requerimentos legais. Simplificação do licenciamento para pequenas comunidades (> 70% dos municípios).

A planilha "Faturamento" simula a conversão do RSU em produtos comerciais, para calcular o faturamento potencial baseado na composição do RSU, fase de implantação do projeto AAA, quantidade de RSU, porcentagem reciclado de cada fração (orgânica e inorgânica), tipo de substrato, % de resíduo orgânico como húmus, preços em dólar ou real. Os resultados são mostrados como uma tabela de produtos e faturamento potencial versus fluxo e composição do RSU.

Produtos obtidos, concentração, fluxo, preço, faturamento e pureza. Também é mostrada a alteração da figura esquemática e a quantidade que ainda sobra para aterro segundo etapa de implantação.

A planilha "Digestão" simula a conversão de substrato em biogás e húmus.

"Co-geração" simula uso do biogás na Co-geração, com aproveitamento inteligente da energia.

A planilha "Depuração" analisa diferentes configurações de depuradores e calcula seus balanços de fluxo para comparar eficiências de depuração, perdas e pureza esperada, usando o conceito de "Seletividade".

"Econômico" faz uma análise econômica preliminar segundo quantidade de RSU a tratar e etapa do empreendimento.

"Custos" simula a análise de custos do empreendimento. Para resultados úteis, requer dados práticos locais.

"Ambiental" para a análise ambiental, com dados de normas para efluentes gasosos e líquidos.

"Desagregador" simula desempenho do desagregador seletivo para operação por bateladas ou contínuo.

Normalmente, após a entrada de dados, os resultados estão prontos em cada planilha, exceto os que requerem iteração.

Sistema AAA Integral de tratamento de RSU

Todo processo produtivo ou de consumo gera resíduos. Na natureza, os ciclos naturais aplicam a reutilização dos resíduos.

A quantidade de RSU gerado a partir de meados do S.XX ultrapassou a capacidade natural de reciclagem, com variadas soluções, mas em geral, como um problema de custo crescente. A maioria das soluções abordadas segue a estratégia do menor custo. **O sistema AAA segue a estratégia das maiores vantagens, definidas pela própria comunidade.**

Nos municípios brasileiros, praticamente 98% não tem formas sanitariamente adequadas de tratamento do RSU. Um 70 % dos municípios brasileiros tem população inferior a 20.000 habitantes. Faltam recursos para aplicação das técnicas oficiais.

Sistema Integral AAA de tratamento de RSU é uma metodologia de processos de coleta, triagem e transformação do RSU, com o propósito de realizar seu tratamento industrial e disposição final comercial adequada às condições locais.

A qualidade de vida da população é assim elevada, promovendo o asseio da cidade, o aproveitamento do material, a criação de novos postos permanentes de trabalho, o avanço econômico e geração de riqueza, a proteção da saúde pública e a melhora substancial do ambiente. O tratamento diferenciado e a disposição final levam em consideração: as características das fontes de produção, o volume e o tipo de resíduo, os aspectos técnicos e econômicos e as peculiaridades demográficas, climáticas e urbanísticas locais para funcionamento sustentável e seguro do sistema.

A implementação do sistema AAA é adequada às condições locais, reduzindo progressivamente, em etapas, o material destinado ao aterro (vide Figura 1), de modo que no final, todo o material seja aproveitado economicamente, dentro da filosofia de sustentabilidade, pois o RSU pode ser considerado um recurso renovável (ACUÑA e AGUIRRE, 1999).



Fig.1 Resíduo Sólido Urbano - De problema a Vantagem

Descrição das etapas de Implantação do Sistema AAA Integral de Tratamento de RSU

Etapa Inicial: A fração orgânica é separada na fonte e tratada para produzir biogás e húmus. Para aproveitamento da fração inorgânica, inicia com coleta de dados sociais, ambientais e econômicos, com levantamento de dados de clientes potenciais. Para a comercialização da sucata, deve-se realizar uma pesquisa de mercado, por técnicos apropriadamente treinados (e com amostras), para determinar quantidade, qualidade e preços de materiais a separar da fração inorgânica.

Custo de transporte, preços de sucata, indústrias a serem beneficiadoras do material, diagnóstico ambiental, social e econômico. Inicia capacitação e treinamento geral do pessoal. Testes de aptitudes e habilidades. Início de grandes mudanças nos hábitos e forma de vida. Conclusão de estudos e início das instalações produtivas. A fração Inorgânica é classificada manualmente para os materiais que tem mercado, com o resíduo para aterro (vide Figura 2). Cria condições favoráveis para a operação da Usina em forma sustentável, com arranjos produtivos locais, cooperação e solidariedade, associativismo, criação de parcerias, espírito de iniciativa e soluções criativas dos problemas para os transformar em vantagens, criando condições favoráveis para a segunda etapa.

Etapa Intermediária: Consolidar tecnologias e ampliar mercados. Criar condições favoráveis para a terceira etapa, como um círculo virtuoso, que fomente as grandes virtudes humanas, como o altruísmo, a ética, a colaboração e ajuda mútua. A formação de consórcios de prefeituras pequenas para trabalho conjunto colaborativo é vantajoso.

Analogamente à primeira etapa, um trabalho de conquista de parceiros deve ser realizada, assim como estudos de quantidade de matéria prima (sucata) requerida pelas indústrias parceiras e as vantagens de dispor de energia elétrica, térmica e serviços centralizados.

Etapa Final: Consolidar parcerias, atraindo empresas para a construção de um complexo fabril baseado na colaboração empresarial para benefício mútuo com vantagens coletivas, como serviços e facilidades comuns, comercialização, etc. (Fig.3).

As etapas são cumulativas, assim como as instalações e aportes de capital. Entre a etapa inicial e a final do sistema AAA integral de tratamento de RSU, existe toda a gama de soluções possíveis, sempre de acordo com as condições locais. Simular o desempenho do sistema de tratamento, com configuração tão variável e envolvendo tantas opções possíveis, é tarefa de cada caso, seguindo a metodologia geral aplicada a continuação, de modo que a experiência seja cumulativa e facilmente adaptável a novas condições.

O sistema AAA é flexível, levando sempre em consideração as condições e prioridades locais. Na primeira etapa (vide Fig.2), somente a parte comercializável da fração inorgânica é separada, com o material residual para aterro (geralmente é considerado que até 30% da fração inorgânica pode ser reciclada). Na etapa intermediária, encontrando novos clientes e incorporando novas tecnologias, progressivamente mais material será comercializado.

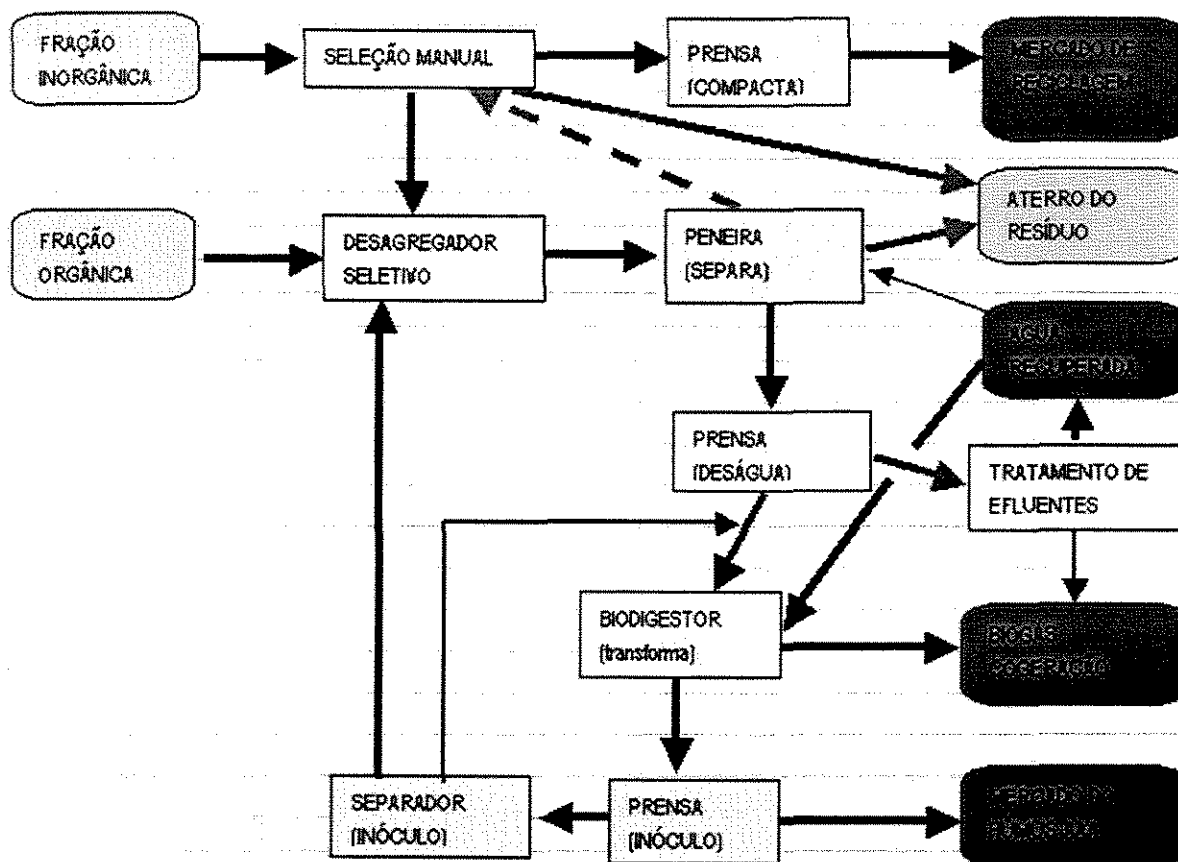


Figura 2 – Sistema AAA de tratamento de RSU, etapa inicial.

• Tratamento AAA da fração inorgânica

- Essencial para o processo é a adequada triagem manual do material antes da compactação.
- Seleção manual deve ser final, separar não somente o que é plástico, mas cada tipo separado.
- Material compactado é processado mecanicamente para transformação em produto de qualidade.
- Impurezas depreciam material, provocam perdas de tempo produtivo e de material.
- Rejeitos da depuração e da seleção manual devem ter destino não poluente definido.
- Na etapa final, o material é processado industrialmente para ser transformado em produto de qualidade.

• Tratamento AAA da fração orgânica

- Essencial para o processo é a adequada separação do material perigoso antes da desagregação.
- O tratamento da fração orgânica resulta em biogás e húmus.

A fração orgânica requer tratamento mais complexo para acelerar a decomposição, obter processos controláveis e produtos de qualidade certificada. A matéria orgânica é desagregada em fase líquida e depois separa numa peneira o material que foi desagregado (mole) do que ficou inteiro e vai para aterro como resíduo. Na etapa final, é moído, hidrolisado e digerido.

O material desagregado é desidratado e após mistura com inóculo, alimenta o digestor, que produz biogás e húmus.

O húmus é lavado para recuperar as bactérias para o processo. O biogás é usado como combustível para gerar energia elétrica para o processo e venda (PROINFA) e o calor residual é usado no processo. Se tiver excedente de biogás, deve ser depurado para ser comercializado. O húmus é desidratado e comercializado segundo mercado e tipo (uso agrícola, uso industrial, combustível sólido). A água recuperada no tratamento de efluentes pode ter uso agrícola ou industrial, com tratamento adicional se necessário. O resíduo para aterro será livre de material putrescível pelo que sua disposição final será menos onerosa e, também, será cada vez menor, a medida que sejam encontrados usos e aplicações econômicas para cada material presente no RSU.

Comentários

A simulação do processo deve tomar em conta os resultados e experiências obtidas até agora. Como resulta muito onerosa a coleta seletiva em 4 grupos, a alternativa de coleta seletiva em dois grupos aparece como a mais simples de adotar, mesmo que requer seleção manual intensiva.

A população separa o RSU em dois grupos, para coleta seletiva:

- * materiais orgânicos (úmidos), compostos por restos de alimentos e materiais não recicláveis (líquidos). Devem ser acondicionados em um único contêiner e coletados pelo sistema de coleta de lixo domiciliar regular; e,

- * materiais recicláveis (secos, compostos por papéis, metais, vidros e plásticos). Devem ser acondicionados em um único contêiner e coletados nos roteiros de coleta em caminhões não compactadores.

Até hoje, o ideal de que o processo seja sustentável não se tem conseguido. Em países altamente desenvolvidos, com melhor eficiência organizacional dos serviços públicos e adequada continuidade administrativa, a reciclagem funciona subsidiada pelo poder público. Modelo de simulação usado na Suécia, prevê que para 2005 não mais será usada a reciclagem, favorecendo a incineração (Ljunggren, 1997).

No sistema AAA, o modelo mostra que o faturamento tem uma melhora substancial se conseguir a integração fabril (Fig.3), seja como parcerias ou em forma direta, conseguindo não somente a sustentabilidade, mas gerando importantes recursos, integrando à cidadania os catadores e sem poluição ambiental.

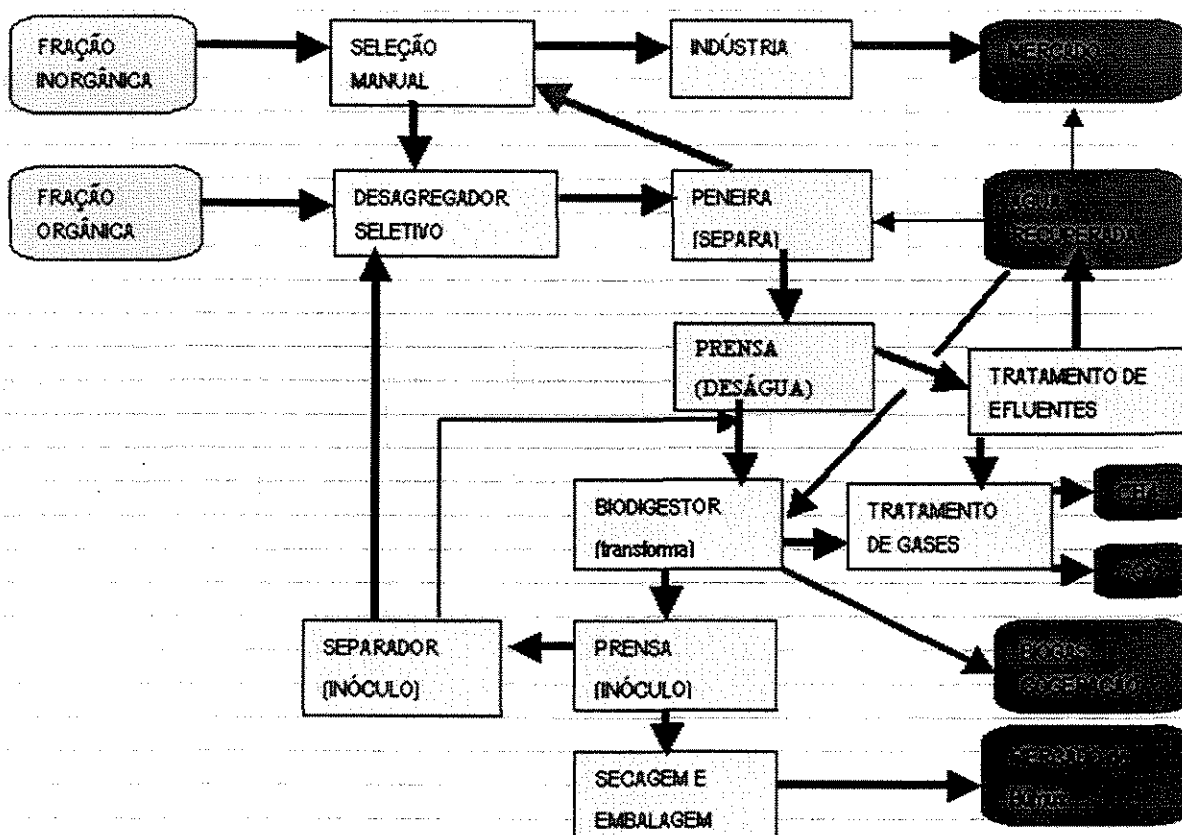


Figura 3 – Sistema AAA de tratamento de RSU, etapa final.

RESULTADOS ESPERADOS DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA AAA

O Sistema Integral AAA de tratamento de RSU transforma o RSU, de problema em vantagem. A qualidade de vida da população é melhorada, promovendo o asseio da cidade, o aproveitamento do material, a agricultura e produção de alimentos sem tóxicos, água sem contaminantes, rios sem assoreamento, no mais enchentes, melhor qualidade do ar, solo estável e sem contaminantes, a criação de novos postos permanentes de trabalho, o avanço econômico, a proteção da saúde pública e a melhora substancial do ambiente em forma sustentável e com segurança operacional.

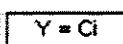
Diagrama de Blocos do programa de Simulação de desempenho do sistema AAA

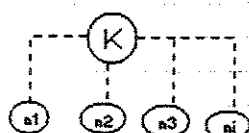
Não existe padronização geral dos blocos significativos. Cada autor tem sua própria simbologia. Vide Fig.4 para significado dos símbolos usados. O diagrama de bloco é uma ferramenta que facilita a visualização do método escolhido para resolver o problema, na forma dos passos de sequência lógica a executar para satisfazer o objetivo.

Sequências simples são fáceis de serem seguidas, mas se forem mais complicadas, é fácil se perder sem ver o fluxo.

O diagrama deve indicar, de forma clara e concisa, todas as fases do método de resolução proposto. O diagrama de fluxo ajuda na documentação do programa para utilização futura e possíveis alterações e complementações do programa. Para fazer o diagrama de blocos, devem-se escolher os blocos de acordo com seu significado.

Significado dos símbolos usados (Fig.4)

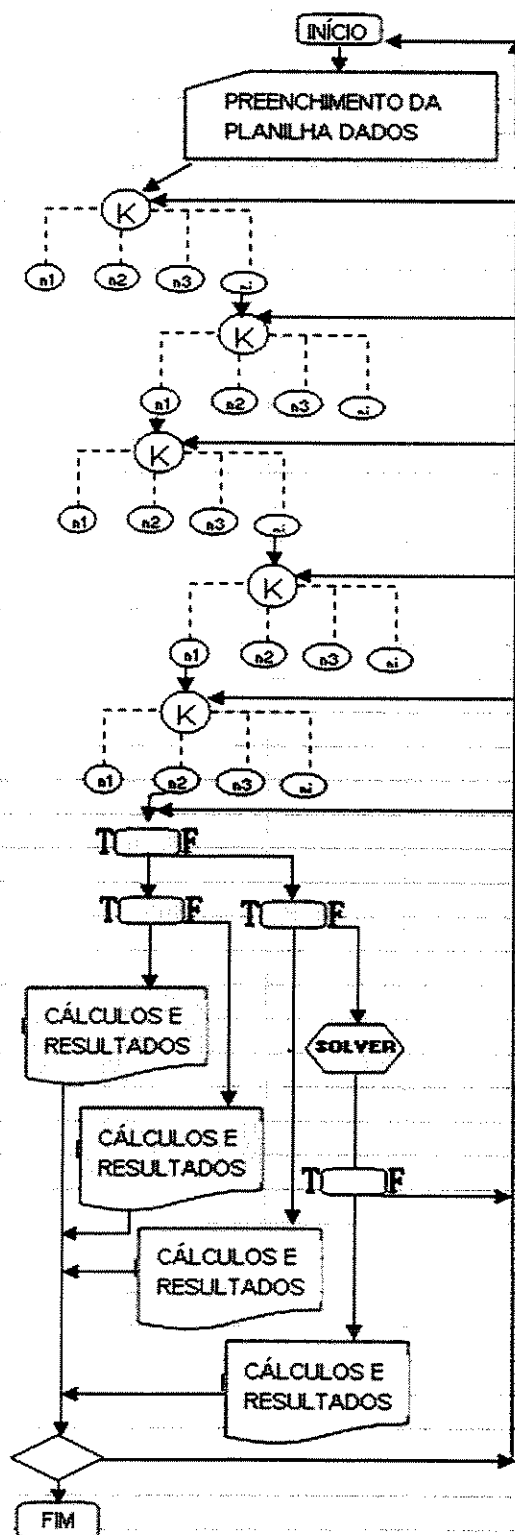
	Indica o processamento de algum cálculo que deve ser escrito dentro do retângulo. Para Excel, este passo não foi seguido, pois na célula de resultado geralmente está contida a equação do cálculo.
	Indica entrada e saída de dados via seus respectivos equipamentos
	Indica decisão a ser tomada.
	Indica a conexão entre dois pontos em um programa, onde uma linha não pode ser traçada, como a continuação em outra página, e n é um número.
	
	Indica a conexão entre um ponto do programa e outros, dependendo do valor da variável Y, em que Y toma valores inteiros.
	Tem dois significados: a) chama um sub- programa da Biblioteca, b) execução repetida e controlada, de certo número de declarações.
	Indicam direção de escoamento.
	
	Indicam Início ou Fim de um programa.
	Entrada de dados.
	Listagem de resultados.
	Entrada sequencial de dados.
	Indica condições ou decisões (T = True; F = False).



K é uma variável inteira usada como chave e ni são os valores que K pode tomar.

Fig.4 Significado dos símbolos gráficos usados

Fluxograma do Programa de simulação (Fig. 5)



A coleta de dados relevantes e confiáveis é crítica para confiabilidade dos resultados, obtidos instantaneamente após introduzir toda a informação. Os resultados são visualizados em diferentes planilhas, segundo necessário. Alguns dados são de iteração ou ajuste com o Solver, que é apenas um recurso auxiliar na otimização de resultados.

A complexidade dos sistemas de tratamento e as múltiplas opções exigem uso de parâmetros de controle para facilitar e automatizar as escolhas da sequência de cálculos.

A escolha de opções pode ser automática, com barra de rolagem, ou manual, com escolha de um parâmetro de controle que representa a opção escolhida.

Os operadores "SE", "E" e "OU" permitem definir cálculos alternativos, segundo valores dos parâmetros de controle.

O Solver é um arquivo da biblioteca interna do Excel que permite ajuste de variáveis para satisfazer condições previamente definidas.

As mesmas células de cálculo do Excel permitem exibir o resultado.

A análise dos resultados pode ser automática ou pelo usuário, para decidir outros cálculos ou analisar outras opções, ou mudar dados.

Podem ser usadas MACROS para automatizar cálculos.

A análise dos resultados pode ser automática ou pelo usuário, para decidir finalizar os cálculos ou analisar outras opções, ou mudar

Fig. 5 Fluxograma do Programa de simulação

Caixa de diálogo Opções do Solver

O Solver é uma função do Excel que facilita ajustar parâmetros para achar soluções que satisfazem certas restrições. Pode-se controlar os recursos avançados do processo de solução, carregar ou salvar definições de problemas e definir parâmetros para os problemas lineares e não lineares. Cada opção tem uma definição padrão adequada à maioria dos problemas.

Tempo máximo

Limita o tempo usado pelo processo de solução. Apesar de você poder fornecer um valor tão alto quanto 32.767, o valor padrão de 100 (segundos) é o mais adequado para grande parte dos pequenos problemas.

Iterações

Limita o tempo utilizado pelo processo de solução, restringindo o número de cálculos provisórios. Apesar de poder-se fornecer um valor tão alto quanto 32.767, o valor padrão de 100 (segundos) é o mais adequado para grande parte dos pequenos problemas.

Precisão

Controla a precisão das soluções utilizando o número que você forneceu para determinar se o valor de uma célula de restrição alcançou a meta ou satisfaz a um limite superior ou inferior. A precisão deve ser indicada por uma fração entre 0 (zero) e 1. Uma precisão maior é indicada quando o número fornecido possui mais casas decimais — por exemplo, 0,0001 tem mais precisão do que 0,01.

Tolerância

A porcentagem através da qual a célula de destino de uma solução atendendo às restrições de número inteiro pode divergir do valor ideal e ainda ser considerada aceitável. Esta opção é aplicada somente aos problemas com restrições de número inteiro. Uma tolerância mais alta tende a acelerar o processo de solução.

Convergência

Quando a mudança relativa no valor da célula de destino é menor que o valor das cinco última iterações na caixa Convergência, o Solver é interrompido. A convergência é aplicada apenas aos problemas não lineares e deve ser indicada por uma fração entre 0 (zero) e 1. Uma convergência menor é indicada quando o número fornecido tem mais casas decimais — por exemplo, 0,0001 tem uma mudança relativa menor que 0,01. Quanto menor o valor da convergência, mais tempo será necessário para o Solver encontrar uma solução.

Presumir modelo linear

Selecione para acelerar o processo de solução quando todas as relações no modelo forem lineares e você desejar resolver um problema de otimização linear.

Mostrar resultados de iteração

Selecione para instruir o Solver a interromper e exibir os resultados de cada iteração.

Usar escala automática

Selecione para usar a escala automática quando as entradas e saídas tiverem tamanhos muito diferentes — por exemplo, quando a maximização da porcentagem de lucros estiver baseada em investimentos de milhões de dólares.

Presumir não negativo

Instrui o Solver a presumir um limite mínimo de 0 (zero) para todas as células ajustáveis para as quais você não definiu um limite mínimo na caixa Restrição da caixa de diálogo Restrição.

Estimativas

Especifica a abordagem usada para obter as estimativas iniciais das variáveis básicas em cada pesquisa unidimensional.

Tangente Usa a extrapolação linear de um vetor tangencial.

Quadrática Usa a extrapolação quadrática, que pode melhorar os resultados em problemas altamente não-lineares.

Derivadas Especifica a diferenciação usada para estimar derivadas parciais das funções de objetivo e de restrição.

Adiante Use na maioria dos problemas em que os valores de restrição são alterados com relativa lentidão.

Central Use em problemas em que as restrições são rapidamente alteradas, principalmente perto dos limites. Embora essa opção requeira mais cálculos, pode ser útil usá-la quando o Solver retornar uma mensagem informando que ele não pode melhorar a solução.

Pesquisar Especifica o algoritmo que será usado em cada iteração para decidir em que direção pesquisar. **Newton** Usa o método quase-Newton que geralmente exige mais memória e bem menos iterações do que o método gradiente Conjugado. **Conjugado** Requer menos memória do que o método Newton, mas geralmente exige mais iterações para atingir determinado nível de precisão. Use esta opção quando houver um problema grande e a quantidade de memória disponível for uma preocupação, ou quando as várias iterações do processo de solução revelarem um progresso lento.

Carregar modelo

Exibe a caixa de diálogo **Carregar modelo**, em que você pode especificar a referência para o modelo que deseja carregar.

Salvar modelo

Exibe a caixa de diálogo **Salvar modelo**, em que você pode especificar onde deseja salvar o modelo. Clique nessa caixa somente quando você deseja salvar mais de um modelo com a planilha — o primeiro modelo é salvo automaticamente.

Para entrar caixa de seleção de dados em barra de rolagem:

Exibir / barra de ferramentas / formulários

Clic direito / formatar

Bases para desenvolver modelos

Discernimento do modelo: definir para que serve
composição e estrutura

construção e base com raciocínio lógico. Formulação matemática verificável. Equações matemáticas lógicas.

processos inclusos são adequadamente descritos.

Verificar se todos os processos especificados foram inclusos.

Examinar integridade do modelo. Análise do sistema. Relações entre as partes.

Modelos físicos estabelecem os processos a simular.

Modelo de blocos. Etapa útil para estabelecer relações entre as partes e o fluxo dos cálculos e informações.

Relação custo-benefício, de uso fácil, permite reprodução de condições otimizadas.

Pré-suposições apropriadas e estrutura lógica. Prever consequências e avaliações e inferências adequadas ao uso.

Para o modelo

compreender o sistema a modelar e estabelecer objetivos do modelo

estabelecer plano para satisfazer objetivo do modelo

executar plano

verificar adequação da resposta: satisfaz objetivo?

considerar dados disponíveis

equações: relações entre dados e incógnitas

testes numéricos: verificação dos resultados

ajustes para adequar respostas à potencialidade de usos: validação

estabelecer condições de uso.

Validação: como estabelecer dados desde experimentos: Normas usadas.

Simulação deve considerar :

rendimento esperado

destino do resíduo gerado

uso de água

uso de EE

uso de energia térmica

qualidade de efluentes sólidos, líquidos e gasosos

formulários a preencher para instalar empreendimento e requisitos a cumprir

estimativa real de custo operacional

estimativa de lucro

equipamentos necessários e tamanho

solicitação de orçamentos

Para licenciamento ambiental

Caminho crítico do processo de licenciamento

documentos requeridos

como preparar e adequar condições que devem ser satisfeitas

como controlar morosidade do processo de licenciamento (até 5 anos). Satisfazer todos os requerimentos.

Órgão licenciador: diálogo produtivo.

Legislação e Licenciamento

O conteúdo da legislação ambiental, a nível nacional, aí incluindo a legislação estadual e municipal (as leis orgânicas dos municípios seria suficiente para o controle da poluição desde que houvesse um maior rigor na aplicação dos dispositivos legais existentes. O poder público em suas diversas formas tem contribuído de forma significativa para minimizar os problemas ambientais existentes tendo ultimamente agido com maior rigor não só por um maior nível de conscientização dos seus técnicos, cada vez mais capacitados, como também em função das pressões exercidas pela comunidade através do Ministério Público, em níveis Estadual e Federal.

A autoridade ambiental do município é a responsável pela concessão das Licenças ambientais de Saneamento. As Resoluções do CONAMA regulam as exigências para concessão de Licenças ambientais.

A Resolução nº 237, de 19 de dezembro 1997 define as Licenças Ambientais e condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas.

Valores típicos de instalações de triagem e compostagem (Tab.1) e erros a evitar.

Tabela A1 - Balanço de massa numa Usina de Triagem e Compostagem (convencional)

Composto orgânico	35%±5%
Recicláveis	10%±5%
perdas (água e CO ₂)	25%±5%
Rejeito para aterro	30%±5%

(Modificado de LIMA, 1995).

O potencial de contaminação proveniente de uma Usina de triagem e compostagem é consideravelmente menor que a de resíduos brutos, por ser os rejeitos inertes ou previamente estabilizados e não requerem os mesmos rigores de operação que no aterro de resíduos brutos. O benefício é uma solução ambientalmente mais segura, com certa redução esperada de custo por aterro. [Benefícios geralmente contra-balanceados por baixa densidade do rejeito].

Situação Brasileira

Levantamento em 1990 mostrou 37 municípios brasileiros usando o método natural de compostagem aeróbio, com 17 desativados, 5 em obras e 15 em operação. O método aeróbio acelerado era usado em 20 usinas de compostagem, com 7 paradas ou desativadas, 10 em obras e 3 operando (LIMA, 1995).

Erros a evitar - As usinas foram desativadas ou não entraram em operação (LIMA, 1995) pelos seguintes motivos:

- 1 Mal planejamento:** Disputa dos recursos pelos construtores com convicções técnicas e mercadológicas diferentes das necessidades dos municípios.
- 2 Falta de capacitação:** Para condução das atividades.
- 3 Erro de conceito das Usinas:** Não fazem desaparecer o lixo e requerem espaço para aterro dos rejeitos.
- 4 Geradoras de emprego:** Absorver catadores do lixo.
- 5 Falta de integração:** orçamentária, institucional e operacional das usinas com o serviço de limpeza pública local.
- 6 Local inadequado:** Problemas ambientais e rejeição ao seu funcionamento pela população afetada.
- 7 Expectativa errada de lucros do sistema:** Gastos são maiores que o faturamento do material reciclável.
- 8 Composto tóxico ou fora de especificação:** Má operação da Usina ou falha de projeto. Não prevista presença de metais pesados, não fixa limites máximos na legislação (com resíduos agrícolas não é problema, mas desde a matéria orgânica do lixo, deve ser considerada). Também aplicações sucessivas podem ter efeito acumulativo no solo.
- 9 Falhas de projeto:** Instalações erradas na concepção do projeto, incompletas, mal dimensionadas, equipamentos inadequados, alto custo de manutenção, falta de recursos, dificuldades de comercialização do composto.
- 10 Falta de continuidade administrativa** nas trocas de prefeitos e secretários municipais. (FERRUCCIO).

Não considerado, mas erro estratégico muito importante: segue a estratégia do menor custo em lugar de maximizar vantagens locais para sustentabilidade, como no sistema AAA, que transforma problemas em vantagens.

A2 - GLOSSÁRIO

[Voltar para Info Tecnológica](#)

Absorção = processo físico ou físico químico em que um material retém outro.

Aceito = fluxo principal de material depurado, após a depuração, que concentra os contaminantes no fluxo secundário, o rejeito. Neologismo em Português, palavra usada com novo significado para aceito, (admitido), igual que "accepts" em inglês e "aceptado" em espanhol, que admitem também o significado de material depurado.

Adensador ou espessador = tanque de sedimentação ou equipamento específico para aumentar a concentração de sólidos do lodo ou outro material com sólidos em suspensão.

Agenda 21 = documento aprovado na conferência da ECO 92, que estabelece um programa de ações para promover o desenvolvimento sustentável do planeta.

Agitadores = equipamentos mecânicos para criar turbulência em líquidos.

Água de Reuso = água utilizada mais de uma vez, após receber o tratamento adequado.

Alimentação = entrada ao sistema. Na depuração, é o fluxo alimentado ao depurador e é igual à soma do aceite (fluxo de material depurado) mais o rejeito (fluxo de material que concentra os contaminantes).

Análise de sistemas = atividade que se propõe estabelecer uma previsão do comportamento de um sistema devido ao conhecimento de suas diversas reações, por vezes impossíveis de serem manipuladas ou realizadas com antecedência. Apóia-se na representação da instantaneidade do sistema, expressa por uma série de funções e valores.

Aterro sanitário = processo de disposição do resíduo sólido na terra, sem causar moléstias nem perigo à saúde pública ou à segurança sanitária, mediante métodos de engenharia para confinar os despejos numa área, reduzi-los a um volume mínimo e cobri-los com uma capa de terra, segundo seja necessário.

Biodegradável = nomenclatura usada para materiais que podem ser decompostos por microrganismos.

Biogás = produto gasoso da fermentação anaeróbia, composto principalmente por dióxido de carbono e metano, e quantidades menores de outros gases, dependendo da composição do material orgânico transformado e a cinética do processo bioquímico de transformação; combustível.

Biossólido = é um rico adubo utilizado nas plantações agrícolas. Este fertilizante pode ser obtido através do tratamento adequado de parte do esgoto recolhido nas cidades.

Cadeia alimentar = é uma sequência ou "cadeia" de organismos em um ecossistema, no qual cada ser vivo se alimenta do organismo inferior. Em uma ponta da cadeia estão as plantas e na outra os animais carnívoros.

Chorume = líquido resultante da decomposição do lixo (SABESP, 2004b), preto e de odor desagradável, com elevado teor poluidor.

Composto = vide húmus.

Coleta Seletiva = espécie de cata tecnicamente programada e cuidadosamente realizada onde a recuperação chega até 25% e chama-se reutilização.

Decantação e sedimentação = separação de sólido de um líquido, ou líquidos imiscíveis de densidades diferentes, pela sedimentação do material mais denso, quando em repouso ou em

Decantador = tanque de separação sólido – líquido, ou líquido – líquido (inmiscíveis) por decantação. Uma lagoa e o mar podem ser considerados decantadores naturais, com lodo depositado no fundo. Também pode ser chamado Sedimentador.

Decomposição = transformação de um material complexo em substâncias mais simples, por meios químicos, térmicos ou biológicos.

Degradável: que pode ser decomposto pela natureza.

Desenvolvimento sustentável = processo produtivo que cuida simultaneamente dos aspectos ambientais, econômicos, sociais, culturais, territoriais e político-institucionais para satisfação das necessidades e aspirações de uma geração sem comprometer as gerações futuras.

Desidratação do lodo = processo de remoção de parte da água do lodo, por quaisquer meios (drenagem, evaporação, pressão, filtração, centrifugação, exaustão, calandragem, flutuação ácida, flotação por ar dissolvido), até uma condição que facilite sua disposição final.

Desinfecção = aplicação de agentes destruidores de microrganismos em um determinado meio, com a finalidade de desativar seres patogênicos.

digestão anaeróbia = transformação bioquímica da matéria orgânica em substâncias mais simples e estáveis (biogás e húmus) pela ação de organismos anaeróbios.

Digestão termofílica = fermentação realizada entre 45°C e 63°C.

Estação de transferência = As estações de transferência, ou transbordo, são locais onde os caminhões coletores vazam sua carga para transferi-la a veículos com carrocerias de maior capacidade que seguem até o destino final. Têm como objetivo reduzir o tempo gasto de transporte e conseqüentemente os custos com o deslocamento do caminhão coletor desde o ponto final do roteiro até o local de disposição final do lixo. Esta solução costuma ser empregada quando as áreas disponíveis para disposição do lixo se encontram muito afastadas dos locais de coleta

Estação de tratamento de esgoto ou efluentes = ETE = conjunto de dispositivos, estruturas, instalações e equipamentos para tratamento e disposição final de águas residuárias (com material fecal) e lodo.

Estocásticos = modelos matemáticos que aplicam cálculo de probabilidades e dados estatísticos para efeitos de causas acidentais.

Estudos Ambientais = são todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados a localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco (CONAMA 1997).

Fermentação = processo pelo qual uma substância se transforma em outra por meio da ação de determinados microorganismos.

Gasômetro = reservatório de acumulação de gás.

Húmus = composto aeróbio ou anaeróbio. Resíduo sólido do tratamento biológico da matéria orgânica, bio-estabilizado e mineralizado, de cor escura e rica em partículas coloidais que, quando aplicada ao solo, melhora suas características físicas, químicas e biológicas para uso agrícola.

Impacto ambiental = estuda perigo potencial do processo produtivo sobre o ambiente. O estudo deve incluir medidas mitigadoras e na desativação do empreendimento as medidas para recuperar ambientalmente a área degradada. Também pode ser impacto positivo, melhorando uma situação existente.

Inoculação do substrato = introdução de microrganismos biologicamente ativos no substrato.

Licença Ambiental = ato administrativo pelo qual órgão ambiental competente, estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental (CONAMA, 1997).

Licenciamento Ambiental = procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as dispersões legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso.

Lixo = lixo é tudo aquilo que não se quer mais e se joga fora; coisas inúteis, velhas e sem valor (Dicionário de Aurélio Buarque de Holanda). 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 (ABNT, 2004). Lixo é todo material sólido ou semi-sólido indesejável e que necessita ser removido por ter sido considerado inútil por quem o descarta, em qualquer recipiente destinado a este ato. (MONTEIRO, 2004). São os restos e sobras jogados fora, originadas de atividades humanas. A origem é o principal elemento para a caracterização dos resíduos sólidos. (condensado, MAS, 2004).

Lixo residencial = resíduos sólidos gerados nas atividades diárias em casas, apartamentos, etc.

Lixo comercial = é aquele produzido em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade ali desenvolvida

Lixo público = são os resíduos da varrição, capina, raspagem, etc., provenientes dos logradouros públicos (ruas e praças, por exemplo), bem como móveis velhos, galhos grandes, aparelhos de cerâmica, entulho de obras e outros materiais inservíveis deixados pela população, indevidamente, nas ruas ou retirados das residências através de serviço de remoção especial

Lixo de fontes especiais = é aquele que, em função de determinadas características peculiares que apresenta, passa a merecer cuidados especiais em seu acondicionamento, manipulação e disposição final, como por exemplo o lixo industrial, o hospitalar e o radioativo.

Lixo domiciliar = lixo doméstico + comercial

Lodo = sólidos acumulados e separados do líquido, depositados no fundo do decantador.

Método = procedimento sistematizado para realizar bem uma tarefa.

Modelo matemático ou de simulação = tem por finalidade traduzir conceitos físicos, químicos, térmicos e biológicos de qualquer sistema num conjunto de relações matemáticas e manejo dos sistemas obtidos deste modo. Serve para a análise dos sistemas.

Processo produtivo = define o uso do conjunto de procedimentos e recursos (mão de obra, matéria prima, maquinário, tecnologia, energia, etc) para transformar a matéria prima em produtos.

Putrefação = decomposição biológica de matéria orgânica, associada a condições anaeróbias, com formação de cheiro desagradável.

Putrescibilidade = propriedade de ser putrescível, ou descompor por ação de microrganismos.

Reciclagem = é a obtenção de material a partir de resíduo, introduzindo-o novamente no ciclo de produção. Esse material é novamente transformado em produtos comercializáveis no mercado de consumo.

Rejeito = fluxo de material que concentra os contaminantes após a depuração.

Resíduo orgânico não biodegradável = substância orgânica que não pode servir de alimento a nenhum ser vivo. Geralmente são produtos sintéticos e poluentes: plásticos, pesticidas, herbicidas, inseticidas, detergentes.

Resíduo sólido = despejo sólido, resto remanescente putrescível (exceção dos excrementos) e não putrescíveis, que incluem papel, papelão, latas, material de jardim, madeira, vidro, cacos, trapos, lixo de cozinha e resíduos de indústria e até aparelhos imprestáveis. É altamente poluente.

Salubridade Ambiental = qualidade ambiental capaz de prevenir a ocorrência de doenças veiculadas pelo meio ambiente e de promover o aperfeiçoamento das condições mesológicas favoráveis à saúde da população urbana e rural.

Saneamento = conjunto de ações, serviços e obras que têm por objetivo alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental, por meio do abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos líquidos, sólidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso e ocupação do solo, drenagem urbana, controle de vetores de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializados.

Saneamento Básico = ações, serviços e obras considerados prioritários em programas de saúde pública, notadamente o abastecimento público de água e a coleta e tratamento de esgotos. (SÃO PAULO, 1992).

Sistema = um sistema é descrito como um conjunto de elementos inter-relacionados que funcionam no tempo, de acordo a um propósito, que é o objetivo do sistema.

Sistema Integral AAA de tratamento de RSU = é o conjunto de processos de coleta, triagem e transformação do RSU, com o propósito de realizar seu tratamento e disposição final adequada às condições locais. Permite manejar o RSU como matéria prima secundária, para, através de diferentes processos de seleção, depuração e produção, obter uma variedade de produtos para a indústria, a construção e o comércio

Sólidos totais = soma dos constituintes dissolvidos ou não em água ou outros líquidos, após secagem a 105^oC.

Sólidos voláteis = quantidade de sólidos perdidos por calcinação dos sólidos totais a 550^oC.

Sustentabilidade ambiental = projeto produtivo respeita o ambiente, evitando destruição do equilíbrio entre os diversos subsistemas de vida. Evita a perda da riqueza biológica.

Sustentabilidade cultural = projeto produtivo que evita a perda da riqueza cultural da região. Respeita valores culturais.

Sustentabilidade econômica = projeto produtivo capaz de gerar lucro no curto e longo prazo.

Sustentabilidade social = projeto produtivo deve incorporar em forma ativa a população local, sem marginalizar ou expulsar ela.

Sustentabilidade territorial = projeto produtivo evita conflito com regiões vizinhas por concentração pontual no território.

Taxa de Rejeito = R = fração em peso, $R = r / F$, que expressa a relação entre o fluxo de material rejeitado, r , por um depurador e o fluxo de sua alimentação, F .

Tratamento = aplicação de processos e técnicas para modificar uma condição.

Tratamento aeróbio = estabilização de resíduos pela ação de microrganismos na presença de ar ou oxigênio elementar, com produção de CO₂ e húmus.

Tratamento anaeróbio = estabilização de resíduos pela ação de microrganismos na ausência de ar ou oxigênio elementar, com produção de biogás e húmus.

A3 - Folha de Dados

Voltar P Info Tecnológica

- Lembre-se, para obter resultados confiáveis, deve-se usar dados confiáveis

- Entrada de dados no quadro amarelo correspondente ou na barra de rolagem (usar as setas e clicar na seleção).

- A planilha está protegida contra erros na entrada de dados. Se o dado não estiver em um quadro amarelo, ou na estiver na faixa de valores esperados, será rejeitado!

- Opção Escolha de Língua:

English
Português

Aspectos sociais

- Cidade: Ribeirão Preto SP
- População beneficiada: habitantes 504.250
- Quantidade de pessoas requeridas para adequada triagem do material: pessoas /t 14,12
- A cidade deve fazer EIA/RIMA p Licenciamento Ambiental (Res. 237/97 Legal/CONAMA)

Aspectos Técnicos

- Breve caracterização do resíduo a ser tratado.

• resíduos domiciliares e de limpeza pública	Sim
• Implantação de coleta seletiva de RSU	atualmente só 20% da cidade
• Vida útil estimada do empreendimento (maior de quinze anos).	Indefinida
• Descrição do local, incluindo as características hidrogeológicas.	Preparar Relatório Ambiental Preliminar.

• Aspectos Econômicos	Descrição da Matéria Prima	Qtd.	Preço	Distância
Principais indústrias clientes	Info Georeferenciada?	Kg/dia	R\$/kg	Km
•	Biogás			
•	E. Elétrica			
•	• papelão			
•	• papel fino			
•	• aço			
•	• alumínio			
•	• vidro incolor			
•	• vidro colorido			
•	• plástico rígido			
•	• PET			
•	• filme plástico			
•	• Tetrapack			
•	• Água			

• Agricultores clientes	Qtd.	Preço	Distância
	Kg/dia	R\$/kg	Km
•	Húmus		
•	Calor para secagem grãos		
• Opção Tecnologia a usar	Recuperação energética	Sistema AAA integral de tratar	7
• Coleta diária total.	Sistema AAA integral de tratamento		
• Reciclagem seco	• Mín / Máx	40%	40%
• Reciclagem úmida		100%	100%
• Tipo substrato	Resíduo Sólido Urbano	Vide Digestão	0
• % resíduo orgânico como húmus	• Supoe não muda composição do biogás		12,2%

- Valor do Dólar em Reais
- Opção Dólar ou Real

Dólar US\$

Real R\$

3
1

Opção composição

	3	0	1	2	3	4	5
Composição RSU	R. Preto M	Centro	Min Res	Brasil	R. Preto M		
• Matéria orgânica mole	18,6%	33,7%	33,0%	38,30%	18,63%		
• Matéria orgânica dura	12,2%	0,0%			12,24%		
• papelão	3,4%	5,8%	30,0%	16,77%	3,39%		
• papel fino	5,2%	11,0%			5,16%		
• aço	3,6%	0,4%	1,0%	1,04%	3,59%		
• alumínio	0,8%	0,6%			0,77%		
• vidro incolor	0,0%	0,0%			0,00%		
• vidro colorido	0,9%	1,2%	1,0%	1,24%	0,89%		
• plástico rígido	9,2%	6,4%	5,0%	12,63%	9,19%		
• PET	0,0%	0,0%			0,00%		
• filme plástico	6,4%	6,2%			6,40%		
• Tetrapack	1,8%	0,4%			1,85%		
• Água	22,4%	22,4%	27,0%	22,36%	22,36%		
• Outros	15,5%	11,8%	3,0%	7,25%	15,53%		
Total	100,0%	100,0%	100,0%	99,59%	100,00%		

• Preços segundo etapa de implantação

• Preços devem ser atualizados para o local em estudo. Considerar custo de transporte.

Opção

Intermediária

Final

Vide Info Tecnológica

• Etapa de implementação:

Etapa intermediária

2

• Etapa implementação:

	2	0	1	2	3	4	5
Produtos	Preço	Preço	Preço	Preço	Preço	Preço	Preço
Unidades	R\$/ton	R\$/t	R\$/t	R\$/t	R\$/t	R\$/t	R\$/t
• <u>Metano *</u>	324,29	324,29	324,29	324,29	324,29		
• CO2	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00		
• Húmus	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00		
• papelão	204,67	204,7	204,67	204,67	800,00		
• papel fino	388,06	388,1	388,06	388,06	900,00		
• aço	178,64	178,6	178,64	178,64	5000,00		
• alumínio	3126,67	3126,7	3126,67	3126,67	50000,00		
• vidro incolor	64,50	64,5	64,50	64,50	1000,00		
• vidro colorido	45,67	45,7	45,67	45,67	1000,00		
• plástico rígido	434,44	434,4	434,44	434,44	3000,00		
• PET	722,33	722,3	722,33	722,33	10000,00		
• filme plástico	278,89	278,9	278,89	278,89	5000,00		
• Tetrapack	63,50	63,5	63,50	63,50	500,00		
• Água	0,10	0,10	0,10	0,10	1,00		

* Comgás: GNV R\$/m3:

0,454 www.comgas.com.br/

CH4/gás:

92% volume

• Etapa implementação:	2	0	1	2	3	4	5
Produtos	Pureza	Pureza	Pureza	Pureza	Pureza	Pureza	Pureza
Unidades	% peso	% peso	% peso	% peso	% peso	%	%
• Metano*	0,81		40%	80,70%	90,000%		
• CO2	0,99		60%	99,00%	99,000%		
• Húmus	0,96		70%	96,00%	96,000%		
• papelão	0,99		90%	99,00%	99,900%		
• papel fino	1,00		99%	99,90%	99,999%		
• aço	0,99		99%	99,00%	99,999%		
• alumínio	1,00		99%	99,90%	99,999%		
• vidro incolor	0,98		96%	98,00%	99,999%		
• vidro colorido	0,98		90%	98,00%	99,999%		
• plástico rígido	0,99		99%	99,00%	99,900%		
• PET	1,00		99%	99,99%	99,999%		
• filme plástico	1,00		99%	99,90%	99,900%		
• Tetrapack	0,99		90%	99,00%	99,900%		
• Água	0,93		93%	93,00%	99,900%		

• **Geração de lixo/pessoa/dia** 0,35 a 1 Brasil 0,6 0,9

Mais pobre, gera menos resíduo, mas com maior conteúdo orgânico.

• Etapa implementação:	2	1	2	3
• Impostos Totais	30,00% %	30%	30%	35%
• Catadores* <u>Referência</u>	14,12 pessoas/t	(material recuperado para reciclagem)		
• Catadores / esteira	20 pess/estêh	84,19 t/d inorgânico		
• Área / esteira selet	50 m ² / esteira			
• Área requerida	745,625 m ²			
• Quantidade esteiras	15			
• Gás Natural	324,29 R\$/t	Comgas.		
• Gás Natural	0,454 R\$/m ³	<www.comgas.com.br/pt/gas_natural/composicao.asp>		

• Fonte dos dados

* Cooperlânea. Paulínia: 80 postos de trabalho para triagem de 170t/mês. ISSO 14001. Maio, 2004.

Composição do RSU

P. Opção1: Potencial de **Minimização de Resíduos** Sólidos Domésticos em termos de Matéria Orgânica e Embalagens.

Profa.Dra.Eglé Novaes Teixeira et alii. 1998. Unidade foi suposta igual a 27%, descontada de Orgânico Resíduos vegetais (15%) foi somada a Orgânico. Em outros (14%) está incluso 9% Perigosos.

P. Opção2: Média de diversas fontes no Brasil. (Orgânicos "duros"=couro, madeira, trapos).

Para Opção3 Cardoso V.A. e Teixeira E.N. Análise RS Ribeirão Preto. 1999. Comun. Pessoal Jul.2004.

Composição do RSU internacional

Tab 5. Manual de Gerenciamento IBAM RJ2001

www.cempre.org.br CEMPRE informa preços material reciclável; março/abril 2004

Os preços dos materiais recicláveis experimentam variações regionais maiores que o esperado estatisticamente.

Um mapa mostrando as distâncias até os pontos de consumo (transporte) pode ajudar a entender o porque.

Preço do material reciclável* <www.cempre.org.br> março/abril 2004

	Papelão	Papel Branco	Latas de Aço	Alumínio	Vidro Incolor	Vidro Colorido
Ba. Salvador	200	350	190	3.000	80	40
D.F. Brasília	130	260	70	2.800	30	30
E.S. Vitória	100	401,5	57,8	3.000	40	20
M.G. Itabira	250	450	290	3.700	78	53
Pr. Curitiba	200	560	190	3.230	40	40
R.S. Porto Alegre	360	480	40	3.000	40	40
S.P. Santo André	150	300	280	3.300	140	50
S.P. Santos	230	400	150	3.000		70
S.P. São José dos Campos	222	291	340	3.110	68	68

Análise estatístico dos preços

Voltar

Média BRASIL	204,7	388,1	178,6	3126,7	64,5	45,7
Erro padrão	25	33	36	87	13	5
Mediana	200	400	190	3000	54	40
Modo	200	#N/A	190	3000	40	40
Desvio padrão	76	98	109	260	36	16
Variância da amostra	5836	9650	11927	67575	1304	271
Curtose	1	-1	-1	3	2	-1
Assimetria	1	0	0	1	1	0
Intervalo Mínimo Máximo	260	300	300	900	110	50
Mínimo	100	260	40	2800	30	20
Máximo	360	560	340	3700	140	70
Soma	1842	3493	1608	28140	516	411
Contagem	9	9	9	9	8	9
Maior(1)	360	560	340	3700	140	70
Menor(1)	100	260	40	2800	30	20
Nível de confiança(95,0%)	59	76	84	200	30	13

Preço do material reciclável* <www.cempre.org.br> março/abril 2004

	Plástico Duro	PET	Plástico Filme	Longa Vida
Ba. Salvador	400	700	400	
D.F. Brasília	220	500	90	20
E.S. Vitória	500	751	200	90
M.G. Itabira	570	900	590	12
Pr. Curitiba	500	750	200	70
R.S. Porto Alegre	550	800	280	25
S.P. Santo André	650	850	250	100
S.P. Santos	270	500	200	60
S.P. São José dos Campos	250	750	300	131

Análise estatístico dos preços

Voltar

Média BRASIL	434,4	722,3	278,9	63,5
Erro padrão	52	46	48	15
Mediana	500	750	250	65
Modo	500	500	200	#N/A
Desvio padrão	156	139	145	43
Variância da amostra	24378	19452	20886	1810
Curtose	-2	0	2	-1
Assimetria	0	-1	1	0

Análise estatístico dos preços (continuação)

Intervalo Mínimo Máximo	430	400	500	119
Mínimo	220	500	90	12
Máximo	650	900	590	131
Soma	3910	6501	2510	508
Contagem	9	9	9	8
Maior(1)	650	900	590	131
Menor(1)	220	500	90	12
Nível de confiança(95,0%)	120	107	111	36

Comentário: Variações de preços muito maiores que o esperado estatisticamente.

(Transporte)

CARACTERIZAÇÃO DO LIXO DOMÉSTICO DE RIBEIRÃO PRETO – SP

Referência dos dados:

Quem Vagner A. Cardoso vagneracardoso@yahoo.com.br
 O que Dados de composição do RSU e população de cada área amostrada
 Onde Bairros de Ribeirão Preto
 Quando 1999
 Como Dados por correio eletrônico e depois comunicação pessoal na Unicamp, Jul.2004.

Comentário: Antes de classificar os materiais, definir quais tem **interesse econômico**, para agrupar convenientemente.

Cálculos dos dados das amostras. O cálculo da média foi ponderado pela população da área amostrada.

População da área	40000	60000	20000	80000	200000		
Bairros	Centro da	B. Virginia	Marinceck	Virginia e outros		Média	Centro
Amostra	19/05/99	20/05/99	24/05/99	25/05/99	Soma fração	Cálculo	fração em peso
Composição	kg	kg	kg	kg	ponderada	% peso	% peso
Material orgânico	216	43	71	66	58362	29,18%	44,72%
Papel/papelão	28	5	3	9	6774	3,39%	5,80%
Vidro	6	1	1	3	1790	0,89%	1,24%
Lata de aço	2	6	3	2	2850	1,43%	0,41%
Alumínio	3	1	1	3	1541	0,77%	0,62%
Ferro		15			4327	2,16%	
Couro				10	2941	1,47%	
Plástico duro	15	9	5	21	10625	5,31%	3,11%
Plástico mole	30	11	8	21	12810	6,40%	6,21%
PVC	16	15	10	3	7754	3,88%	3,31%
Madeira		2		20	6459	3,23%	
Pano		3	8	45	15076	7,54%	
Embalagem Tetra PAK	2	4	5	6	3694	1,85%	0,41%
Fralda descartável	22	6	10	24	11831	5,92%	4,55%
Vegetação	55	43	3	6	19089	9,54%	11,39%
Terra	35	32	10	20	19231	9,62%	7,25%
Fezes de animal			13	10	4527	2,26%	
Papel fino	53	12	13	3	10318	5,16%	10,97%
Total	483	208	164	272	200000	100,00%	100,00%

Dados originais:

Cardoso V.A. Análise RS Ribeirão Preto. 1999. Comum. Pessoal Jul.2004.

Volume de amostra 1 m³ (não compactado)
Peso bruto da amostra 483,00 kg
Teor de Umidade estação seca 22,36% Com chuva até 40%
Bairro Centro da Cidade
Período noturno

Suposições usadas:

%Matéria putrescível = %matéria orgânica + %vegetação + %fezes - %umidade

%húmus (resíduo orgânico duro) = %couro + %madeira + %pau

Atribuída a mesma umidade a todas as amostras (sem mais dados de umidade).

%Plástico Rígido = %Plástico duro + % PVC

%Plástico Filme = %Plástico mole

Dados **agrupados segundo listas de preços** da sucata e dados de composição, aplicando suposições acima.

Composição do RSU de Ribeirão Preto		Média ponder	Centro
matéria putrescível		18,63%	33,75%
resíduo orgânico duro		12,24%	0,00%
papelão		3,39%	5,80%
papel fino		5,16%	10,97%
aço		3,59%	0,41%
alumínio		0,77%	0,62%
vidro incolor			
vidro colorido		0,89%	1,24%
Plástico Rígido		9,19%	6,42%
PET			
Plástico Filme		6,40%	6,21%
Tetrapack		1,85%	0,41%
água		22,36%	22,36%
outros		15,53%	11,80%
Total parcial		100,00%	100,00%

[Voltar para Dados Composição RSU](#)
[Voltar para Fonte dos dados](#)

Preços de Equipamentos		Valores em vermelho são HIPOTÉTICOS		
Lista de Equipamentos	R\$/u	capac.	unidades	potência
Fração Orgânica	Valores hipotéticos	bruta		elétrica, Kw
Sala desc. Subpressurizada	10.000	200.000	1 unidade	10
Rampa de descarga	500	10.000	1 unidade	2
Grade	1.000	100	1 unidade	
Esteira seletora	2.000	5.000	5,5 t/d	1
Eletroimã	1.000	3.500	1 unidade	1
Torre de alimentação	5.000	200.000	250 t/d	
Desagregador seletivo	10.000	800.000	300 t/d	200
Sistema de purga	1.000	100.000	35 t/d	50
Esteira seletora	2.000	5.000	5,5 t/d	10
Moinho Mat. orgânico duro	2.000	25.000	15 t/d	50
Bombas centrífugas	20.000	20.000	800 GPM	30
HDC desc. Automática	20.000	25.000	400 GPM	
Depurador pressurizado	20.000	750.000	250 t/d	
Peneira Vibratória	2.000	100.000	50 t/d	3
Esteira seletora	2.000	5.000	5,5 t/d	1
Prensa desaguadora	5.000	750.000	30 t/d	30
Sistema tratamento efluentes	40.000	100.000	2000 m3/d	

Preços de Equipamentos (Continuação)

Lista de Equipamentos	R\$/u		capac. unidades	potência	
Fração Orgânica	Valores hipotéticos		bruta	elétrica, Kw	
Alimentador	2.000	700.000	100 t/d	50	50
Digestor	5.000	100.000	300 t/d		
Sistema tratamento de gases	20.000	450.000	300 t/d		
Sistema tratamento húmus	20.000	275.000	300 t/d		
Laboratório análise	5.000	100.000	1 unidade		
Silo composto		200.000	250 m³		

Lista de Equipamentos	R\$/u	capac. unidades	potência
Total energia elétrica			438

Sistema de Controle Integrado:

Separadores de unidade					
Filtros coalescentes					
Filtro de carvão ativado					
Compressor de palhetas					
Transmissores de pressão					
Transmissores de temperatura					
Transmissores de vazão					
Transmissores de umidade					
Transmissores de concentração de S					
Almoxarifado	1.000	200.000	5000 m²		
Sistema de controle integrado	5.000	100.000	1 unidade	1	1

Fração Inorgânica	Valores hipotéticos				
Rampa de descarga	1.000	10.000	1 unidade	2	2
Esteiras seletoras	2.000	7.500	5,5 t/d	1	1
esteiras transportadoras	2.000	2.500	50 t/d	2	2
pressas enfardadoras	2.000	15.000	unidades		
fragmentadores	10.000	25.000	50 t/d	15	15
tratamento de resíduos	10.000	1.000.000	unidade		
secadores	5.000	250.000	250 t/d	10	10
unidades manufatureiras	1.000	5.000.000	cada unidades		
embalagem de produtos	1.000	150.000	n unidades		
Certificação de Qualidade	5.000	100.000	1 unidade		
Almoxarifado	1.000	200.000	n unidades		
Total					
custo de instalação		35%		200000	0,72 t/d
Estimativa do custo total da instalação				7.666.679	131,7

Dados de Composição da fração orgânica por balanço estequiométrico (composição química conhecida)

Composição química segundo Pohland (1985).

Método estequiométrico

Resíduo Sólido Urbano	$C_{39}H_{49}O_{11}N$	Resíduo Sólido Urbano
Papel, madeira	$C_{20}H_{31}O_{12}N$	
Alimentos	$C_{18}H_{27}O_{12}N$	
Celulosa	$C_6H_{10}O_5$	
Dados manuais		
Outros		

A4 - TRATAMENTO DOS DADOS DE ANÁLISE DE RSU

TABELA 1 Dados

População da área	40000	60000	20000	80000
Bairros	Centro Cid.	B. Virginia	Marinceck	Virginia e outros
Data da amostra	19/05/99	20/05/99	24/05/99	25/05/99
Composição	kg	kg	kg	kg
Material orgânico	216	43	71	66
Papel/papelão	28	5	3	9
Vidro	6	1	1	3
Lata de aço	2	6	3	2
Alumínio	3	1	1	3
Ferro		15		
Couro				10
Plástico duro	15	9	5	21
Plástico mole	30	11	8	21
PVC	16	15	10	3
Madeira		2		20
Pano		3	8	45
Embalagem Tetra PAK	2	4	5	6
Fralda descartável	22	6	10	24
Vegetação	55	43	3	6
Terra	35	32	10	20
Fezes de animal			13	10
Papel fino	53	12	13	3
Total	483	208	164	272

umidade 22,36% amostra do Centro da Cidade

Como todos os dados estão sujeitos a uma margem de erro, deve ser aplicada análise estatística para determinar a margem de erro da determinação científica. A teoria estatística permite obter as respostas apropriadas quando a variação é devida a chance somente.

Para material variável em composição, como o resíduo urbano, somente uma amostra de cada bairro permite antecipar uma margem de erro não calculável com uma só amostra, mas calculável em base a todas as amostras, supondo um comportamento aleatório das variações de composição, o que não é necessariamente verdade para todos os componentes, pois alguns dependem em maior grau do tipo de atividades desenvolvidas num bairro particular. Isso justificaria a inclusão do cálculo ponderado pela população do bairro, como uma forma de levar em consideração sua participação relativa no resultado total, comparando os resultados ao final.

Conhecidas as análises de amostras de RSU de bairros de população também conhecida, a composição atribuída ao conjunto, pode ser calculada por vários métodos:

- Soma das quantidades do mesmo componente em todas as amostras, dividindo pela soma total de amostras;
- Cálculo da média aritmética de cada porcentagem;
- cálculo ponderado pela população de cada área amostrada sobre a porcentagem de cada área.

Equações aplicáveis em cada método:

- a) Soma das quantidades do mesmo componente em todas as amostras, dividindo pela soma total de amostras, dada pela equação 1.

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_j x_{ij}}{\sum_i \sum_j x_{ij}} \quad (1)$$

onde: x_{ij} = peso [kg], do componente i na amostra do bairro j .

A margem de erro neste caso não pode ser calculada, porque toda a informação disponível para composição, já foi usada.

- b) A composição média aritmética estaria dada pela equação 2.

$$\bar{c}_i = \frac{1}{n} \sum_j C_{ij} = \frac{1}{n} \sum_j \left(\frac{x_{ij}}{\sum_i x_{ij}} \right) \quad (2)$$

Onde a concentração C_{ij} , do componente i , do bairro j , estaria dada pela equação 3.

$$C_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_i x_{ij}} \quad (3)$$

Para estimar a margem de erro, se calcula com a equação 4 o desvio padrão da média calculada com a equação 3.

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_j (C_{ij} - \bar{c}_i)^2}{n-1}} \quad (4)$$

- c) Para aplicar o cálculo ponderado à composição C_{ij} de cada bairro, se multiplica cada percentagem de composição C_{ij} pela fração de população $P_j / \sum P_j$ correspondente a esse bairro, conforme equação 5.

$$\bar{c}_i = \sum_j \left(\frac{P_j}{\sum_j P_j} \right) C_{ij} \quad (5)$$

Onde: P_j = população de bairro j , [habitantes] e n = quantidade de bairros.

A margem de erro pode ser calculada como o desvio padrão s calculado pela equação 4 com $\bar{c}_i$ dado pela equação 5 em lugar da equação 2.

Suposições usadas:

% Matéria putrescível = % matéria orgânica + % vegetação + % fezes - % umidade

% húmus (resíduo orgânico duro) = % couro + % madeira + % pano

Atribuída a mesma umidade a todas as amostras (sem mais dados de umidade).

% Plástico Rígido = % Plástico duro + % PVC

% Plástico Filme = % Plástico mole

Suposta representação de cada local em base a apenas uma amostra no mesmo mês, com um total de 4 amostras.

Suposta produção de RSU proporcional à população de cada local, usada como fator de ponderação da fração de cada amostra. Dados de composição **agrupados segundo listas de preços** da sucata e dados da matéria orgânica aplicando suposições acima.

Os mesmos dados aplicados a cada **Método de Cálculo**.

TABELA 2

População do bairro	40000	60000	20000	80000	Método a)
Composição por bairro	kg	kg	kg	kg	% (eq.1)
matéria putrescível+água	271	86	87	82	24,31%
resíduo orgânico duro	0	5	8	75	7,81%
papelão	28	5	3	9	3,99%
papel fino	53	12	13	3	7,19%
aço	2	21	3	2	2,48%
alumínio	3	1	1	3	0,71%
vidro incolor	0	0	0	0	0,00%
vidro colorido	6	1	1	3	0,98%
Plástico Rígido	31	24	15	24	8,34%
PET	0	0	0	0	0,00%
Plástico Filme	30	11	8	21	6,21%
Tetrapack	2	4	5	6	1,51%
					22,36%
outros	57	38	20	44	14,11%
Total	483	208	164	272	100,00%
Matéria orgânica mais água					54,48%

Método b) (eqs. 2 e 4)						
Composição por bairro	%	%	%	%	Média arit.	M.de erro
matéria putrescível seca	33,75%	18,99%	30,69%	7,79%	22,80%	11,86%
resíduo orgânico duro	0,00%	2,40%	4,88%	27,57%	8,71%	12,73%
papelão	5,80%	2,40%	1,83%	3,31%	3,33%	1,75%
papel fino	10,97%	5,77%	7,93%	1,10%	6,44%	4,15%
aço	0,41%	10,10%	1,83%	0,74%	3,27%	4,59%
alumínio	0,62%	0,48%	0,61%	1,10%	0,70%	0,27%
vidro incolor	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
vidro colorido	1,24%	0,48%	0,61%	1,10%	0,86%	0,37%
Plástico Rígido	6,42%	11,54%	9,15%	8,82%	8,98%	2,09%
PET	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Plástico Filme	6,21%	5,29%	4,88%	7,72%	6,02%	1,26%
Tetrapack	0,41%	1,92%	3,05%	2,21%	1,90%	1,10%
água	22,36%	22,36%	22,36%	22,36%	22,36%	0,00%
outros	11,80%	18,27%	12,20%	16,18%	14,61%	3,14%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	43,32%
Matéria orgânica mais água	56,11%	43,75%	57,93%	57,72%	53,88%	6,80%

Método c) (eqs. 5 e 4)						
População do bairro	40000	60000	20000	80000	M.Ponder.	M.de erro
Composição por bairro	%	%	%	%	%	%
matéria putrescível seca	33,75%	18,99%	30,69%	7,79%	18,63%	12,80%
resíduo orgânico duro	0,00%	2,40%	4,88%	27,57%	12,24%	13,36%
papelão	5,80%	2,40%	1,83%	3,31%	3,39%	1,75%
papel fino	10,97%	5,77%	7,93%	1,10%	5,16%	4,41%
aço	0,41%	10,10%	1,83%	0,74%	3,59%	4,61%
alumínio	0,62%	0,48%	0,61%	1,10%	0,77%	0,28%
vidro incolor	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
vidro colorido	1,24%	0,48%	0,61%	1,10%	0,89%	0,37%
Plástico Rígido	6,42%	11,54%	9,15%	8,82%	9,19%	2,11%
PET	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Plástico Filme	6,21%	5,29%	4,88%	7,72%	6,40%	1,33%
Tetrapack	0,41%	1,92%	3,05%	2,21%	1,85%	1,10%
água	22,36%	22,36%	22,36%	22,36%	22,36%	0,00%
outros	11,80%	18,27%	12,20%	16,18%	15,53%	3,31%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	45,45%
Matéria orgânica mais água	56,11%	43,75%	57,93%	57,72%	53,23%	6,84%

Método de cálculo	(a)	(b)		(c)	
Composição do RSU	média	média Ar.	s	média P.	s
matéria putrescível seca	24,31%	22,80%	11,86%	18,63%	12,80%
resíduo orgânico duro	7,81%	8,71%	12,73%	12,24%	13,36%
papelão	3,99%	3,33%	1,75%	3,39%	1,75%
papel fino	7,19%	6,44%	4,15%	5,16%	4,41%
aço	2,48%	3,27%	4,59%	3,59%	4,61%
alumínio	0,71%	0,70%	0,27%	0,77%	0,28%
vidro incolor	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
vidro colorido	0,98%	0,86%	0,37%	0,89%	0,37%
Plástico Rígido	8,34%	8,98%	2,09%	9,19%	2,11%
PET	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Plástico Filme	6,21%	6,02%	1,26%	6,40%	1,33%
Tetrapack	1,51%	1,90%	1,10%	1,85%	1,10%
água	22,36%	22,36%	0,00%	22,36%	0,00%
outros	14,11%	14,61%	3,14%	15,53%	3,31%
Total	100,00%	100,00%	43,32%	100,00%	45,45%
Matéria orgânica mais água	54,48%	53,88%	6,80%	53,23%	6,84%

Como conclusão, para apenas quatro amostras representando todo o RSU de Ribeirão Preto, se pode dizer que a margem de erro calculada para cada componente pelo método b) ou pelo método c) é muito similar, mas elevada. Para reduzir a margem de erro, se justificaria maior quantidade de amostras, sempre que sejam representativas. Para a matéria orgânica putrescível e dura, os valores das médias são bastante diferentes, ainda que sempre dentro da ampla margem de variação. As suposições que a umidade é a mesma para a matéria orgânica de cada amostra e a separação em putrescível e dura podem ser as causas para tanta diferença, como se pode apreciar na linha adicional, ao final da Tabela 5. Para a pequena quantidade de amostras, que resulta em grande margem de erro, não se justifica maior sofisticação nos cálculos da composição. Para maior quantidade de amostras, com margem de erro resultante menor, tem importância o cálculo ponderado, que permite melhor representatividade dos valores médios se as amostras forem representativas. Se fosse conhecida a tonelagem de coleta por bairro, esse valor deve ser usado para o cálculo do fator de ponderação em lugar da população de cada bairro.

A5 - Report

Voltar p Info Tecnológica

Estudo de Caso Análise de uma simulação

- A - Dados de Ribeirão Preto (*)**
- Reciclagem seco **40,00%**
 - Coleta diária total. **450,00 t/dia**
 - Etapa de implementação: **Etapa intermediária**

B - A simulação sugere o seguinte sistema: **Sistema AAA integral de tratamento**

C - Valores gerados:

C.1 • Produtos e faturamento potenciais segundo fluxo e composição típica do RSU

Produtos	Concentração	Fluxo	Preço	Faturamento Pot.	Pureza
Unidades	% peso	t/dia	R\$/t	R\$/ano	%
RSU aproveitado	65,72%	295,8	6,9	748.465,17	N/A
▪ Metano	9,38%	42,2	324,3	4.997.573,98	80,70%
▪ CO2	22,59%	101,7	210,0	7.793.106,21	99,00%
▪ Húmus	4,46%	20,1	10,0	73.240,67	96,00%
▪ papelão	1,35%	6,1	204,7	455.440,43	99,00%
▪ papel fino	2,06%	9,3	388,1	1.315.362,57	99,900%
▪ aço	1,44%	6,5	178,6	421.204,31	99,000%
▪ alumínio	0,31%	1,4	3126,7	1.582.995,19	99,900%
▪ vidro incolor	0,00%	0,0	64,5	-	-
▪ vidro colorido	0,36%	1,6	45,7	26.847,59	98,000%
▪ plástico rígido	3,68%	16,5	434,4	2.622.881,42	99,00%
▪ PET	0,00%	0,0	722,3	-	-
▪ filme plástico	2,56%	11,5	278,9	1.173.554,19	99,90%
▪ Tetrapack	0,74%	3,3	63,5	77.054,66	99,00%
▪ Água	16,79%	75,6	0,1	2.758,10	93,00%
▪ Outros	6,21%	28,0	0,0	-	N/A
7 - Resíduo (perda)	34,28%	154,2	6,9	390.334,83	N/A
Total	100,0%	450,0		20.900.149,65	

• Impactos diretos esperados

- Impacto Econômico esperado **20.900.149,65 R\$/ano** Faturamento Potencial
- Impacto Ambiental esperado **154,2 t/dia** Resíduo (perda)
- Impacto Ambiental esperado **75,6 t/dia** Água recuperada
- Impacto Ambiental esperado **20,1 t/dia** Húmus agrícola
- Impacto Ambiental esperado **42,2 t/dia** Metano, combustível limpo renovável
- Impacto Social esperado **1207** novos postos permanentes de trabalho
- Impacto Social esperado **1193** pessoas recuperadas social e economicamente

Na planilha é apresentada a etapa intermediária de implantação, caracterizada pela comercialização de sucata e biogás. Mas é na etapa final que o lucro aparece, com investimento elevado, mas risco moderado com o uso da simulação, que deve usar dados fidedignos para previsões realistas (custos de instalação somente estimativas muito preliminares).

(*) Dados obtidos de : Cardoso V.A. e Teixeira E.N. Análise RS Ribeirão Preto. 1999. Comum. Pessoal Jul.2004.
CEMPRE informa preços material reciclável; março/abril 20 www.cempre.org.br

C.2 • Depuração

Depuração do biogás para obter metano (rejeito da depuração) e CO2

Número da linha	Descrição	Total t/d	Contamin. t/d	Concentração % peso	Eficiências e Taxas de Rejeitos
2	Alimentação do depurador	143,89	42,22	29,34%	E1= 98,79%
3	Saída de metano (rejeito)	41,73	41,71	99,96%	R1= 29,00%
4	Saída de CO2 (gás depurado)	102,16	0,51	0,50%	

Com depurador de Seletividade $S=0,995$ será possível elevada pureza de depuração do metano e dióx. Carbono. Na etapa inicial, não seria necessária depuração do metano, apenas separar umidade para uso em turbina, com calor de escapamento aproveitado no processo (cogeração).

D - Comentários sobre os valores gerados

Ribeirão Preto tem 20% da cidade com coleta seletiva.

A composição média do RSU permitirá um bom faturamento e uma redução à metade da carga para o aterro, eliminando a fração orgânica e todos os problemas associados.

A depuração do biogás usando torres descarbonatadora e regeneradora do reativo, ou filtro molecular como depurador de alta seletividade, será efetivo para proporcionar gases quase puros. Um dessecador deve ser usado antes do uso. Se tiver gases de enxofre, filtro de carvão.

E - Estimativa de Investimentos (**)

Etapa Inicial: Produção de sucata e energia termelétrica.	R\$	13.963.552
Etapa Intermediária: Sucata e metano veicular.	R\$	18.004.182
Etapa Final: Produtos industriais e metano veicular.	R\$	80.509.182

F - Conclusão

A simulação permite mostrar que a abordagem do tratamento de materiais presentes no RSU desde um ponto de vista industrial integrado, com participação de catadores bem treinados e efetivos, permite ganhos significativos não somente no aspecto econômico, que segue a filosofia sustentável mas, principalmente, os ganhos ambientais e sociais, pois toda a comunidade participa dos benefícios do Sistema AAA de tratamento, que transforma problemas em vantagens.

As 20,1 t/d de húmus agrícola devem produzir também um importante benefício ao solo de toda a região, melhorando a produtividade e reduzindo o consumo de agrotóxicos, com produtos orgânicos. Por outra parte, a quantidade de metano produzido daria para instalar uma termelétrica de 8575 MW, com aproveitamento do calor excedente no processo (cogeração).

A criação de 1207 novos postos permanentes de trabalho é um benefício social importante, resgatando social, econômica e humanamente essas pessoas do ambiente sub-humano em que sobrevivem.

Finalmente, o impacto ambiental positivo da eliminação da fração orgânica do aterro, junto com os benefícios associados de evitar a instabilidade do solo durante muitas décadas, as emissões de gases de acima de 20 vezes maior efeito estufa que o CO2, o risco de poluir fontes de águas e degradar as áreas de aterros e vizinhanças, se devem somar às vantagens listadas no ponto 5.8.1 p.125 e 126 da dissertação para o sistema AAA de tratamento de RSU.

(**) Estimativa muito preliminar, 2004.

A6 - Legal

[Voltar para Info Tecnológica](#)

Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte. (<30.000 habitantes ou até 30 t/diá RSU).

RESOLUÇÃO Nº 308, DE 21 DE MARÇO DE 2002

[Voltar para Report](#)

Art. 2º Para fins desta Resolução consideram-se como resíduos sólidos urbanos, os provenientes de residências ou qualquer outra atividade que gere resíduos com características domiciliares, bem como os resíduos de limpeza pública urbana.

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

Art. 3º Aplica-se o disposto no art. 1º desta Resolução a municípios ou associações de municípios que atendam a uma das seguintes condições:

- I - população urbana até trinta mil habitantes, conforme dados do último censo do IBGE; e
- II - geração diária de resíduos sólidos urbanos, pela população urbana, de até trinta toneladas.

Art. 5º O empreendimento de disposição final de resíduos sólidos contemplado nesta Resolução deverá ser submetido ao processo de licenciamento ambiental junto ao órgão ambiental competente, integrante do Sistema Nacional de Meio Ambiente-SISNAMA, observando os critérios estabelecidos no Anexo desta Resolução.

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

ELEMENTOS NORTEADORES PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM COMUNIDADES DE PEQUENO PORTE

Quanto à Seleção de Área

Aspectos a serem contemplados:

- I - as vias de acesso ao local deverão apresentar boas condições de tráfego ao longo de todo o ano, mesmo no período de chuvas intensas;
- II- adoção de áreas sem restrições ambientais;
- III - inexistência de aglomerados populacionais (sede municipal, distritos e/ou povoados), observando a direção predominante dos ventos;
- IV - áreas com potencial mínimo de incorporação à zona urbana da sede, distritos ou povoados;
- V - preferência por áreas devolutas ou especialmente destinadas na legislação municipal de Uso e Ocupação;
- VI - preferência por áreas com solo que possibilite a impermeabilização da base e o recobrimento periódico dos resíduos sólidos;
- VII - preferência por áreas de baixa valorização imobiliária;
- VIII - respeitar as distâncias mínimas estabelecidas em normas técnicas ou em legislação ambiental específica, de ecossistemas frágeis e recursos hídricos superficiais, como áreas de nascentes, córregos, rios, açudes, lagos, manguezais, e outros corpos d'água;
- IX - caracterização hidrogeológica e geotécnica da área e confirmação de adequação ao uso pretendido; e
- X- preferência por área de propriedade do Município, ou passível de cessão não onerosa de uso (comodato) a longo prazo ou desapropriável com os recursos de que disponha o Município.

No caso de proximidade de aeroporto, deverão ser considerados os cuidados especiais estabelecidos pela legislação vigente.

Quanto aos Aspectos Técnicos

As tecnologias a serem adotadas na concepção e projeto dos sistemas de disposição final de resíduos sólidos a que se refere esta Resolução, deverão considerar os seguintes aspectos:

- I - os sistemas de drenagem de águas pluviais;
- II- a coleta e a destinação final e tratamento adequado dos percolados;
- III- a coleta e queima dos efluentes gasosos, quando necessário;

IV - o uso preferencial de equipamentos simplificados para operação; e

V - um plano de monitoramento ambiental.

A área selecionada para implantação do sistema de disposição final dos resíduos sólidos deverá ser isolada com cerca, impedindo a entrada de pessoas não autorizadas e de animais.

Quanto ao Licenciamento Ambiental

Os órgãos ambientais competentes deverão assegurar que o pedido de licença ambiental para os sistemas de disposição apresentem, no mínimo, os seguintes dados:

I - identificação do requerente responsável pelo empreendimento;

II - população beneficiada e breve caracterização dos resíduos a serem depositados no sistema de disposição final em licenciamento;

III - capacidade proposta do local de descarga - vida útil desejável maior que quinze anos;

IV - descrição do local, incluindo as características hidrogeológicas;

V - métodos propostos para a prevenção e minimização da poluição ambiental;

VI - plano de operação, acompanhamento e controle;

VII - plano de encerramento e uso futuro previsto para a área;

VIII - apresentação do Projeto Executivo do sistema proposto; e

IX - projeto de educação ambiental e divulgação do empreendimento, sob princípios de coleta seletiva, e redução de resíduos.

Publicada DOU 29/07/2002

Disponível: <http://www.mma.gov.br/port/tonama/res/res02/res30802.html> 2004-04-22 12h

Resolução nº 237, de 19 de dezembro 1997.

Art. 1.º - Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - **Licenciamento Ambiental**: procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as dispersões legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso.

II - **Licença Ambiental** ato administrativo pelo qual órgão ambiental competente, estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.

III - **Estudos Ambientais** são todos e quaisquer estudos relativos aos aspectos ambientais relacionados a localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: **plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco.**

Art. 2.º - A localização, construção, instalação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou parcialmente poluidoras, bem como, os empreendimentos capazes sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.

§ 1.º - Estão sujeitos ao **licenciamento ambiental os empreendimentos e as atividades relacionadas no**

Anexo I, parte integrante desta Resolução.

§ 2.º - Caberá ao órgão ambiental competente definir os critérios de exigibilidade, o detalhamento e a complementação do Anexo I, levando em consideração as especificidades, os riscos ambientais, o porte e outras características do empreendimento ou atividade.

Art. 3.º - A licença ambiental para empreendimentos e atividades consideradas efetiva ou parcialmente causadoras de significativa degradação do meio dependerá de prévio estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto sobre o meio ambiente (EIA/RIMA), ao qual dar-se-á publicidade, garantida a realização de audiências públicas, quando couber, de acordo com a regulamentação.

Parágrafo Único - O órgão ambiental competente, verificando que a atividade ou empreendimento não é potencialmente causador de significativa degradação do meio ambiente, definirá os estudos ambientais pertinentes ao respectivo processo de licenciamento.

Art. 6.º - Compete ao **órgão ambiental municipal**, ouvidos os órgãos competentes da União, dos Estados e do Distrito Federal, quando couber, o licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades de impacto ambiental local e daquelas que lhe forem delegadas pelo Estado por instrumento legal ou convênio.

Art. 7.º - Os empreendimentos e atividades serão licenciados em um **único nível de competência** conforme estabelecido nos artigos anteriores.

Art. 8.º - O Poder Público, no exercício de sua competência de controle, expedirá as seguintes licenças:

I - **Licença Prévia (LP)** - concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;

II - **Licença de Instalação (LI)** - autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante;

III - **Licença de Operação (LO)** - autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

Parágrafo Único - As licenças ambientais poderão ser expedidas isolada ou sucessivamente, de acordo com a natureza, características e fase do empreendimento ou atividade.

Art. 10.º - O procedimento de licenciamento ambiental obedecerá as seguintes etapas:

I - **Definição pelo órgão ambiental competente**, com a participação do empreendedor, dos documentos, estudos e pesquisas ambientais, necessários ao início do processo de licenciamento correspondente a licença a ser requerida;

II - **Requerimento da licença ambiental pelo empreendedor, acompanhado dos documentos, projetos e estudos ambientais permanentes, dando-se a devida publicidade;**

III - Análise pelo órgão ambiental competente, integrante do SISNAMA, dos documentos, projetos e estudos ambientais apresentados e a realização de vistorias técnicas, quando necessárias;

IV - Solicitação de esclarecimentos e complementações pelo órgão ambiental competente, integrante do SISNAMA, uma única vez, em decorrência da análise dos documentos, projetos e estudos ambientais apresentados, quando couber, podendo haver a reiteração da mesma solicitação caso os esclarecimentos e complementações não tenham sido satisfatórios;

V - Audiência pública, quando couber, de acordo com a regulamentação pertinente;

VI - Solicitação de esclarecimentos e complementações pelo órgão ambiental competente, decorrentes de audiências públicas, quando couber, podendo haver reiteração da solicitação quando os esclarecimentos e complementações não tenham sido satisfatórios;

VII - Emissão de **parecer técnico conclusivo** e, quando couber, parecer jurídico;

VIII - Deferimento ou indeferimento do pedido de licença, dando-se a devida publicidade.

§ 1.º - No procedimento de licenciamento ambiental deverá constar, obrigatoriamente, a certidão da Prefeitura Municipal, declarando que o local e o tipo de empreendimento ou atividade estão em conformidade com a legislação aplicável ao uso e ocupação do solo e, quando for o caso, a autorização para supressão de vegetação e a outorga para o uso da água emitidas pelos órgãos competentes.

§ 2.º - No caso de empreendimentos e atividades sujeitos ao estudo de impacto ambiental - EIA, se verificada a necessidade de nova complementação em decorrência de esclarecimentos já prestados, conforme incisos IV e VI, o órgão ambiental competente, mediante decisão motivada e com a participação do empreendedor, poderá formular novo pedido de complementação.

Art. 18 - O órgão ambiental competente estabelecerá os prazos de validade de cada tipo de licença, especificando-os no respectivo, levando em consideração os seguintes aspectos:

I - O prazo de validade da Licença Prévia (LP) deverá ser, no máximo, o estabelecido pelo cronograma de elaboração dos planos, programas e projetos relativos ao empreendimento ou atividade, não podendo ser superior a 5 (cinco) anos.

II - O prazo de validade da Licença de Instalação (LI) deverá ser, no máximo o estabelecido pelo cronograma de instalação do empreendimento ou atividade, não superior a 6 (seis) anos.

III - O **prazo de validade da Licença de Operação (LO)** deverá considerar os planos de controle ambiental e será de, no mínimo, 4 (quatro) anos e, no máximo, 10 (dez) anos.

§ 1.º - A Licença Prévia (LP) e a Licença de Instalação (LI) poderão ter os prazos de validade prorrogados, desde que não ultrapassem os prazos máximos estabelecidos nos incisos I e II.

§ 2.º - O órgão ambiental competente poderá estabelecer prazos de validade específicos para a Licença de Operação (LO) de empreendimentos ou atividades que, por sua natureza e peculiaridades, estejam sujeitos a encerramento ou modificação em prazos inferiores.

§ 3.º - Na **renovação da Licença de Operação (LO)** de uma atividade ou empreendimento, o órgão ambiental competente poderá, mediante decisão motivada, aumentar ou diminuir o seu prazo de validade, após avaliação do desempenho ambiental de atividade ou empreendimento no período de vigência anterior, respeitados os limites estabelecidos no inciso III.

§ 4.º - A **renovação da Licença de Operação (LO)** de uma atividade ou empreendimento deverá ser requerida com antecedência mínima de 120 (cento e vinte) dias da expiração de seu prazo de validade, fixado na respectiva licença ficando este automaticamente prorrogado até a manifestação definitiva do órgão ambiental competente.

Art. 19 - O órgão ambiental competente, mediante decisão motivada, poderá modificar os condicionantes e as medidas de controle e adequação, suspender ou cancelar uma licença expedida, quando ocorrer:

- I - Violação ou inadequação de quaisquer condicionantes ou normas legais;
- II - Omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição da licença;
- III - Superveniência de graves riscos ambientais e de saúde.

ANEXO I

ATIVIDADES OU EMPREENDIMENTOS SUJEITAS AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL

Ø Tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos, inclusive aqueles provenientes de fossas.

[Voltar](#)

Disponível em: http://www.ambientec.com.br/conama_237.htm 2004-04-22

Audiência Pública

Resolução CONAMA nº 009, de 03 de dezembro de 1987.

Art. 1.º - A **Audiência Pública** referida na Resolução CONAMA N.º 001/86, tem por finalidade **expor** aos interessados o conteúdo do produto em análise e do seu referido RIMA, dirimindo dúvidas e recolhendo dos presentes as críticas e sugestões a respeito.

Citada 45 após recebimento do RIMA. Sem audiência Pública, não tem valor a licença.

A7 - Licenciamento

[Voltar p Info Tecnológica](#)

O Licenciamento Ambiental pode ser um processo muito moroso. Para projetos de Infraestrutura, segue um caminho crítico

1- O Relatório Ambiental Preliminar (RAP) é o primeiro documento exigido.

O RAP é um anteprojeto, com a fundamentação técnica e legal das alternativas tecnológicas adotadas.

O RAP estabelece procedimentos para Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

• O órgão ambiental competente poderá dispensar o EIA e RIMA se os estudos técnicos constatarem que o empreendimento não causará significativa degradação do ambiente.

Elementos norteadores

ÁREA

- Boas condições de tráfego das vias de acesso durante todo o ano.
- Adoção de área sem restrições ambientais (zoneamento).
- Distantes (1 km) de áreas povoadas e ecossistemas frágeis. Observar direção predominante do vento.
- Mínimo potencial da área de ser incorporada à área urbana no futuro. (aterro)
- Preferência por áreas devolutas ou destinadas no zoneamento urbano, de mínima valorização imobiliária.
- Caracterização hidrogeológica e geotécnica da área e confirmação de adequação ao uso pretendido.
- Considerar cuidados especiais da legislação e prevenção a mudanças futuras.
- Cuidados especiais da legislação para evitar loteamentos futuros na área vizinha.

ASPECTOS TÉCNICOS

- Sistema de drenagem de águas pluviais.
- Coleta, destino final e tratamento dos percolados e seus rejeitos.
- Coleta, destino final e tratamento das emissões gasosas.
- Plano de Monitoramento Ambiental.

DADOS PARA O LICENCIAMENTO AMBIENTAL

- Identificação do requerente responsável pelo empreendimento
- População beneficiada e breve caracterização dos resíduos a serem tratados.
 - População (habitantes): 504250
 - resíduos domiciliares e de limpeza pública 450
 - coleta separada de resíduos úmidos (apodrecem) e coleta separada de resíduos secos sim
- Vida útil estimada do empreendimento (maior de quinze anos). >15
- Descrição do local, incluindo as características hidrogeológicas.

Relatório Ambiental Preliminar.

- Métodos propostos para a prevenção e minimização da poluição ambiental.

Relatório de Impacto ao Meio Ambiente

- Descarga dos caminhões em recinto sub pressurizado fechado e com isolamento acústico.
- Sistema de canaletas para coleta e tratamento centralizado da água de piso
- Prédios sub-pressurizados e com isolamento acústico. Emissões gasosas para tratamento.
- Processo projetado para não liberar emissões líquidas ou gasosas poluentes.
- Monitoramento permanente da qualidade do ar em pontos adequados (acessíveis, úteis), sinalizados na direção de áreas povoadas mais próximas e direção predominante do vento.
- Monitoramento permanente da qualidade do efluente.
- Plano de operação, acompanhamento e controle. Plano de Manejo. Plano e Projeto de Controle Ambiental.

• Tratamento AAA da fração inorgânica

- Coleta sem compactar. Após compactação, fica difícil a seleção manual.
- A seleção manual permite recuperar o material fácil de identificar e separar do resto (treinamento), com condições de trabalho adequadas (segurança, proteção, comodidade).
- Seleção manual deve ser final, separar não somente o que é plástico, mas cada tipo (com mercado) separado.
- pode-se afinar por tipo de material (com mercado), por exemplo PET verde, ou polietileno cristal, etc e indicar preço, quantidade, pureza, resíduo esperado na seleção manual.

• Tratamento AAA da fração inorgânica (Continuação)

- Na primeira etapa, a sucata é separada e compactada em fardos.
- A separação deve ser total, pois as impurezas depreciam material, provocam perdas de tempo produtivo e de material.
- Rejeitos da depuração devem ter destino definido não poluente.
- Na etapa final, o material é processado mecânicamente para depuração final e transformação em produto comercial de qualidade seguindo métodos artesanais ou industriais, como seja mais apropriado ao local.

• Tratamento AAA da fração orgânica (é mais complexo):

- Na etapa inicial, separa e processa a fração orgânica para obter biogás e húmus.
- No tratamento, separa, lava e seca o material reciclável (papel é perdido).
- O tratamento úmido facilita separação do material insolúvel.
- Na etapa inicial, o rejeito é destinado ao aterro. O material depurado é adensado. O efluente é tratado.
- Na etapa intermediária ou final, o material orgânico duro é separado manualmente, moído e volta para o processo.
- O Adensamento pode ser em várias etapas:
 - decantação / clarificação
 - drenagem / filtragem
 - centrifugado contínuo
 - prensagem contínua
- Tratamento Anaeróbio de efluentes
 - análise para certificar qualidade do efluente
- Tratamento Aeróbio de efluentes
 - análise para certificar qualidade do efluente
- Hidrólise da fração orgânica dura moída, para maior rendimento em metano
- Inoculação da matéria orgânica
- Tratamento Anaeróbio da matéria orgânica
- Tratamento do biogás
 - filtro molecular ou absorção em torre descarbonatadora.
 - secagem
 - compressão e engarrafamento do metano
 - análise para certificar produto
 - compressão e engarrafamento do $O=C=O$, liberado na torre de regeneração do reativo (Dietanolamina ou similar)
 - análise para certificar produto
 - reação química dos outros gases para fertilizante
- Tratamento do composto
 - ultra-som, para desprender bactérias
 - lavagem, para separar bactérias
 - adensamento (pode ser em várias etapas)
 - centrifuga para recuperar inóculo
 - secagem e ensacamento do composto
 - análise para certificar produto

- Plano de encerramento e uso futuro previsto para a área.
- Plano de recuperação da área degradada.
- Diagnóstico Ambiental.
- Análise Preliminar de Risco.
- Apresentação do Projeto Executivo do sistema proposto.
- Projeto de educação ambiental e divulgação do empreendimento.

LICENCIAMENTO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE RSU

1- Todo licenciamento ambiental (independentemente do porte do empreendimento) deve ser iniciado com a apresentação de um Relatório Ambiental Preliminar (RAP), que se constitui num anteprojeto, com fundamentação técnica e legal para as alternativas tecnológicas e locacionais adotadas.

Estabelece procedimentos para análise de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) (SMA, 1994).

2- Normas ao projeto específico de tratamento e disposição de resíduos sólidos, e fiscalização de sua implantação, operação e manutenção (MINTER, 1979).

3- O Projeto de Tratamento de RSU precisa de Licenciamento Ambiental (CONAMA, 1997), de Estudo de Impacto Ambiental, de Relatório de Impacto ao Meio Ambiente, de plano e projeto de controle ambiental, de relatório ambiental preliminar, de diagnóstico ambiental, de plano de manejo, de plano de recuperação de área degradada e de análise

O tempo estimado para aprovação de todos estes documentos pode chegar a 5 anos!

Então, para evitar perdas de tempo, é melhor apresentar toda a documentação requerida em corretas condições a primeira vez, pronta para aprovação.

A Legislação Brasileira, em resumo, é praticada através de Leis, Decretos Leis, Decretos, Medidas Provisórias, Portarias, Resoluções que tratam da proteção das Florestas, Fauna, do controle da Pesca, do uso de Pesticidas na Agricultura, do estabelecimento de Áreas de Proteção Ambiental e do controle da Poluição.

O CONAMA é responsável por inúmeras Resoluções relacionadas às diretrizes básicas para a proteção ambiental e regula os Estudos de Impactos Ambientais e respectivos relatórios, visando o Licenciamento de Atividades potencialmente

Cabe ao IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis as responsabilidades operacionais e de monitoramento.

Os 4 princípios da legislação ambiental brasileira são:

- ▷ Conservação e uso sustentável dos Recursos Naturais.
- ▷ Controle da Poluição e Licenciamento das Atividades Poluidoras.
- ▷ **Qualidade Ambiental Urbana:** trata do manuseio, tratamento e disposição final de Resíduos Sólidos, Saneamento Básico e Recuperação de Áreas Degradadas.
- ▷ Satisfação da Agenda 21 Global, a Agenda 21 local, em todos os seus aspectos.

A proteção da biodiversidade de ecossistemas deve ser prioritária.

Controle da Poluição, evitando ter que remediar.

De acordo com o art. 225 da Constituição (1988), "todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações".

Este artigo, estabelece o princípio poluidor-pagador, que serviu de base para as Leis Atuais, muito mais rigorosa, como por exemplo a denominada Lei do Crime Ambiental, LEI No. 9.605 / 98.

RESOLUÇÕES CONAMA

Resolução No. 001, de 23 de janeiro de 1986: estabelece os critérios básicos e as diretrizes gerais para estudos de impacto ambiental. (Resolução No. 237 de 9 / 12 / 1997) EIA.

Resolução No.006, de 06 de setembro de 1987: estabelece regras gerais para o licenciamento ambiental de obras de grande porte, especialmente aqueles nas quais a União tenha interesse, como a geração de energia elétrica.

Resolução No. 005, de 15 de junho de 1988: estabelece normas sujeitando ao licenciamento ambiental as obras de saneamento, de importância por estar ligada aos problemas de Saúde Pública.

Resolução No. 001, de 08 de março de 1990: estabelece normas a serem obedecidas no tocante à emissão de ruído.

Resolução No. 003, de 28 de junho de 1990: estabelece os padrões de qualidade do ar

Resolução No 237 de 19 de dezembro de 1997, revisa os procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental

"O licenciamento não pode ser um ato de um momento só. As exigências fixadas têm que ser cobradas ao longo de toda a existência dos empreendimentos, e até depois deles, é o caso de recuperação de áreas degradadas" Eduardo Martins (1999) Presidente do IBAMA.

NORMAS

Internacionais - ISO 14.000

A ISO 14000 constitui um importante instrumento para a conservação ambiental. Com a implementação dessas normas, pelas empresas, conseguir-se-á uma melhor relação entre os processos produtivos e o meio ambiente, obtendo-se: produtos e processos mais limpos; a conservação dos recursos naturais; a destinação adequada dos resíduos industriais; o uso racional da energia; o controle da poluição ambiental. Tudo isso resultará em uma melhor qualidade de vida para a população. ISO - International Organization for Standardization (não governamental).

OBSERVAÇÃO: As normas da série iso 14000, embora não sejam obrigatórias, representam um grande diferencial de mercado, e ao serem adotadas têm que necessariamente obedecer a legislação ambiental vigente no país.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

As Normas da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas referentes ao Controle da Poluição Ambiental.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 1984 (NBR 8.419).

Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos urbanos - Procedimento. Rio de Janeiro, 13p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 1987 (NBR 10.004).

Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 63p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 1993 (NBR 12.950).

Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos - Terminologia. Rio de Janeiro, 6p.

DECRETO FEDERAL no 86.955, de 18/02/82. Regulamenta a Lei no 6.894 de 16/12/80, alterada pela Lei no 6.934 de 13/07/81, que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura (**Húmus**).

Para descarga de caminhões, cuidado com a emissão de particulados inaláveis e partículas totais em suspensão.

Qualidade do ar e Barulho.

Para métodos de queima do biogás, deve cumprir legislação. **Cogeração.**

Qualidade do Ar

Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990.

Publicada no D.O.U. de 22/04/90, Seção I, Págs. 15.937 a 15.939.

O Conselho Nacional Do Meio Ambiente - CONAMA, no uso das atribuições que lhe confere o Inciso II, do Art. 6.º, da Lei 7.804, de 18 de julho de 1989, e tendo em vista o disposto na Lei n.º 8.028, de 12 de abril de 1990, Decreto n.º 99.274, de 06 de junho de 1990 e,

Considerando a necessidade de ampliar o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no

Considerando que a Portaria GM 0231, de 27.04.76, previa o estabelecimento de novos padrões de qualidade do ar quando houvesse informação científica a respeito;

Considerando o previsto na Resolução CONAMA n.º 05, de 15.06.89, que institui o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - PRONAR, RESOLVE:

Art. 1.º - São padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Art. 4.º - O monitoramento da qualidade do ar é atribuição dos Estados.

Art 5.º - Ficam estabelecidos os Níveis de Qualidade do Ar para elaboração do Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar, visando providências dos governos de Estado e dos Municípios, assim como de entidades privadas e comunidade geral, com o objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde da população. **[Prevenir por projeto Descontrole da Biodigestão, Emissões e Poeira].**

§ 1.º - Considera-se Episódio Crítico de Poluição do Ar a presença de altas concentrações de poluentes na atmosfera em curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos mesmos.

§ 2.º - Ficam estabelecidos os Níveis de Atenção, Alerta e Emergência, para a execução do Plano.

§ 3.º - Na definição de qualquer dos níveis enumerados poderão ser consideradas concentrações de dióxido de enxofre, partículas totais em suspensão, produto entre partículas totais em suspensão e dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, partículas inaláveis, fumaça, dióxido de nitrogênio, bem como a previsão meteorológica e os fatos e fatores intervenientes previstos e esperados.

§ 4.º - As providências a serem tomadas a partir da ocorrência dos Níveis de Atenção e de alerta tem por objetivo evitar o atingimento do Nível de Emergência.

§ 5.º - O Nível de Atenção será declarado quando, prevendo-se a manutenção das emissões, bem como condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes nas 24 (vinte e quatro) horas subseqüentes, for atingida uma ou mais das condições a seguir enumeradas:

- a) Concentração de dióxido de enxofre (SO₂), média de 24 (vinte e quatro) horas, de 800 (oitocentos) microgramas por metro cúbico;
- b) concentração de **partículas totais em suspensão**, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 375 (trezentos e setenta e cinco) microgramas por metro cúbico;
- c) produto, igual a 65 x 103, entre a concentração de dióxido de enxofre (SO₂) e a concentração de partículas totais em suspensão - ambas em microgramas por metro cúbico, média de 24 (vinte e quatro) horas;
- d) concentração de monóxido de carbono (CO), média de 08 (oito) horas, de 17.000 (dezessete mil) microgramas por metro cúbico (15 ppm);

- e) concentração de ozônio, média de 1 (uma) hora, de 400 (quatrocentos) microgramas por metro cúbico.
- f) concentração de partículas inaláveis, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 250 (duzentos e cinquenta) microgramas por metro cúbico;
- g) concentração de fumaça, média de 24 (vinte e quatro) horas, de 250 (duzentos e cinquenta) microgramas por metro
- h) concentração de dióxido de nitrogênio (NO₂), média de 1 (uma) hora, de 1130 (um mil cento e trinta) microgramas por metro cúbico.

Para emissões líquidas, deve respeitar legislação, adequando valores aos do curso receptor:

Qualidade da Água

Resolução CONAMA nº 020, de 18 de junho de 1986.

http://www.ambientec.com.br/conama_020.htm

Art. 1.º - São classificadas, segundo seus usos preponderantes, em nove classes, as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional:

ÁGUAS DOCES

IV - Classe 3 - águas destinadas:

- a) - ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional;
- b) - à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) - à dessedentação de animais.

Art. 6.º - Para as águas de Classe 3 são estabelecidos os limites ou condições seguintes:

- a) **materiais flutuantes**, inclusive espumas não naturais: **virtualmente ausentes**;
- b) **óleos e graxas**: **virtualmente ausentes**;
- c) **substâncias que comuniquem gosto ou odor**: **virtualmente ausentes**;
- d) não será permitida a presença de **corantes artificiais** que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;
- e) **substâncias que formem objetáveis**: **virtualmente ausentes**;
- f) número de **coliformes fecais até 4.000 por 100 mililitros** em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, índice limite será de até 20.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em

Resolução CONAMA nº 020, de 18 de junho de 1986 (Continuação).

g) **DBOs dias a 20º C até 10 mg/l O₂**;

h) **OD (Oxigênio dissolvido)**, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/l O₂;

i) **Turbidez**: até 100 UNT;

j) **Cor**: até 75 mg Pt/l;

l) **pH**: 6,0 a 9,0;

m) **Substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos) Água doce Classe 3**

Ø Alumínio:.....	0,1 mg/l Al
Ø	0,05 mg/l As
Ø	1 mg/l Ba
Ø	0,1 mg/l Be
Ø	0,75 mg/l B
Ø	0,01 mg/l Benzeno
Ø Benzo-a-pireno:.....	0,00001 mg/l Benzo-a-pireno
Ø	0,001 mg/l Cd
Ø	0,01 mg/l CN
Ø	0,03 mg/l Pb

Substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos, continuação):

Ø	250 mg/l Cl
Ø	0,2 mg/l Co
Ø	0,02 mg/l Cu
Ø Cromo Trivalente:.....	0,5 mg/l Cr
Ø Cromo Hexavalente:.....	0,05 mg/l Cr
Ø 1,1 dicloroetano:.....	0,0003 mg/l dicloroetano
Ø 1,2 dicloroetano:.....	0,01 mg/l dicloroetano
Ø	2 mg/l Sn
Ø Índice de Fenóis:.....	0,001 mg/l Índice de Fenóis
Ø Ferro Solúvel:.....	0,3 mg/l Fe solúvel
Ø	1,4 mg/l Fluoretos
Ø Fosfato Total:.....	0,025 mg/l P total
Ø	2,5 mg/l Li
Ø	0,1 mg/l Mn
Ø	0,0002 mg/l Hg
Ø	0,025 mg/l Ni
Ø	10 mg/l Nitrato
Ø	1 mg/l Nitrito
Ø Nitrogênio Amoniacal:.....	1 mg/l Nitrogênio amoniacal
Ø	0,01 mg/l Ag
Ø Pentaclorofenol:.....	0,01 mg/l Pentaclorofenol
Ø	0,01 mg/l Se
Ø Sólidos dissolvidos totais:.....	500 mg/l sólidos dissolvidos totais
Ø Subst. tenso-ativas que reagem com o azul de metileno:.....	0,5 mg/l Subst Tensoativas reagem Azul de Metileno
Ø	250 mg/l SO ₄
Ø Sulfatos (como H ₂ S não dissociado):.....	0,003 mg/l como H ₂ S não dissociado
Ø Tetracloroetano:.....	0,01 mg/l tetracloroetano
Ø Tricloroetano:.....	0,03 mg/l tricloroetano
Ø Tetracloreto de Carbono:.....	0,003 mg/l tetracloreto de Carbono
Substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos, continuação):	
Ø 2, 4, 6 triclorofenol:.....	0,01 mg/l 2, 4, 6 triclorofenol
Ø Urânio total:.....	0,02 mg/l U total
Ø Vanádio:.....	0,1 mg/l V
Ø	0,18 mg/l Zn
Ø	0,01 µg/l Aldrin
Ø	0,04 µg/l Clordano
Ø	0,002 µg/l DDT
Ø	0,005 µg/l Dieldrin
Ø	0,004 µg/l Endrin
Ø Endossulfan:.....	0,056 µg/l Endossulfan
Ø Epóxido de Heptacloro:.....	0,01 µg/l Epóxido de Heptacloro
Ø Heptacloro:.....	0,01 µg/l Heptacloro
Ø Lindano (gama BHC):.....	3 µg/l Lindano (gama BHC)
Ø Metoxicloro:.....	30 µg/l Metoxicloro
Ø Dodecaciolo + Nonaciolo:.....	0,001 µg/l Dodecaciolo + Nonaciolo
Ø Bifenilas Policloradas (PCB's):.....	0,001 µg/l Bifenilas Policloradas (PCBs)
Ø	0,01 µg/l Toxafeno
Ø	0,1 µg/l Demeton
Ø	0,005 µg/l Gution

Substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos, continuação):

Ø	0,1 ug/l Malation
Ø	0,04 ug/l Paration
Ø	0,02 ug/l Carbanil
Ø Compostos Organofosforados	10 ug/l Compostos organo fosforados e Carbamato total
e Carbamatos Totais:.....	10 ug/l em Paration
Ø 2,4 -	4 ug/l 2, 4 - D
Ø 2,4,5 -	10 ug/l 2,4,5 - TP
Ø 2,4,5 -	2 ug/l 2,4,5 T

LEGISLAÇÃO E NORMAS CITADAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 1984 (NBR 8.419).

Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos urbanos - Procedimento. Rio de Janeiro, 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 1987 (NBR 10.004).

Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 63p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 1993 (NBR 12.980).

Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos - Terminologia. Rio de Janeiro, 6p.

DECRETO FEDERAL nº 86.955, de 18/02/82.

Regulamenta a Lei nº 6.894 de 16/12/80, alterada pela Lei nº 6.934 de 13/07/81, que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura.

• **Projetos de Tratamento do RSU para obter matéria prima secundária e produtos comerciais:**

• **Processo de Aproveitamento Integral do Lixo, de Acuña e Aguirre (PI 9906183-0-1999 pendente)**

• **Processo de Digestão Anaeróbica em Alta Consistência para produção de Metano e Húmus a partir de Lixo Urbano e outros resíduos, (PI 9906182- 1, 1999 pendente).**

A8 - FATURAMENTO

[Voltar p Informação Tecnológica](#)

1- Caracterização do sistema AAA de tratamento de resíduo sólido urbano (RSU)

- O sistema AAA considera o RSU como matéria prima secundária de um complexo fabril onde são fabricados produtos de qualidade e na quantidade que o mercado precisa.
- A implementação do sistema é por etapas, segundo disponibilidade de recursos e condições locais.

2- Suposições básicas:

- Não muda composição do biogás no tempo.
- Composição do biogás segundo modelo estequiométrico

Cardoso V.A. e Teixeira E.N. Análise RS Ribeirão Preto. 1999. Comum. Pessoal Jul.2004.

3- Origem dos dados:

3 R.Preto M

• Composição do RSU	%		
• Matéria orgânica mole MO	18,63%	36,44%	• Matéria orgânica e água para biogás
• Matéria orgânica dura	12,24%	(Orgânicos "duros"=couro, madeira, trapos).	
• papelão	3,39%		
• papel fino	5,16%		
• aço	3,59%		
• alumínio	0,77%		
• vidro incolor	0,00%		
• vidro colorido	0,89%		
• plástico rígido	9,19%		
• PET	0,00%		
• filme plástico	6,40%		
• Tetrapack	1,85%		
• Água	22,36%	5,57%	• Água para biogás 16,79%
• Outros	15,53%	• Sobra	
Total	100,00%		

3- Origem dos dados: www.cempre.org.br

• Dados de Pureza preliminares

Etapa implementação:	2 Pureza %	Etapa intermediária
• Metano	324,29	80,70%
• CO2	210,00	99,00%
• Húmus	10,00	96,00%
• papelão	204,67	99,00%
• papel fino	388,06	99,90%
• aço	178,64	99,00%
• alumínio	3126,67	99,90%
• vidro incolor	64,50	98,00%
• vidro colorido	45,67	98,00%
• plástico rígido	434,44	99,00%
• PET	722,33	99,99%
• filme plástico	278,89	99,90%
• Tetrapack	63,50	99,00%
• Água	0,10	93,00%

4• Simulação do Faturamento esperado (Fig. 6)

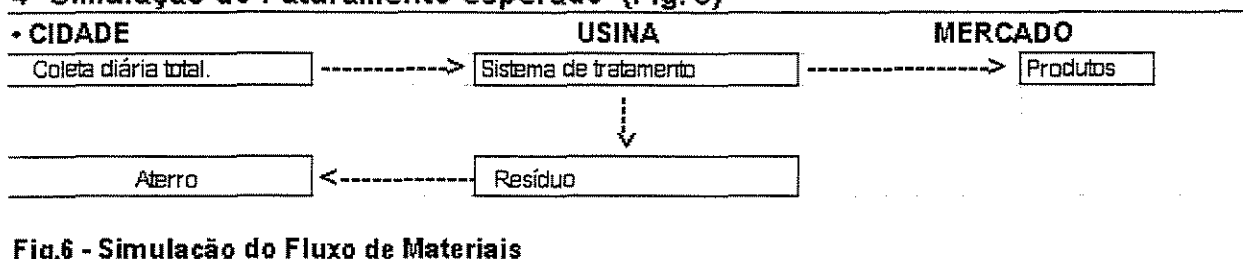


Fig.6 - Simulação do Fluxo de Materiais

• Etapa implementação:	Etapa intermediária	2
• Coleta diária total.	ton/d	450
• Reciclagem seco	%	40,00%
• Reciclagem úmido	%	100,00%
• Tipo substrato	Resíduo Sólido Urbano	0
• % resíduo orgânico como húmus (Supõe não muda composição do biogás)		12,24%

6• Produtos e faturamento potenciais segundo fluxo e composição típica do RSU

• Origem dos dados: R.Preto M

Produtos	Concentração	Fluxo	Preço	Faturamento Pot.	Pureza
Unidades	% peso	ton/dia	R\$/ton	R\$/ano	%
RSU aproveitado	65,72%	295,8	6,93	748.465,17	N/A
• Metano	9,38%	42,2	324,29	4.997.573,98	80,702%
• CO2	22,59%	101,7	210,00	7.793.106,21	99,000%
• Húmus	4,46%	20,1	10,00	73.240,67	96,000%
• papelão	1,35%	6,1	204,67	455.440,43	99,000%
• papel fino	2,06%	9,3	388,06	1.315.362,57	99,900%
• aço	1,44%	6,5	178,64	421.204,31	99,000%
• alumínio	0,31%	1,4	3126,67	1.582.995,19	99,900%
• vidro incolor	0,00%	0,0	64,50	-	-
• vidro colorido	0,36%	1,6	45,67	26.847,59	98,000%
• plástico rígido	3,68%	16,5	434,44	2.622.881,42	99,000%
• PET	0,00%	0,0	722,33	-	-
• filme plástico	2,56%	11,5	278,89	1.173.554,19	99,900%
• Tetrapack	0,74%	3,3	63,50	77.054,66	99,000%
• Água	16,79%	75,6	0,10	2.758,10	93,000%
• Outros	6,21%	28,0	0,00	-	N/A
• Resíduo (perda)	34,28%	154,2	6,93	390.334,83	N/A
Total	100,00%	450,0		21.680.819,30	

• Impactos diretos esperados

• Impacto Econômico esperado	21.680.819 R\$/ano	Faturamento Pot.
• Impacto Ambiental esperado	154,2 ton/dia	Resíduo (perda)
• Impacto Ambiental esperado	34,3 %	RSU para aterro, sem material putrescível
• Impacto Ambiental esperado	75,6 ton/dia	Água recuperada
• Impacto Ambiental esperado	20,1 ton/dia	Húmus agrícola
• Impacto Ambiental esperado	42,2 ton/dia	Metano, combustível limpo renovável
• Impacto Energético esperado	12965 MW	Potência Instalada, biogás (27% rend)
• Impacto Social esperado	1207	novos postos permanentes de trabalho
• Impacto Social esperado	1.193	pessoas recuperadas social e economicamente

7• Análise dos resultados

- Na etapa inicial, o faturamento será baixo e os custos altos, pelo que o lucro pode ser insignificante ou negativo, especialmente se enviado muito material para o aterro por rendimento baixo da seleção.
- Na etapa intermediária, o resíduo para aterro será somente 1/3 do atual, triplicando a vida do aterro sanitário e reduzindo seu custo operacional, por não ter mais material putrescível.
- Se forem estabelecidas parcerias com fabricantes para formar um complexo fabril, o lucro melhora por causa do faturamento alto com custos de fabricação menores, devido ao aproveitamento da água, energias elétrica e térmica no processo, e com serviços comuns. Com aproveitamento total do RSU e as parcerias se chega à Etapa Final.
- Vantagem adicional é o faturamento mais previsível, sem as oscilações de preço da sucata
- Pode ser mais conveniente vender o metano como gás veicular do que gerar energia elétrica, mas as necessidades de energia elétrica e térmica devem ser consideradas no balanço econômico.
- Se tratar em conjunto o esgoto sanitário com a fração orgânica do RSU, a produção de metano possível praticamente duplica, assim como a geração de energia elétrica.
- Outros é material sem destino comercial. Deve ser material inerte.

8• Conclusões

- O modelo apresenta um fato altamente desejável: Quanto mais material for aproveitado, maior o faturamento potencial e menor a carga para o aterro
- Para maior utilidade da simulação, devem-se apresentar resultados de balanços econômico, de energia, de materiais e uma estimativa da mão de obra requerida.
- Para implantação do sistema, todas as disposições legais devem ser satisfeitas, pelo que auxiliaria e aceleraria a aprovação das licenças se no modelo fossem incluídos em forma destacada os requisitos satisfeitos e os por satisfazer.
- Para flexibilidade do sistema, deve-se apresentar diferentes opções para o estudo. Por exemplo, pode-se usar diretamente o biogás num motogerador para produzir energia elétrica, ou depurar-lo e comprimir-lo para o comercializar como gás veicular de fonte renovável. São as condições locais que determinam, pois, no primeiro caso, o calor é usado no processo das fábricas integradas.
- Para simular as características variáveis do RSU podem ser usados números aleatórios na simulação de um período.
- O tipo de coleta também pode ser simulado, o que refletirá na quantidade e na composição do material recebido.
- A forma de manipular os dados é importante e deve ser detalhada (documentação).
- As equações usadas devem estar explícitas e devidamente documentadas.

A9 - DIGESTÃO

Voltar p Info Tecnológica

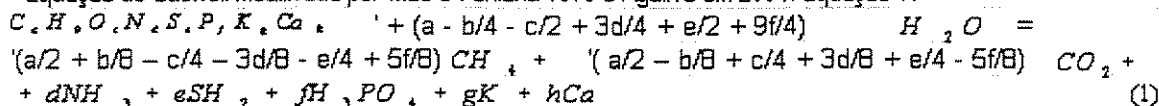
- A digestão é o processo bioquímico de transformação da matéria orgânica em biogás e composto anaeróbico ou húmus.
- A composição química da matéria orgânica determina o rendimento em metano e outros gases, assim como a cinética do processo, junto com outros fatores.
- A forma física do material determina a forma do biodigestor e métodos de alimentação e descarga.
- A simulação da biodigestão pode ser para prever rendimento em metano e outros gases, estudar forma do biodigestor e movimento do material no interior versus umidade, ou definir métodos de alimentação e descarga, ou outros.
- Neste estágio, será apenas para prever o rendimento em metano e outros gases, versus composição.
- A cinética da reação não será estudada agora.
- O método estequiométrico permite prever o rendimento em metano e outros gases do biogás.

• Método estequiométrico

1• Relaciona a composição química da matéria orgânica com a composição química do biogás (eq.1).

Balanco químico da reação da matéria orgânica com água para formar metano, CO₂, NH₃ e H₂S.

• Equação de Buswell modificada por Mao e Pohland 1973 e Aguirre em 2004. Equação 1.



• A composição da matéria orgânica também tem influência direta na composição do húmus. O que não sai como biogás, sai como húmus.

2• Aplicando o balanço químico e as relações de massas molares de cada componente, se estabelece a proporção em peso de cada componente da matéria orgânica seca e água

• A proporção de moles de CH₄ e CO₂ no biogás depende da composição da matéria orgânica.

	Composição	C	H	O	N	S	P	Tipo
	Massa molar [g/mol]	12	1	16	15	32	31	
• Tipo substrato	Fórmula química	a	b	c	d	e	f	M.Orgânica
Resíduo Sólido Urbano	C ₉₉ H ₁₄₉ O ₅₉ N	99	149	59	1	0	0	2296
Papel, madeira	C ₂₀₃ H ₃₃₄ O ₁₃₈ N	203	334	138	1	0	0	4993
Alimentos	C ₁₅ H ₂₇ O ₈ N	15	27	8	1	0	0	350
Celulose	C ₆ H ₁₀ O ₅	6	10	5	0	0	0	162

•Relação em peso de água e do resultado da bioconversão

	H ₂ O	CH ₄	CO ₂	NH ₃	H ₂ S	H ₃ PO ₄
• Tipo substrato	18	16	44	18	34	98
Resíduo Sólido Urbano	594	848	2024	18	0	0
Papel, madeira	922,5	1734	4163,5	18	0	0
Alimentos	90	136	286	18	0	0
Celulose	18	48	132	0	0	0

• Procedimento normalmente seguido à inversa em química. Se encontram os componentes, sua fração em peso e logo, ao dividir pelo peso molar de cada elemento e um fator para obter números inteiros, se obtém a fórmula química.

• Suposições e simplificações aplicadas:

- Supõe-se que a composição do biogás não muda no tempo.
- Supõe-se conversão completa da matéria orgânica (tempo infinito).

• % água/MO e componentes do biogás para conversão completa da MO.

Valor máximo teórico sem húmus residual

• Tipo substrato	H ₂ O/s	CH ₄ /s	CO ₂ /s	NH ₃ /s	H ₂ S/s	H ₃ PO ₄ /s	Húm/s	(s+água)/s
Resíduo Sólido Urbano	0,2587	0,369338	0,88153	0,00784	0	0	0	1,258711
Papel, madeira	0,2	0,347286	0,83387	0,00361	0	0	0	1,184759
Alimentos	0,3	0,388571	0,81714	0,05143	0	0	0	1,257143
Celulosa	0,1	0,296296	0,81481	0	0	0	0	1,111111

• % água/MO e componentes do biogás para conversão incompleta da MO.

• Húmus residual é função da composição, temperatura, inóculo e tempo.

Valor máximo prático com húmus residual

• Tipo substrato	H ₂ O/s	CH ₄ /s	CO ₂ /s	NH ₃ /s	H ₂ S/s	H ₃ PO ₄ /s	Húm/s	(s+água)/(s+água)
Resíduo Sólido Urbano	0,18038	0,258	0,61	0,01	0	0	0,12	1,00
Papel, madeira	0,13686	0,257	0,62	0,00	0	0	0,12	1,00
Alimentos	0,17951	0,271	0,57	0,04	0	0	0,12	1,00
Celulosa	0,08776	0,234	0,64	0,00	0	0	0,12	1,00

• Proporção dos componentes segundo opção de tipo substrato (Dados J58) escolhida

0,257515	metano/(substrato + água)
0,620101	0,61 0,01 0,00 (O=C=O e outros gases)/(substrato + água)
0,122384	húmus/(substrato + água)
0,180382	água/(substrato + água)

• Método de composição do biogás em volume e relação em peso.

Supõe biogás segue lei de gases ideais:		1 mol =	16 g Metano	22,4 litros gas c.n
1 m ³	0,71429 kg Metano 1 atm	20 gC		
1 m ³	1,96429 kg Dióx.C	1 mol =	44 g O=C=O	22,4 litros gas c.n
1 m ³	0,69196 kg ar	1 mol =	15,5 g O+N =	22,4 litros gas c.n
1 m ³	0,874 kg Biogás Barueri co	62,5 %v Metan	31 %v O=C=O	6,5 %v O e N
1 kg biogás Barueri =		0,40572 Kg Metan	0,5534 kg O=C=O	0,0409 kg O+N
Gás Natural		92% v Metano	8% volume CO ₂	
		80,7% p Metano	19,3% peso CO ₂	

• Método termodinâmico prático

Composição do biogás proporcional ao calor de combustão.

1 m3 biogás =	9400 kcal PCS	8500 kcal PCI	92% puro	Vol
1 m3 Metano =	10217,4 kcal PCS	9239,13 kcal PCI	100% puro	Vol

Comentários

Materiais de difícil biodegradabilidade rendem pouco metano. Formam o composto final.

Segundo biodegradabilidade, temperatura e quantidade de inóculo usado será produção esperada de metano num ter
Classificação do RSU: madeira, couro e trapos, podem ser considerados não digeríveis, pelo que sairiam do digestor
como composto semidigerido ou húmus.

Lodos de ETE poderiam ser usados, com pós tratamento do composto para eliminar poluentes.

Para simular a conversão de lodos a partir da análise do lodo, se deve dispor ademais, da proporção de METANO e
DIÓXIDO DE CARBONO no biogás.

Tratamento do composto

Teoricamente, o único tratamento seria secar para satisfazer a norma. Análise para verificar a qualidade é recomendável, para produto ser comercializado com certificado de qualidade apropriada ao uso.

Recuperação de bactérias antes de secar é imperativo para continuidade do processo.

Tratamento de gases (POHLANDe HARPER, 1985)

Partículas sólidas e condensado removidos num separador gás/líquido. Umidade é absorvida em glicol (etilenglicol requer $-20^{\circ}\text{F} = -28,9^{\circ}\text{C}$). Métodos com solventes são usados para separação de H_2S , mercaptanos e outros compostos sulfurados. Dióxido de carbono pode ser separado por absorção em dietanolamina ou similar, pois é seletiva para o Dióxido de carbono. Valores finais do gás dependem do uso. Método depende do custo. (Tab 46 p 114 e Tab 47 p 116, POHLANDe HARPER, 1985))

Efluente com metais pesados em torre de absorção do biogás-----> Me-S + biogás sem H_2S

pp de metais pesados como sulfetos

Vantagem: limpa efluente líquido e gasoso e economia de carbono ativado.

Precipitado pode ser comercializado com mineradora.

Qualidade do Ar

Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990.

	Alerta	Máximo	Média
	1 hr ao ano anual		
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO_2	800	<365	80
partículas suspensas	375	<240	80
prod acima	6695		
CO	17.000	< 40.000	10.000
O_3	400	< 160	
partículas inaláveis	250	< 150	50
fumaça	250	< 150	60
NO_2	1130	< 320	100

Recomendações

A planta deve localizar amostradores automáticos com alarme para eventual fuga de gases.

Dispor de reserva de inóculo para emergências.

Usar detetor de tóxico no processo, para desvio imediato do material contaminado.

Valor e preço do Composto

Teoricamente seria similar aos preços do esterco de curral e granja. Também pode ser em base ao conteúdo de NPK do fertilizante mineral (custo de aplicação deve ser considerado também). Aplicações de 20 t/há ou 17 vezes a aplicação normal requerem equipamento especial que o fazendeiro não tem. O Agrônomo conhecendo a análise da composição do composto pode avaliar, para cada tipo de solo e cultura, as quantidades a aplicar e comparar custos. Vantagens de adicionar matéria orgânica ao solo devem ser pesadas na avaliação. Somente de aqui pode resultar, após experiências de sucesso, um mercado e preço adequado para o composto, que atualmente está desacreditado por venda de composto do lixo sem separação prévia dos poluentes e com excesso de água.

Dimensionamento dos digestores

	RSU	RSU+ETE
Tamanho dos digestores (Vol. Útil):	7031,99 m ³	7345,144 m ³
Quantidade de material orgânico seco:	138,9 t/d	290,2 t/d
Volume estimado do material no digestor	694,518 m ³ /d	1450,893 m ³ /d
Umidade no digestor	80%	80%
Recirculação de húmus (inóculo):	35%	35%
Tempo de residência (termófilo)	15 dias	15 dias
Coluna no interior	10 m	10 m
Diâmetro	29,9 m	30,6 m
Altura sobre o material	2,5 m	2,5 m
Volume total do digestor	8789,99 m ³	9181,4 m ³
Por motivos de segurança operacional:	2 unidades	4 unidades
pressão de operação (gasôgeno):	0,2 m água	0,2 m água
Produção de metano	42,2 t/d	88,2 t/d
Produção de dióxido de Carbono	101,671 t/d	212,4 t/d
Produção de biogás	143,893 t/d	300,6 t/d
Estimativa de geração de EE	6,67493 MW	13,7 MW
Calor disponível para o processo	13,7543 Gcal/h	28,7 Gcal/h
Aquecimento do material p digestão (60°C)	1,30222 Gcal/h	2,7 Gcal/h
Calor disponível para o processo	12,4521 Gcal/h	26,0 Gcal/h
Tratamento conjunto de esgoto sanitário	151,275 t/d	CESTEB p Licenciamento?
Quantidade de MO base seco por pessoa	0,3 kg/d	NBR
Total material orgânico seco:	290,2 t/d	

Para dimensionamento do pré-tratamento (decantador) do esgoto sanitário, a NBR

Comentários

O tratamento conjunto de ETE+RSU termófilo, pasteuriza o húmus, eliminando a grande maioria dos patógenos.

Enriquece o húmus em nutrientes para a lavoura, permite recuperar um grande volume de água e proporciona biogás, fonte renovável de energia.

Para evitar descontrole do tratamento biológico devido à presença de materiais tóxicos, um sistema detetor com alarme e desvio automático deve ser usado. Também o uso de unidades e linhas em paralelo reduz o risco de descontrole.

300 g base seco a quantidade estimada de resíduo teor seco por pessoa por dia para esgoto sanitário, a quantidade gerada pela população será:

151 t/d	resíduo orgânico
41 t/d	metano puro

A10 - CO-GERAÇÃO

[Voltar p Info Tecnológica](#)

É a geração simultânea de energia mecânica e térmica a partir de uma fonte primária de energia (Fig. 7).

Do ponto de vista empresarial, a co-geração é sinônimo de redução de custos, com diminuição de dependência energética. São muitas as atividades industriais e mesmo comerciais que se utilizam de grandes quantidades de energia térmica - frio ou calor. A necessidade de calor sempre é maior, sobretudo na agroindústria e na indústria de transformação, como açúcar e álcool, sucos de frutas, beneficiamento de arroz e de madeira, extração de óleo vegetal, papel e celulose, tinturaria, cervejaria, cimento, vidro, cerâmica, produtos químicos e alimentos em geral.

Já o frio em larga escala (congelamento) é utilizado pelos segmentos de frigoríficos e sucos. A climatização de ambientes é utilizada nas áreas de fiação e tecelagem, hospitais, hotéis, shoppings, etc.

Todas essas atividades já utilizam alguma forma de energia primária para atender suas necessidades térmicas. As fontes podem ser um tipo de combustível (óleo, gás, bagaço de cana, cavaco de madeira, casca de arroz, pneu velho picado, etc.) ou ainda energia elétrica, para acionar compressores de amônia visando produzir frio, por exemplo.



Fig. 7 Co-geração

Quando bem aplicada, gera economias de 30 a 80% do combustível.

Disponível: http://www.koblitz.com.br/cogeração_de_energia/index.shtml acesso: 2004/07/06

A implementação do PROINFA visa aumentar a participação da parcela de energia elétrica produzida pelas fontes alternativas : eólica, solar e biomassa, através da compra de energia pela ELETROBRÁS.

Pretende estimular o crescimento destas fontes de energia alternativa de modo a atingir, em 20 anos, o percentual de 10% do total de geração do País

Nos projetos para pequenas comunidades isoladas, pode ser vantajosa a produção de energia elétrica pelo programa PROINFA. Se não existir energia hidráulica disponível a baixo custo, a alternativa térmica, usando metano do biogás, pode ser considerada. O estudo deve incluir não somente os aspectos econômicos (rentabilidade), mas também os benefícios sociais e ambientais.

PROGRAMA de INCENTIVO às FONTES ALTERNATIVAS de ENERGIA ELÉTRICA = PROINFA

Potencial de geração de energia elétrica com Metano (Fig. 8)

potencial de metano disponível
Poder calorífico inferior do metano
Eficiência de uma motogerador a gás (mini-turbina).
Quantidade de energia elétrica possível por kg de Metano.
Custo estimado da energia produzida
Energia térmica disponível para aproveitamento
Custo do sistema motogerador, 25 anos prazo.
Co-geração instalada possível

Só RSU	RSU+Esgoto
42,22 t/dia	83,26 t/dia
11900 kcal/kg	11900,0 kcal/kg
27% (fabricante, Turbec 100)	
3,7 kWh/kg	3,7 kWh/kg
0,25 R\$/kWh	0,25 R\$/kWh
7818 kcal/kg	15416,9 kcal/kg
R\$/ano	R\$/ano
6574,9 kW	12965,1 kW

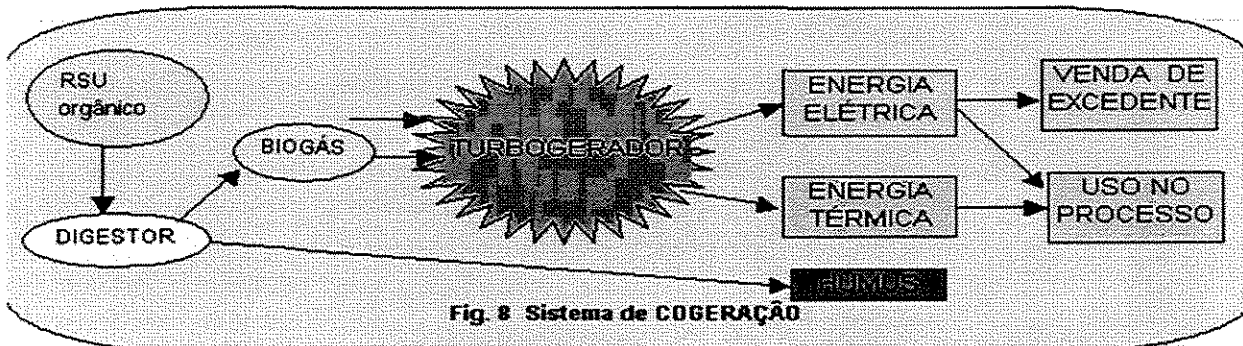


Fig. 8 Sistema de COGERAÇÃO

Para informação adicional:

www.gasnet.com.br/gasnet_br/cogeração/novidades17.htm Acesso: 2004-07-02

<http://www.gasnet.com.br/>

clique CO-GERAÇÃO e ARTIGOS

Análise do biogás (BARUERI - SP) de lodo de ETE

com potencial efeito estufa 24 vezes maior do que o dióxido de carbono

Composição	% vol.	Var %	% peso	
Metano	62,5	2	0,032	40,57%
CO ₂	31	0,9	0,02903226	55,34%
outros (ar)	6,5	3	0,46153846	4,09%
				100,000%

Compostos de Enxofre:	<i>mg / m³</i>	(traças)	
H ₂ S	8,59		
Enxofre total (como S)	9,369	<i>mg / m³</i>	0,00082
Poder Calorífico Superior:	5500	<i>kcal / m³</i>	63,6%
Densidade	0,874	<i>kg / m³</i>	9400 <i>kcal / m³</i>
			com 92%v concentração
pressão	150		200 <i>mm c.a.</i> (gasômetro)
volume produzido	2200	<i>m³ / d</i>	

Características do sistema de digestão do lodo e parâmetros operacionais

- Número de digestores: 2 conjuntos de 4 unidades;

- Diâmetro:	33	<i>m</i>
- Profundidade junto à parede:	10	<i>m</i>
- Área unitária: 855,3 m ² ;	855,3	<i>m²</i>
- Volume unitário: 10 492 m ³ ;	10492	<i>m³</i>
- Altura total:	12,27	<i>m</i>
- Espaço livre acima para o gás:	2,27	<i>m</i>
		1939,014 <i>m³</i>

Considerações técnicas

Aproximadamente 30% da energia contida no biogás é convertida em energia elétrica e 60% podem ser introduzidos em sistemas de reaproveitamento, como aquecimento dos digestores. Estes 30% estão diretamente ligados à eficiência das tecnologias de conversão de energia contida no biogás em energia elétrica, por motores ou turbinas. O consumo de biogás na microturbina é da ordem de 480 m³/dia, o que representa 20% do biogás gerado na ETE Barueri, para o rendimento no sistema da ordem de 27% (fabricante).

Energia útil da microturbina =	30 <i>kW</i>	25791 <i>kcal/h</i>
	859,7 <i>kcal/kwh</i>	
Energia do biogás = E útil/rendimento		95522,2222 <i>kcal/h</i>
rendimento da turbina	27%	
Consumo de biogás = E do biogás/PCI	19,6953036 <i>m³ / h</i>	472,687285 <i>m³ / d</i>
PCI biogás	4850 <i>kcal / m³</i>	

472,7 *m³ / d* equivale ao biogás gerado por uma comunidade de pequeno porte 77800 habitantes

Principais equipamentos e tecnologias utilizadas no projeto de Barueri

- Microturbina 30 kW, consumo d 472,7 *m³ / d* biogás de esgoto
- Separadores de umidade e secador por refrigeração para desumidificação do biogás;
- Filtros coalescentes para eliminação de umidade e aerossóis de óleo;
- Filtro de carvão ativado para eliminar compostos de enxofre;
- Compressor de palhetas para adequar pressão do biogás na alimentação da microturbina;
- Transmissores de pressão, temperatura, vazão e umidade para monitoramento e proteção;
- Sistema supervisão para monitoramento remoto via rede interna Intranet.

Considerações de custo, incentivos legais, definições e outras relacionadas com cogeração

Proinfra:	Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002	Decreto Lei número 1872, de 21/05/1991
PPI:	Resolução no. 23, de 5 de julho de 2001	Resolução no. 56, de 16 de outubro de 2001
EE	Decreto número 2003, 11/09/1996	Resolução 281/1999 - 04/10/1999 Seção 1
ANEEL	Resolução número 021, de 24/01/2000	Portaria número 1474, de 16/12/1988
	Resolução número 112, de 18/05/1999	Resolução 281/1999 - 01/10/1999
	http://www.ferc.fed.us/intro/acts/purpa.htm	

A11 - Depuração2 [Voltar p Info Tecnológica](#)

A planilha Depuração permite analisar diferentes configurações de depuradores e calcula seus balanços de fluxo para comparar eficiências de depuração, perdas e pureza esperada, usando o conceito de Seletividade.

INSTRUÇÕES

A planilha depuração foi preparada para simular o desempenho de um sistema de depuração com três diferentes configurações. Aplicando o conceito de Seletividade, pode ser simulado matematicamente o efeito na depuração de diferentes taxas de rejeito. Os valores da Seletividade devem ser valores reais para boa representatividade da simulação. Por enquanto, são hipotéticos. Para usar, entrar dados em quadros amarelos. Os valores da taxa de rejeito de cada estágio e configuração podem ser ajustados pelo Solver de modo que as concentrações de impurezas sejam menores que 100% e a pureza seja o valor desejado. Se não desejar usar o Solver, também é possível entrar manualmente os dados das taxas de rejeitos.

Para usar o Solver, se clica em Ferramentas/Suplementos e se marca a Caixa de Seleção Solver.

Se clica novamente em Ferramentas e seleciona Solver. Se abre a Janela: Parâmetros do Solver.

Definir célula de destino: (é a condição que se quer, neste caso, minimizar: a perda).

Se fazer célula G41 = D44, e se escolher configuração Verde é C50, ou C51 para Vermelha, ou C52 para Azul.

Se fazer célula G41 = G44, e se escolher configuração Verde é F50, ou F51 para Vermelha, ou F52 para Azul.

Se fazer célula G41 = J44, e se escolher configuração Verde é I50, ou I51 para Vermelha, ou I52 para Azul.

Igual a: especificar mínimo (pois se deseja perda mínima).

Especificar células a serem ajustadas: Para o Solver fazer automaticamente o ajuste de seus valores.

Se fazer célula G41 = D44, e se escolher configuração Verde é C46:E46, ou C47:E47 para Vermelha, ou C48:E48 para Azul.

Se fazer célula G41 = G44, e se escolher configuração Verde é F46:H46, ou F47:H47 para Vermelha, ou F48:H48 para Azul.

Se fazer célula G41 = J44, e se escolher configuração Verde é I46:K46, ou I47:K47 para Vermelha, ou I48:K48 para Azul.

Submeter as restrições: Adiciona, uma a uma, com ADICIONAR, as restrições desejadas, neste caso são:

0<Conc<99% (Conc. Impurezas entre 0 e 99%); 0<R%<99%; Perda>0 e Cd<C desejada

Para configuração Verde: H64:H73>0; H64:H73<99. Se G41= D44; C46:E46>0; C46:E46 < 99%; C50>0; D50<\$G\$42

Para configuração Verde: H64:H73>0; H64:H73<99. Se G41= G44; F46:H46>0; F46:H46 < 99%; F50>0; G50<\$G\$42

Para configuração Verde: H64:H73>0; H64:H73<99. Se G41= J44; I46:K46>0; I46:K46 < 99%; I50>0; J50<\$G\$42

Para configuração Vermelha: H89:H98>0; H89:H98<99. Se G41= D44; C47:E47>0; C47:E47 < 99%; C51>0; D51<\$G\$42

Para configuração Vermelha: H89:H98>0; H89:H98<99. Se G41= G44; F47:H47>0; F47:H47 < 99%; F51>0; G51<\$G\$42

Para configuração Vermelha: H89:H98>0; H89:H98<99. Se G41= J44; I47:K47>0; I47:K47 < 99%; I51>0; J51<\$G\$42

Para configuração Azul: H114:H123>0; H114:H123<99. Se G41= D44; C48:E48>0; C48:E48 < 99%; C52>0; D52<\$G\$42

Para configuração Azul: H114:H123>0; H114:H123<99. Se G41= G44; F48:H48>0; F48:H48 < 99%; F52>0; G52<\$G\$42

Para configuração Azul: H114:H123>0; H114:H123<99. Se G41= J44; I48:K48>0; I48:K48 < 99%; I52>0; J52<\$G\$42

Se errar, clicar em ALTERAR antes de fazer a correção.

Para realizar o ajuste, clicar em Resolver. Se não, em Fechar

Nas células amarelas, podem ser entrados os dados da Seletividade e das Taxas de Rejeitos.

Dados:	% peso	% peso		
	29,5%	95%		
Quantidade de material a depurar	t/dia	143,9	Dado local	
Quantidade de impurezas na alimentação	t/dia	42,2	Dado local	
Pureza desejada	%	99,00%	Dado local	CO ₂
Seletividade dos depuradores	Vide NOTAS A127	0,855	Igual a valores em D44, G44 ou J44.	
Concentração de impurezas no material depurado		1,00%		

R1	R2	S= 0,995			S= 0,925			S= 0,855		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
15,8%	33,6%	29,3%	0,0%	0,0%	0,0%	99,8%	34,7%	15,8%	33,6%	57,4%
91,2%	78,2%	29,5%	99,0%	92,4%	93,3%	28,0%	4,0%	91,2%	78,2%	1,2%
99,0%	0,0%	29,2%	99,0%	0,7%	60,0%	2,5%	60,0%	99,0%	0,0%	99,0%
R3	Configur.	Perda	Cd	Eficiênc.	Perda	Cd	Eficiênc.	Perda	Cd	Efic.
57,4%	Verde	0,421	0,496%	0,9881	0,642	0,100%	0,9910	0,418	0,852%	0,979
1,2%	Vermelha	0,421	0,490%	0,9882	29,766	0,023%	0,9986	0,417	0,88%	0,979
99,0%	Azul	0,424	0,205%	0,9951	1,700	0,100%	0,9912	0,423	0,31%	0,993

SISTEMA DE DEPURAÇÃO COM CONFIGURAÇÃO VERDE (Fig. 5.1)

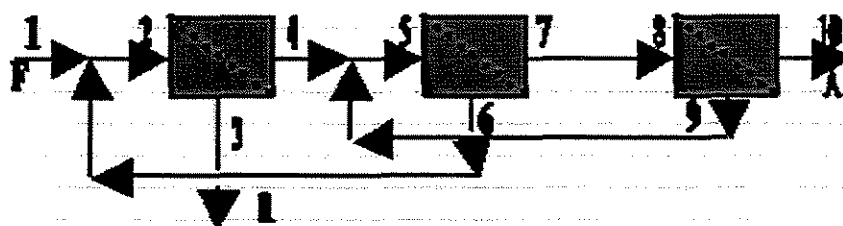


Fig. 5.1 Configuração verde

Balanco de Fluxos do Sistema

Número da linha	Descrição Sistema Verde	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeitos	
1	Alimentação do sistema	143,89	42,222	29,34%		
2	Alimentação do primeiro depurador	264,99	73,395	27,70%	E1=	0,5634
3	rejeito do sistema	41,77	41,352	99,00%	R1=	0,1576
4	depurado do primeiro Depurador	223,22	32,043	14,35%		
5	Alimentação do segundo depurador	360,60	40,113	11,12%	E2=	0,777
6	rejeito do segundo depurador	121,10	31,173	25,74%	R2=	0,336
7	depurado do segundo depurador	239,51	8,940	3,73%		
8	alimentação do terceiro depurador	239,51	8,940	3,73%	E3=	0,903
9	rejeito do terceiro depurador	137,38	8,070	5,87%	R3=	0,574
10	material depurado	102,12	0,870	0,852%	E=	0,9794

SISTEMA DE DEPURAÇÃO COM CONFIGURAÇÃO VERMELHA (Fig. 5.2)

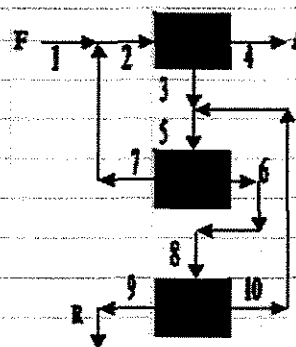


Fig. 5.2 Configuração Vermelha

Balanco de Fluxos do Sistema

Número da linha	Descrição Sistema Vermelho	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeitos	
1	Alimentação do sistema	143,9	42,22	29,34%		
2	Alimentação do primeiro depurador	1155,7	64,71	5,60%	E1=	0,9861
3	rejeito do primeiro depurador	1053,5	63,82	6,06%	R1=	0,9116
4	Material depurado	102,2	0,90	0,88%		
5	Alimentação do segundo depurador	4631,8	577,48	12,47%	E2=	0,9611
6	rejeito do segundo depurador	3620,1	554,99	15,33%	R2=	0,7816
7	depurado do segundo depurador	1011,8	22,49	2,22%		
8	alimentação do terceiro depurador	3620,1	554,99	15,33%	E3=	0,0745
9	rejeito do sistema	41,7	41,32	99,00%	R3=	0,0115
10	depurado do terceiro depurador	3578,3	513,67	14,35%	E=	0,9787

SISTEMA DE DEPURAÇÃO COM CONFIGURAÇÃO AZUL (Fig.5.3)

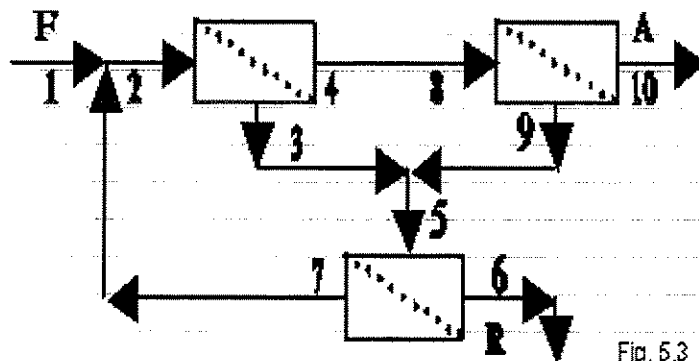


Fig. 5.3 Configuração Azul

Balanco de Fluxos do Sistema

2

Número da linha	Descrição Sistema Azul	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeitos
1	Alimentação do sistema	144	42,22	29,34%	
2	Alimentação do primeiro depurador	1004422	144206,2	14,36%	E1= 0,9985
3	rejeito do primeiro depurador	994322	143994,2	14,48%	R1= 0,9899
4	depurado do primeiro Depurador	10100	212,1	2,10%	
5	Alimentação do segundo depurador	1004320	144205,9	14,36%	E2= 0,0003
6	rejeito do sistema	42	41,9	99,0%	R2= 0,0000
7	depurado do segundo depurador	1004278	144164,0	14,35%	
8	alimentação do terceiro depurador	10100	212,08	2,10%	E3= 0,9985
9	rejeito do terceiro depurador	9998	211,77	2,12%	R3= 0,9899
10	material depurado	102	0,31	0,31%	E= 0,9926

NOTAS

Os valores da Seletividade devem ser os valores experimentais dos depuradores disponíveis. Para permitir o uso do Solver, tais valores são entrados nas células D44, G44 e/ou J44.

No modelo, se aplica a suposição que a seletividade dos três depuradores é igual. Para diferentes valores, se deve modificar o programa.

Conclusões da Simulação de depuração de metano

Para baixa seletividade, $S=0,855$, somente a configuração verde apresenta resultados viáveis.

Considerando o metano como impureza, ele sai quase puro, mas tem perda importante, que sai com o dióxido de Carbono.

Para elevada seletividade, somente um depurador será necessário, com elevada pureza do metano e do dióxido de Carbono.

Para evitar a acentuada perda em rendimento do metano, elevada seletividade deve ser usada. Somente um depurador (Fig.9) é suficiente.

Número da linha	Descrição	Total t/d	contam. t/d	Conc. %	Eficiências e Taxas de Rejeitos
2	Alimentação do primeiro depurador	143,9	42,2	29,34%	E1= 0,9879
3	rejeito do primeiro depurador	41,7	41,7	99,96%	R1= 0,2900
4	depurado do primeiro Depurador	102,2	0,5	0,50%	S= 0,9950

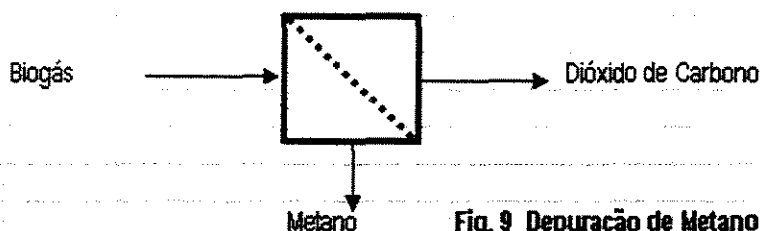


Fig. 9 Depuração de Metano

Para seletividade de 0,995, o Metano é separado quase completamente, com 99,96% de pureza.

O Dióxido de Carbono também é separado quase completamente, com 99,5 % de pureza.

A perda de metano são 0,5 t/d que saem com o dióxido de Carbono

Elevada seletividade de separação é possível com reativo específico em torre descarbonatadora. Uma outra torre é necessária para regenerar o reativo. Energia elétrica transformada em mecânica para bombeamento e trocadores de calor são necessários.

A12 - Econômico Voltar p Info Tecnológica

Antes de usar esta planilha, atualizar primeiro a planilha Custos!

A ANÁLISE ECONÔMICA SERVE PARA COMPARAR O EFEITO DO TAMANHO (QUANTIDADE DE RSU) E DA ETAPA DE IMPLANTAÇÃO NAS ESTIMATIVAS PRELIMINARES ECONÔMICAS DO EMPREENDIMENTO

Antes de usar esta planilha, a planilha Custos deve ser preenchida com valores reais. Os valores iniciais são estimativas muito preliminares.

Os valores das tabelas são calculados automaticamente ao satisfazer as condições de cada célula.

Os valores das toneladas, no quadro amarelo, podem ser mudados a vontade. Valores negativos não são permitidos.

Para preencher com os valores calculados, se deve "rodar" a planilha mudando os dados da tonelagem de modo que seja a mesma de cada célula da Tabela.

As etapas de implantação também devem ser mudadas. Uma forma fácil de fazer é na planilha dados, mudar sucessivamente os valores da tonelagem e etapas de implantação, de modo de preencher as três tabelas (TAB.1, TAB.2 e TAB.3) com os novos dados.

TAB.1 Etapa inicial

Quantidade de RSU (1) disponível	l/dia	25	50	100	200	400	800	450
Requerimentos totais de capital (2)	R\$	-	-	-	-	-	-	13.879.177
Requerimentos totais de pessoal (3)	peessoas	-	-	-	-	-	-	309
Faturamento anual (4)	R\$/ano	-	-	-	-	-	-	14.930.178
Gastos totais (5)	R\$/ano	-	-	-	-	-	-	15.014.292
Lucro líquido antes de impostos	R\$/ano	-	-	-	-	-	-	(84.114)
Impostos	R\$/ano	-	-	-	-	-	-	-
Lucro líquido depois de impostos	R\$/ano	-	-	-	-	-	-	(84.114)
Tempo de retorno do capital	anos	-	-	-	-	-	-	infinito

Notas:

(1) Parâmetro básico de dimensionamento e a coleta diária de RSU. Valores para comparar efeito do tamanho.

(2) Estimativa preliminar para dados hipotéticos. Cada caso depende das condições locais.

(3) Somente um dado de uma cooperativa de catadores.

(4) potencial de faturamento segundo composição do RSU e preços. Dados reais.

(5) estimados em forma preliminar. Valores hipotéticos.

TAB.2 Etapa intermediária

Quantidade de RSU disponível	l/dia	25	50	100	200	400	800	450
Requerimentos totais de capital (2)	R\$	-	-	-	-	-	-	18.004.182
Requerimentos totais de pessoal (3)	peessoas	0	0	0	0	0	0	1207
Faturamento anual (4)	R\$/ano	-	-	-	-	-	-	20.900.150
Gastos totais (5)	R\$/ano	-	-	-	-	-	-	25.199.194
Lucro líquido antes de impostos	R\$/ano	-	-	-	-	-	-	(4.299.044)
Impostos	R\$/ano	-	-	-	-	-	-	-
Lucro líquido depois de impostos	R\$/ano	-	-	-	-	-	-	(4.299.044)
Tempo de retorno do capital	anos	-	-	-	-	-	-	infinito

TAB.3 Etapa Final

Quantidade de RSU disponível	l/dia	25	50	100	200	400	800	450
Requerimentos totais de capital (2)	R\$	-	-	-	-	-	-	80.664.432
Requerimentos totais de pessoal (3)	peessoas	0	0	0	0	0	0	3040
Faturamento anual (4)	R\$/ano	-	-	-	-	-	-	219.378.129
Gastos totais (5)	R\$/ano	-	-	-	-	-	-	115.381.591
Lucro líquido antes de impostos	R\$/ano	-	-	-	-	-	-	103.996.538
Impostos	R\$/ano	-	-	-	-	-	-	36.398.788
Lucro líquido depois de impostos	R\$/ano	-	-	-	-	-	-	67.597.749
Tempo de retorno do capital	anos	indefinido	indefinido	indefinido	indefinido	indefinido	indefinido	1,19

Comentário

Mesmo que o faturamento aumente bastante na etapa final, para sistema tradicional de produção fabril, os custos são maiores que o faturamento a partir de certa tonelagem para baixo. Isto significa que consórcios de prefeituras são desejáveis, como forma de reduzir custos. O problema é complexo, porque intervêm o custo de transporte, pelo que um método que possa incluir informação geográfica referenciada é desejável.

Em geral, desde apenas o ponto de vista econômico, não seria viável o sistema nas etapas iniciais nem para baixas tonelagens (<200t/d).

Criatividade e inovação devem ser aplicados para reverter esta situação e permitir aplicar o Sistema AAA a todos os municípios brasileiros, para benefício deste lindo Brasil.

A análise da estrutura de custos permite ver que se bem o faturamento é proporcional à tonelagem, os gastos não o são, mesmo que a mão de obra sim o seja. Desde um ponto de vista geral, pode ser muito vantajosa a cogeração e o tratamento conjunto de efluentes e resíduo sólido, especialmente onde não há ET

Formas criativas de melhorar balanço econômico em pequenas comunidades

Excedentes de água recuperada permitem hidropônia e aquicultura. São requeridas grandes áreas e luz solar. Especial para Brasil.

Resíduos sem aproveitamento direto podem ter diversas aplicações na fabricação de compostos e materiais de construção tipo prefabricado, com encanamentos e fiação embutidos, vantagem de rápida montagem, fácil e econômica.

Aplicação de resíduos em pavimentos. Produção de móveis. Produção de grande variedade de componentes industriais.

Vermicompostagem. Cultivo de cogumelos. Aplicações pecuária e agricultura.

Uso responsável de todos os recursos para crescimento sustentável do negócio.

Uso de padrões e normas ABNT para manejo ambiental. Resultados comparáveis.

As combinações de problemas locais em formas criativas de modo que resultem vantagens para todas as áreas envolvidas é a base da técnica de transformar problemas em vantagens.

Etapa do empreendimento		Inicial	Intermediária	Final
Resíduo sólido urbano tratado	t/dia	253,6	295,8	380,1
Requerimentos totais de capital (1)	R\$	13.879.177	18.004.182	80.664.432
Requerimentos totais de pessoal (2)	pessoas	309	1.207	3.040
Faturamento anual (3)	R\$/ano	14.930.178	20.900.150	219.378.129
Gastos totais (4)	R\$/ano	15.014.292	25.199.194	115.381.591
Lucro líquido antes de Impostos	R\$/ano	(84.114)	(4.299.044)	103.996.538
Impostos	R\$/ano	-	-	36.398.788
Lucro líquido depois de Impostos	R\$/ano	(84.114)	(4.299.044)	67.597.749
Tempo de retorno do capital	anos	infinito	infinito	1,2

Notas:

(1) Estimativa preliminar para dados hipotéticos. Cada caso depende das condições locais.

(2) Somente um dado de uma cooperativa de catadores.

(3) potencial de faturamento segundo composição do RSU e preços.

(4) estimados em forma preliminar. Valores hipotéticos.

A13 - CUSTOS

Voltar p Info Tecnológica

A estrutura de gastos tradicional, que separa gastos fixos e variáveis, não é adequada para o estudo de diferentes tamanhos de instalação.

Os principais componentes de custos são:

custo financeiro do capital	Muito elevado no sistema normal de financiamento. Tentar financiamento Internacional.
mão de obra	Incluindo benefícios e leis sociais.
energia elétrica	Diferentes tarifas e variação no horário de pico. Cogeração para locais isolados é interessante.
água	Somente para consumo humano. No processo é recirculada. Excedente comercializada
disposição de resíduos	Resíduos nas etapas 1 e 2 requerem destino adequado. Tem custo.
manutenção	Segundo materiais de construção utilizados, desgaste e reposição de peças pode ser importante. Estimado 5% do capital como gasto anual.

Os custos de capital, são:

preço dos equipamentos	100% nacional	Custos adicionais são:
custo de instalação	100% nacional	treinamento e educação ambiental
infraestrutura	100% nacional, recursos próprios.	programas de desenvolvimento social
capital de giro	3 meses de salários	

Custo de Capital **Dimensionamento dos equipamentos e Cotação de preços dos fabricantes é necessária.**

Equipamentos/Etapa	Valores muito preliminares			1	2	3
Lista de Equipamentos	Capacidade da linha: Unidades		R\$/ u			
Fração Orgânica	138,9 <i>U/dia</i>					
Sala descarga subpressur.	30,0 <i>m²</i>	2	200.000	400.000,00	400.000,00	400.000,00
Rampa de descarga	138,9 <i>U/dia</i>	2	10.000	20.000,00	20.000,00	20.000,00
Grade		2	100	200,00	200,00	200,00
Esteira seletora	138,9 <i>U/dia</i>	26	5.000	130.000,00	130.000,00	130.000,00
Eletroímã	138,9 <i>U/dia</i>	2	3.500	7.000,00	7.000,00	7.000,00
Torre de alimentação	138,9 <i>U/dia</i>	2	200.000	400.000,00	400.000,00	400.000,00
Desagregador seletivo	138,9 <i>U/dia</i>	2	800.000	1.600.000,00	1.600.000,00	1.600.000,00
Sistema de purga	55,6 <i>U/dia</i>	1,447319	100.000	144.731,87	144.731,87	144.731,87
Esteira seletora	55,6 <i>U/dia</i>	11	5.000	55.000,00	55.000,00	55.000,00
Moinho Mat. orgânico duro	55,1 <i>U/dia</i>	2,485372	25.000	62.134,30	62.134,30	62.134,30
Bomba centrífuga	800,0 <i>GPM</i>	1	20.000	20.000,00	20.000,00	20.000,00
HDC	800,0 <i>GPM</i>	2	25.000	50.000,00	50.000,00	50.000,00
Depurador pressurizado	218,0 <i>GPM</i>	0,89627	750.000	-	672.202,23	672.202,23
Peneira Vibratória 8mm	55,4 <i>U/dia</i>	2	100.000	200.000,00	200.000,00	200.000,00
Esteira seletora	55,4 <i>U/dia</i>	12	5.000	60.000,00	60.000,00	60.000,00
Prensa desaguadora	138,9 <i>U/dia</i>	5	750.000	3.750.000,00	3.750.000,00	3.750.000,00
Sistema tratamento efluentes	1,9 <i>m³</i>	0,003868	100.000	386,79	386,79	386,79
Alimentador	138,9 <i>U/dia</i>	2	700.000	1.400.000,00	1.400.000,00	1.400.000,00
Digestor	138,9 <i>U/dia</i>	0,540099	100.000	54.009,93	54.009,93	54.009,93
Sistema tratamento de gases		1	450.000	-	450.000,00	450.000,00
Sistema tratamento húmus	55,1 <i>U/dia</i>	0,257663	275.000	-	70.857,30	70.857,30
Laboratório análise		1	100.000	50.000,00	100.000,00	200.000,00
Silo de composto	60,2 <i>m³</i>	0,387044	200.000	77.408,82	77.408,82	77.408,82
Sistema de controle integrado		1	100.000	100.000,00	100.000,00	100.000,00
Total	R\$			8.580.871,72	9.823.931,25	9.923.931,25

Equipamentos/Etapa	Valores muito preliminares		1	2	3
Lista de Equipamentos	Capacidade da linha: Unidades R\$/u				
Fração Inorgânica	56,2 t/d				
Rampa de descarga		1 10.000	10.000,00	10.000,00	10.000,00
Esteiras seletoras	56,2 t/d	11 7.500	82.500,00	82.500,00	82.500,00
esteiras transportadoras	56,2 t/d	2 2.500	5.000,00	5.000,00	5.000,00
pressas enfardadoras	n	15.000	90.000,00	90.000,00	90.000,00
fragmentadores		1 25.000	25.000,00	25.000,00	25.000,00
tratamento de resíduos		1 1.000.000	1.000.000,00	2.000.000,00	4.000.000,00
secadores		1 250.000	250.000,00	1.000.000,00	4.000.000,00
unidades manufatureiras	n	5.000.000			40.000.000,00
embalagem de produtos	n	150.000			1.200.000,00
Certificação de Qualidade		1 100.000	100.000,00	100.000,00	100.000,00
Bodega		1 200.000	200.000,00	200.000,00	200.000,00
Total			1.762.500,00	3.512.500,00	49.712.500,00
custo de instalação			3.620.180,10	4.667.750,94	20.872.750,94
Estimativa do custo total da instalação			13.963.551,82	18.004.182,18	80.509.182,18

Custo da mão de Obra	pesoas	R\$/mês legal + benef.		1	2	3
				R\$/ano	R\$/ano	R\$/ano
Catadores	1193	230	2	7.134.140,00	7.134.140,00	7.134.140,00
Operadores	3	30	2	46.800,00	93.600,00	468.000,00
Vendedores	3	30	2	35.880,00	71.760,00	358.800,00
Gerentes	1	4	2	26.000,00	52.000,00	104.000,00
Total	1200	1207	1257	7.242.820,00	7.351.500,00	8.064.940,00

Insumos

Energia elétrica	115106400 kWh/a.	0,25 R\$/kWh	3.836.880,00	5.755.320,00	28.776.600,00
teléfono/fax					
Internet					
Água					
Tratamento e disposição resíduo					
manutenção	5% Capital		698.177,59	900.209,11	4.025.459,11
treinamento	5% Faturamento		796.215,70	1.084.040,97	10.986.593,27
desenvolvimento social	5% Lucro		-	-	3.271.294,26
Total			5.331.273,29	7.739.570,07	47.059.946,64

Custo capital	juro anual					
juros e amortização 25 anos	7%			7.869.857,81	10.147.157,08	49.400.434,19
Seguros e depreciação	5%	5%	10%	698.177,59	900.209,11	8.050.918,22

Estimativa de custos de coleta

População atendida	50000 habitantes	
Área urbana	250 hectáreas	
Distância centro coleta a destino	25 km	
produção de lixo domiciliar	30 <i>Ud</i>	
frequência da coleta	1 diária	
Capacidade de veículos de coleta	12 m ³	
turno	7,33 h	
tempo coleta (4km/h)	10 h	
ciclo carga-transporte-descarga	1,13 h	
motoristas	4 motorista	
coletores	8 coletores	
total empregados coleta	12 empregados	
custo operação aterro	6240 R\$/mês	6,93 R\$/t
custo mensal veículos e motoristas	12600 R\$/mês	14 R\$/t
custo mensal coletores	5600 R\$/mês	
custo anual	317720 R\$/ano	
custo adm	328473 R\$/ano	
total anual	646193 R\$/ano	
Aseio uso intensivo de mão de obra	600000 R\$/ano	
Custo total anual	1246193 R\$/ano	
Custo por tonelada	113,81 R\$/t	

Estimativas de Custos de Equipamentos

Vide revistas especializadas da área Saneamento e Ambiente, ABES, etc.

A14 - Ambiental

Voltar p Info Tecnológica

O sistema de tratamento de RSU não somente deve satisfazer os requisitos de qualidade ambiental (ISSO 14000) para cumprir as leis, ordenanças, regulações, normativas, etc exigidas, mas principalmente como um diferencial de mercado, demonstrando que a sustentabilidade é possível e promovendo um melhor habitat para as gerações futuras. Controle de efluentes sólidos, líquidos e gasosos é fundamental.

Os efluentes gasosos, líquidos e sólidos devem satisfazer a legislação pertinente.

Efluente	Quantidade	Destino principal	Excedente
Efluente líquido máximo:	75,6 <i>tdia</i>	Agrícola e industrial.	curso de água
Efluente sólido máximo:	154,2 <i>tdia</i>	Reciclagem	Aterro
Efluente gasoso máximo:	42,2 <i>tdia</i>	Cogeração e venda	Flare

O ar deve ser monitorado em lugares estratégicos 24 h/d, com sistema automático para registro dos valores e alerta. Fumaça é fácil de monitorar mas a combustão do metano é importante por segurança, saúde, efeito estufa (acima de 20 vezes maior que o dióxido de carbono) e relevante fator econômico.

Qualidade do Ar

Resolução CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990.

	Alerta	Máximo	Média
		1 hr ao ano	anual
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO_2	800	<365	80
partículas suspens prod acima	375 6695	<240	80
CO	17.000	< 40.000	10.000
O_3	400	< 160	
partículas inaláveis	250	< 150	50
fumaça	250	< 150	60
NO_2	1130	< 320	100

O efluente para cursos de água classe 3 deve ser controlado periodicamente, para assegurar satisfação da qualidade. Monitoramento contínuo baseado num aspecto relevante fácil de monitorar é desejável.

Qualidade da Água

Resolução CONAMA nº 020, de 18 de junho de 1986.

Art. 6.º - Para as águas de Classe 3 são estabelecidos os limites ou condições seguintes:

- a) **materiais flutuantes**, inclusive espumas não naturais: virtualmente **ausentes**;
- b) **óleos e graxas**: virtualmente **ausentes**;
- c) substâncias que comuniquem **gosto ou odor**: virtualmente **ausentes**;
- d) não será permitida a presença de **corantes artificiais** que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;
- e) substâncias que formem objetáveis: virtualmente ausentes;
- f) número de **coliformes fecais** até **4.000 por 100 mililitros** em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês; no caso de não haver, na região, meios disponíveis para o exame de coliformes fecais, índice limite será de até 20.000 coliformes totais por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 5 amostras mensais colhidas em qualquer mês;
- g) **DBOs dias a 20º C** até **10 mg/l O₂**;
- h) **OD (Oxigênio dissolvido)**, em qualquer amostra, não inferior a **4 mg/l O₂**;
- i) **Turbidez**: até 100 UNT;
- j) **Cor**: até 75 mg Pt/l;
- l) **pH**: 6,0 a 9,0;

m) Substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos):

0,1	mg/l Al
0,05	mg/l As
1	mg/l Ba
0,1	mg/l Be
0,75	mg/l B
0,01	mg/l Benzeno
0,00001	mg/l Benzo-a-pireno
0,001	mg/l Cd
0,01	mg/l CN
0,03	mg/l Pb
250	mg/l Cl
0,2	mg/l Co
0,02	mg/l Cu
0,5	mg/l Cr
0,05	mg/l Cr
0,0003	mg/l dicloroetano
0,01	mg/l dicloroetano
2	mg/l Sn
0,001	mg/l Índice de Fenóis
0,3	mg/l Fe solúvel
1,4	mg/l Fluoretos
0,025	mg/l P total
2,5	mg/l Li
0,1	mg/l Mn

Substâncias potencialmente prejudiciais (teores máximos):

0,0002 mg/l Hg
0,026 mg/l Ni
10 mg/l Nitrato
1 mg/l Nitrito
1 mg/l Nitrogênio amoniacal
0,01 mg/l Ag
0,01 mg/l Pentaclorofenol
0,01 mg/l Se
500 mg/l sólidos dissolvidos totais
0,5 mg/l Subst Tensioativas reagente Azul de Metileno
250 mg/l SO ₄
0,003 mg/l como H ₂ S não dissociado
0,01 mg/l tetracloreto
0,03 mg/l tricloreto
0,003 mg/l tetracloreto de Carbono
0,01 mg/l 2, 4, 6 triclorofenol
0,02 mg/l U total
0,1 mg/l V
0,18 mg/l Zn
0,01 µg/l Aldrin
0,04 µg/l Clordano
0,002 µg/l DDT
0,005 µg/l Dieldrin
0,004 µg/l Endrin
0,056 µg/l Endossulfan
0,01 µg/l Epóxido de Heptacloro
0,01 µg/l Heptacloro
3 µg/l Lindano (gama BHC)
30 µg/l Metoxicloro
0,001 µg/l Docecacloro + Nonacloro
0,001 µg/l Bifenilas Policloradas (PCBs)
0,01 µg/l Toxafeno
0,1 µg/l Demeton
0,005 µg/l Guthion
0,1 µg/l Malation
0,04 µg/l Paration
0,02 µg/l Carbanil
10 µg/l Compostos orgânicos fosforados e Carbamato totais em Paration
4 µg/l 2, 4 -D
10 µg/l 2,4,5 - TP
2 µg/l 2,4,5 T

O resíduo para aterro deve ser controlado para assegurar compatibilidade.

Resíduo perigoso para destino adequado.

A15 - Desagregador

SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM DESAGREGADOR DA FRAÇÃO ORGÂNICA DO RESÍDUO SÓLIDO

[Voltar p Info Tecno](#)

- 1• Cada partícula representativa do material (orgânico e impurezas) em proporção variável, forma, tamanho e propriedades físicas.
- 2• Simulação do desempenho da desagregação de material orgânico e impurezas em suspensão aquosa, agitação da suspensão, com decantação simultânea do material pesado numa caixa de rejeitos no fundo do tanque.
O conteúdo máximo de sólidos deve ser determinado baseado na composição e energia de agitação requerida (curvas paramétricas).
- 3• Modelar impacto do rotor contra o material suspenso e atrito entre rotor e placa de extração, resultando em fratura (se material de baixa resistência) ou somente deformação elasto-plástica (se material mais resistente) e movimento de partículas e fluido (energia de agitação e de atrito).
- 4• Passagem probabilístico através dos furos da placa perfurada do material suspenso menor que o tamanho das perfurações (comportamento probabilístico da peneiração, devido a que impurezas menores que os furos podem ser rejeitadas).
- 5• Extração do material transportado por água através dos furos de extração da placa perfurada (fração aceita).
- 6• Descarga periódica do material sedimentado acumulado na caixa de rejeitos (rejeito pesado).
- 7• Purga do desagregador primário através da placa de extração com furos grandes para um desagregador secundário com furos pequenos para separar e lavar em ciclos o material não desagregado.
- 8• Efeito do tempo (energia), em redução de tamanho do material (curva).

A função do Desagregador é desintegrar o material mole e deixar inteiro o duro, para separação mediante peneiração. O material duro é selecionado a mão. O orgânico duro é moído num moinho, hidrolisado e incorporado ao material mole. Lodo de ETE anaeróbia pode ser usado como inóculo do material orgânico, misturado, desidratado e alimentado ao digestor.

Várias alternativas de desagregador podem ser experimentadas. Geralmente o desagregador vai no fundo de uma torre que acumula o material putrescível coletado.

A injeção de água na zona agitada e a extração seletiva permite a seleção do material orgânico em forma hidromecânica. As purgas periódicas evitam a acumulação de material que não desagrega no fundo da torre.

Os parâmetros importantes para o processo são a energia específica requerida, a concentração de sólidos totais, temperatura, relação diâmetro do desagregador ao diâmetro da torre e pressão de injeção de água de diluição.

A simulação do desempenho do desagregador não permite encontrar os valores destes parâmetros, que devem ser encontrados em forma experimental, pois não foram encontrados dados disponíveis.

Existe uma referência antiga de Black Clawson usando um desagregador para aparas de papel carregado com RSU. Teste mostrou que perfurações de 1" e 5% de consistência podiam ser usados. Não houve interesse comercial, possivelmente pelo custo envolvido na separação e pela geração de odores desagradáveis.

Análise Dimensional

A análise dimensional é a ferramenta que permite listar, selecionar e escolher variáveis relevantes ao estudo do sistema. Com a análise dimensional, é possível listar as variáveis consideradas relevantes (TABELA 5.1) e logo após a análise (TABELAS 5.2 e 5.3), obter grupos adimensionais de variáveis. A forma como estes números adimensionais se relacionam permite realizar cálculos do comportamento do sistema em forma independente da escala ou tamanho do sistema.

Em cada componente do sistema, deve-se realizar a análise dimensional para encontrar suas variáveis relevantes. As operações unitárias correspondentes podem ser estudadas mediante a análise dimensional.

TABELA 5.1 Lista de variáveis estimadas e suas dimensões

Variáveis	Dimensões	Descrição
K_1 D	L	Diâmetro do rotor
K_2 F	L	Folga entre placa e rotor
K_3 N	T^{-1}	Rotação
K_4 μ	$ML^{-1}T^{-1}$	Viscosidade da suspensão
K_5 V	L^3	Volume agitado
K_6 M	M	Massa a agitar e desagregar
K_7 E	ML^2T^{-3}	Consumo de potência de desagregação
K_8 Y	$ML^{-1}T^{-2}$	Resistência do material a desagregar
K_9 C	ML^{-3}	Concentração de sólidos
K_{10} t	T	Tempo de desagregação
K_{11} W	MLT^{-1}	Movimento de agitação
K_{12} P	ML^2T^{-2}	Energia de desagregação

TABELA 5.2 MATRIZ DIMENSIONAL

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	K_{12}
	D	F	N	μ	V	m	E	Y	C	t	W	P
M	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1
L	1	1	0	-1	3	0	2	-1	-3	0	1	2
T	0	0	-1	-1	0	0	-3	-2	0	1	-1	-2

Equações

$$M \quad K_4 + K_6 + K_7 + K_8 + K_9 + K_{11} + K_{12} = 0 \quad (i)$$

$$L \quad K_1 + K_2 - K_4 + 3K_5 + 2K_7 - K_8 - 3K_9 + K_{11} + K_{12} = 0 \quad (ii)$$

$$T \quad -K_3 - K_4 - 3K_7 - 2K_8 + K_{10} - K_{11} - 2K_{12} = 0 \quad (iii)$$

Resolver K_{10} , K_{11} e K_{12} em termos de K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 K_7 K_8 K_9

$$\text{De (ii)+(iii) e ordenando: } K_{10} = -K_1 - K_2 + K_3 + 2K_4 - 3K_5 + K_7 + 3K_8 + 3K_9 \quad (iv)$$

$$\text{De (i) - (ii) e ordenando: } K_{12} = -K_1 - K_2 + 2K_4 - 3K_5 + K_6 - K_7 + 2K_8 + 4K_9 \quad (v)$$

$$\text{De (i) + (v) e ordenando: } K_{11} = K_1 + K_2 - 3K_4 + 3K_5 - 2K_6 - 3K_8 - 5K_9 \quad (vi)$$

TABELA 5.3 MATRIZ SOLUÇÃO

	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	K_{12}
	D	F	N	μ	V	m	E	Y	C	t	W	P
π_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	-1
π_2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	-1
π_3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
π_4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	-3	2
π_5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-3	3	-3
π_6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-2	1
π_7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	-1
π_8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	-3	2
π_9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	-5	4

Os números π são:

$$\pi_1 = \frac{DW}{tP} = L MLT^{-1} (T M L^2 T^{-2})^{-1} = M^{-1-1} L^{1+1-2} T^{-1-1+2}$$

$$\pi_2 = \frac{FW}{tP} = M^{1-1} L^{1+1-2} T^{-1-1+2}$$

$$\pi_3 = Nt = M^0 L^0 T^{-1+1}$$

$$\pi_4 = \frac{\mu t^2 P}{W^3} = ML^{-1} T^{-1} T^2 (ML^2 T^{-2})^2 (MLT^{-1})^{-3} = M^{1+2-3} L^{-1+4-3} T^{-1+2-4+3}$$

$$\pi_5 = \frac{VW^3}{t^3 P^3} = L^3 (MLT^{-1})^3 T^{-3} (ML^2 T^{-2})^{-3} = M^{3-3} L^{3+3-6} T^{-3-3+6}$$

$$\pi_6 = \frac{mP}{W^2} = M (ML^2 T^{-2}) (MLT^{-1})^{-2} = M^{1+1-2} L^{2-2} T^{-2+2}$$

$$\pi_7 = \frac{Et}{P} = (ML^2 T^{-2}) T (ML^2 T^{-2})^{-1} = M^{1-1} L^{2-2} T^{-3+1+2}$$

$$\pi_8 = \frac{Yt^3 P^2}{W^3} = (ML^{-1} T^{-2}) T^3 (ML^2 T^{-2}) (MLT^{-1})^{-3} = M^{1+2-3} L^{-1+4-3} T^{-2+3-4+3}$$

$$\pi_9 = \frac{Ct^3 P^4}{W^5} = (ML^{-3}) T^3 (ML^2 T^{-2})^4 (MLT^{-1})^{-5} = M^{1+4-5} L^{-3+8-5} T^{3-8+5}$$

Da análise dimensional, pode-se ver que as relações entre as variáveis consideradas no processo de desagregação são bastante complexas.

A lista não é exaustiva, pois podem ser inclusas, também, variáveis da geometria do rotor e do tanque, da agitação e outras relacionadas com a forma e densidade do material em suspensão, o fluxo de extração, a área aberta e o diâmetro das perfurações da placa de extração, etc.

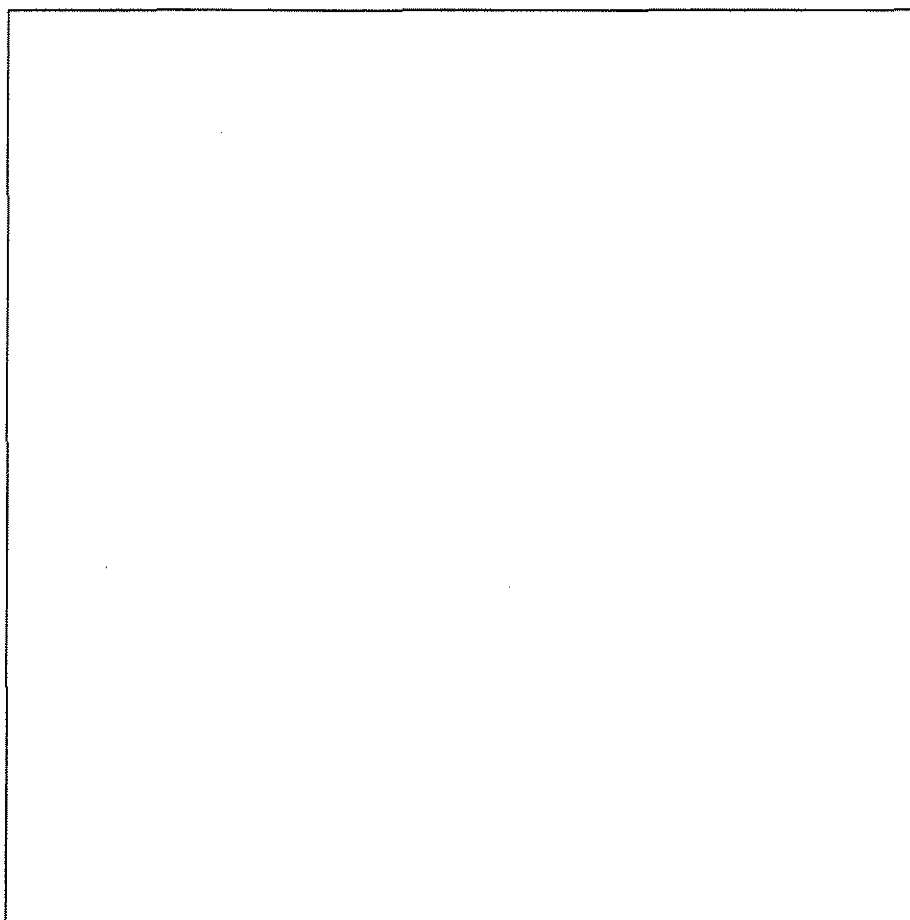
Como fica difícil visualizar a relação das variáveis listadas, a quantidade pode ser reduzida estudando cada operação unitária separada, a pesar de, no desagregador estarem mutuamente influenciadas.

Combinando em forma conveniente os números adimensionais obtidos, podem ser formados números adimensionais de forma conhecida, como por exemplo, o número de Reynolds.

APÊNDICE B Programa de Simulação do desempenho do Sistema AAA – CD Rom

APÊNDICE B Programa de Simulação do desempenho do Sistema AAA – CD Rom

Apresenta-se, em CD-Rom, o programa de simulação do desempenho do Sistema AAA.



CD-Rom, Modelo de Simulação mostrado no Apêndice A

APÊNDICE C Determinação prática da Seletividade

Determinação prática da Seletividade

O valor da Seletividade de um depurador depende do tipo de depurador e do tipo de contaminante que se deseja separar.

Para a determinação prática da Seletividade, se aplica a equação C1, obtida a partir da equação 3.6 (pág.81).

$$S = \frac{E - R}{E(1 - R)} \quad (C1)$$

A equação 1 significa que se pode calcular o valor da Seletividade (S) de um depurador probabilístico se forem conhecidos os valores da Eficiência (E) de remoção de contaminantes e a taxa de rejeito (R) correspondente.

Como os cálculos mostram grande sensibilidade ao valor da Seletividade, esta deveria ser determinada com uma precisão de 3 dígitos, o que significa tratamento estatístico dos dados e planejamento e execução cuidadosos da determinação.

Para a determinação prática, se deve dispor do depurador instalado e de suficiente quantidade de material a depurar para todos os testes.

Para obter os dados experimentais de Eficiência e Taxa de Rejeito, será necessário contatar os fabricantes para a realização de testes de bancada. Dos dados da simulação, somente

serão convenientes equipamentos de depuração com valores de Seletividade acima de 0,99 se elevada pureza é desejada. Como o custo depende do tamanho do equipamento requerido, a configuração vermelha parece a mais adequada para depuradores tipo peneiras ou depuradores centrífugos. Para depuradores tipo lavadoras, ou sistemas de extração química ou de flotação, a configuração verde parece a mais apropriada.

A Taxa de Rejeito, R_i , por definição é o fluxo total que sai rejeitado, r_i , dividido pelo fluxo total de alimentação, F_i , do depurador, expressado na equação C2. Normalmente, em depuradores probabilísticos, o fluxo mássico de rejeitos é regulável.

$$R_i = \frac{r_i}{F_i} \quad (C2)$$

Normalmente são usados métodos gravimétricos, pois as relações são dadas em peso. O método experimental consiste em pegar amostras da alimentação e do rejeito, com medição do tempo e pesagem da amostra para determinar fluxo. O peso é determinado base seco, pelo que se deve determinar a umidade das amostras. Nas mesmas amostras, é determinada a concentração de impurezas, C , para determinar os fluxos de impurezas como produto da concentração pelo fluxo total. A Taxa de Eficiência, E_i , na remoção de impurezas, por definição é o fluxo de impurezas no rejeito, $r_i C_r$, dividido pelo fluxo de impurezas na alimentação, $F_i C_f$, do depurador. Equação C3.

$$E_i = \frac{r_i C_r}{F_i C_f} \quad (C3)$$

Com adequada operatória, os resultados serão reproduzíveis

APÊNDICE D - Planilhas Depuração e Depuração 1

APÊNDICE D - Planilhas Depuração e Depuração 1

O apêndice D foi dividido em Apêndice D1 *Planilha de Depuração* e Apêndice D2 *Planilha Depuração 1*. São inclusas somente pelo valor histórico do desenvolvimento do programa de cálculo e ilustrar o uso de macros, pois foram substituídas no modelo após desenvolver *Depuração 2*, sem iteração, para permitir aplicar o “Solver”.

D.1 Planilha Depuração - Seleção da melhor configuração de um sistema de depuração

A seleção da configuração de equipamentos de depuração mais adequada para proporcionar a máxima eficiência de depuração, com mínima perda de material útil, é um problema prático que é abordado pela simulação do desempenho do sistema de depuração. Para a simulação do sistema, serão dados: três configurações de depuração diferentes, a Seletividade e capacidades dos 3 depuradores (medidas no aceito), fluxos de material depurado e contaminantes e sua concentração no rejeito do sistema. As incógnitas serão: as eficiências de cada sistema para a mesma quantidade de rejeito final que, também, será calculado, assim como os fluxos em cada linha.

Na planilha *Depuração*, são estudadas as configurações verde, vermelha e azul, da Fig. D.1. Após a entrada dos dados, ao clicar na configuração (verde, vermelho e azul) que se deseja calcular, na planilha é apresentado o resultado do cálculo (quadro azul), na letra de cor correspondente (TABELA D.1). O modelo foi usado para experimentar como muda a eficiência de depuração para cada configuração, com os mesmos dados (a seletividade S , a quantidade de contaminante a e sua concentração no rejeito do sistema).

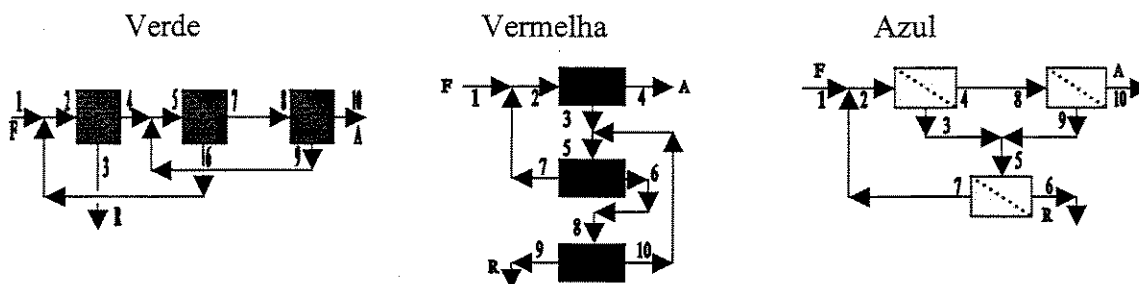


Fig.D.1 Configurações de depuradores estudadas na planilha *Depuração*

Para os dados usados, a configuração verde foi a que proporcionou melhor eficiência, seguida bem próximo pela configuração azul. A configuração vermelha, que é a configuração clássica usada na indústria, ficou em terceiro lugar, mas, também, próxima.

D.1.1 Construção da TABELA D.1

Problemas típicos de depuração envolvem escolha da configuração mais adequada, a maximização da depuração com mínima perda e o conhecimento dos fluxos em cada linha, para dimensionar adequadamente os equipamentos do sistema.

Para o estudo, foram escolhidas três configurações para serem testadas, mediante a simulação do desempenho na TABELA D.1. As figuras verde, vermelha e azul representam cada configuração a ser estudada.

Os dados usados são preliminares, somente, para testar o modelo. Sabe-se que os valores de seletividade não dependem só do depurador, mas, também, do contaminante que se deseja separar, pelo que são valores empíricos, mas entre 0 e 1 (Vide Apêndice C).

Para ter depuração, deve produzir rejeito. Não existe a depuração em circuito fechado, pois a concentração de contaminante, simplesmente, aumenta até que no aceite se tenha a mesma concentração que na alimentação ao sistema. O(s) contaminante(s), acumulado(s) no sistema de depuração com rejeito final zero, só provocam problemas operacionais e desgaste dos depuradores, além do consumo de energia.

Para evitar problemas ambientais, deve-se definir destino ambientalmente aceitável [fiscalização] para o rejeito da depuração.

Na TABELA D.1, após a linha 18 da planilha, a coluna B é para os números das linhas de fluxo nas figuras. Na coluna C, são descritas as linhas, que dependem da configuração escolhida. Na coluna D, é para o fluxo total [toneladas/dia] por linha, que é calculada para a configuração escolhida. A coluna E é para o fluxo de contaminante [toneladas/dia] na linha de fluxos, que, também, depende da configuração e da eficiência de depuração dos depuradores. A última coluna corresponde à eficiência e à taxa de rejeito de cada depurador e às eficiências de cada configuração do sistema, no canto superior direito.

TABELA D.1 Comparação da eficiência de um sistema de depuração versus configuração

301

Na TABELA D.1, o cálculo corresponde à configuração “Verde” (D16=0). Foi escolhido o valor 50, experimentalmente, observando que, nesse caso, não se percebe mais variação nos valores da TABELA D.1. As Macros foram:

Sub AZUL()

```
,  
' Macro1 Macro  
' Macro gravada em 3/5/2004 por Faculdade de Engenharia Civil  
' rotina para calcular sistema de depuração para configuração azul  
  
  'estabelece valor= 2 ao parâmetro de cálculo para a configuração azul  
  Cells(16, 4) = 2  
  'itera 50 vezes (cálculo iterativo)  
  For I = 1 To 50 Step 1  
    Calculate  
  Next I
```

End Sub

Sub VERMELHO()

```
,  
' VERMELHO Macro  
' Macro gravada em 3/5/2004 por Faculdade de Engenharia Civil  
,  
  
  'atribue valor=1 a parâmetro de cálculo condicional, corresponde à configuração vermelha  
  Cells(16, 4) = 1  
  'Rotina de cálculo iterativo  
  For I = 1 To 50 Step 1  
    Calculate  
  Next I
```

End Sub

Sub VERDE()

```
,  
' VERDE Macro  
' Macro gravada em 3/5/2004 por Faculdade de Engenharia Civil  
"  
  
  'valor=0 ao parâmetro de cálculo condicional, figura verde  
  Cells(16, 4) = 0  
  'cálculo iterativo em 50 passos.  
  For I = 1 To 50 Step 1
```

Calculate
Next I

End Sub

Os cálculos nas linhas da TABELA D.1 respondem a algumas suposições e simplificações (vide item D1.2), a relações de balanço de materiais (equação 3.3, pág. 80), a conceitos e à equação modificada de Nelson (equação 3.6 pág. 81).

D.1.2 Simplificação do modelo de depuração

Para se evitar o trabalho de resolver as equações simultâneas, com a complicação das diferentes opções de configuração, aplica-se cálculo iterativo, que converge rapidamente para a solução a partir de um valor inicial qualquer, usando a equação D.13, que simplifica o cálculo do rejeito do sistema:

$$r = \frac{\alpha}{C_a} \quad (\text{D.13})$$

em que: r [t/d] = rejeito do sistema, α [t/d] = quantidade de contaminantes na **alimentação** e C_a = concentração dos contaminantes no rejeito (em fração decimal).

Em rigor matemático, a quantidade de contaminantes no rejeito é igual à quantidade de contaminantes na alimentação multiplicado pela eficiência do sistema. Devido à eficiência da depuração, não são todos os contaminantes que saem no rejeito do sistema, pois parte dos contaminantes alimentados ao sistema vão, também, para o aceite do sistema (material depurado).

Para eficiências elevadas, o erro será pequeno. Como faz parte dos dados da TABELA D.1, seu efeito será na concentração dos contaminantes no rejeito, menor que o dado de entrada

(pois é obtido como produto pela eficiência do sistema). Esta simplificação é necessária para que o cálculo iterativo possa convergir. Se usar o produto pela eficiência do sistema, o cálculo não converge, pois se obtém valores muito oscilantes e divergentes.

D.1.3 Cálculo de configurações diferentes, na mesma planilha

O cálculo do balanço de fluxos do sistema de depuração, para as três configurações, na mesma planilha de cálculo, é possível com o uso do condicional “SE”.

A célula D16 é usada para o valor do indicador do tipo de configuração escolhida para o cálculo. As Macros Verde, Vermelha e Azul atribuem um valor à célula D16, “Cells(16,4)” na Macro, segundo a configuração, sobre a qual o usuário clica: 0 para “verde”, 1 para “vermelho” e 2 para “azul”, e iterar 50 vezes. Mais iterações não tem sentido, porque somente afetam após as primeiras 4 casas decimais e, para outras aplicações, podem demandar muito tempo de execução, sem o benefício da precisão requerida, na prática. De fato, na indústria de papel, cálculos de sistemas de depuração, com variação (erro experimental) de $\pm 5\%$, são totalmente aceitáveis.

D.1.4 Cálculo do balanço de fluxos do sistema de depuração

Para o cálculo do balanço de fluxos do sistema de depuração, construiu-se a planilha com resultados mostrados na TABELA D.1, com as primeiras duas colunas já explicadas no item D.1.2. Os valores da coluna “total” são calculados, linha a linha, pelas relações do balanço de fluxos dadas pela configuração escolhida e pelos dados iniciais (ou já calculados). Para evitar a solução do sistema de equações simultâneas, fez-se uso do cálculo iterativo.

A linha 1 de fluxos, da coluna “Total”, D19, é calculada a partir da equação D.14.

$$\text{Alimentação sistema, D19} = \text{Aceito sistema, D5} + \text{Rejeito sistema, D11} \quad (\text{D.14})$$

A linha 2, da coluna, “Total”, D20, é calculada a partir da equação D.15 ou D.16, segundo a configuração escolhida para o cálculo, verde ou outra.

$$\text{Alim. Prim. Dep., D20} = \text{alim. sistema, D19} + \text{aceite prim. Dep., D24} \quad (\text{D.15})$$

$$\text{Alim. Prim. Dep., D20} = \text{alim. Sistema, D19} + \text{aceite segundo dep., D25} \quad (\text{D.16})$$

A linha 3, da coluna, “Total”, D21, é calculada a partir da equação D.17 ou D.18, segundo a configuração escolhida para o cálculo, verde ou outra.

$$\text{Rejeito sistema, D21} = \text{dado de Rej. do Sistema, D11} \quad (\text{D.17})$$

$$\text{Rejeito prim. Dep., D21} = \text{Alim.prim. dep., D20} - \text{aceito prim.dep., D22} \quad (\text{D.18})$$

A linha 4, da coluna, “Total”, D22, é calculada a partir da equação D.19, D.20, ou D.21, segundo configuração escolhida para o cálculo, verde, azul, ou vermelha.

$$\text{Aceite do primeiro depurador, D22} = \text{capac. Max., D8} \quad (\text{D.19})$$

$$\text{Aceite do primeiro depurador, D22} = \text{capac. Max., D8} \quad (\text{D.20})$$

$$\text{Aceite do primeiro depurador, D22} = \text{capac. Max., D7} \quad (\text{D.21})$$

A linha 5, da coluna, “Total”, D23, é calculada a partir da equação D.22, D.23 ou D.24, segundo configuração escolhida para o cálculo, verde (D16=0), vermelha (D16=1) ou azul.

$$\text{Alim. do segundo dep., D23} = \text{aceito prim., D22} + \text{rej. Terc., D27} \quad (\text{D.22})$$

$$\text{Alim. do segundo dep. D23} = \text{rej. Prim. D21} + \text{aceito terc., D28} \quad (\text{D.23})$$

$$\text{Alim. Seg. dep., D23} = \text{rej. Prim., D21} + \text{rej. Terceiro, D27} \quad (\text{D.24})$$

A linha 6, da coluna, “Total”, D24, é calculada a partir da equação D.25 ou D.26, segundo configuração escolhida para o cálculo, azul (D16=2), ou outra.

$$\text{Rejeito do sistema, D24} = \text{dado, D11} \quad (\text{D.25})$$

$$\text{Rejeito seg. dep., D24} = \text{alim. Seg. dep., D23} - \text{aceito seg. dep., D24} \quad (\text{D.26})$$

A linha 7, da coluna, “Total”, D25, é calculada a partir da equação D.27.

$$\text{Aceite do segundo depurador, D25} = \text{Cap. Max., D9} \quad (\text{D.27})$$

A linha 8, da coluna, “Total”, D26, é calculada a partir da equação D.28, ou D.29, ou D.30 segundo configuração escolhida para o cálculo, verde (D16=0), vermelha (D16=1) ou azul.

$$\text{Alim. do terceiro dep., D26} = \text{aceite do segundo depurador, D25} \quad (\text{D.28})$$

$$\text{Alim. do terceiro dep., D26} = \text{rejeito do segundo depurador, D24} \quad (\text{D.29})$$

$$\text{Alim. do terceiro dep., D26} = \text{aceite do primeiro depurador, D22} \quad (\text{D.30})$$

A linha 9, da coluna, “Total”, é calculada a partir da equação D.31 ou D.32, segundo configuração escolhida para o cálculo, vermelha (D16=1) ou outra.

$$\text{Rejeito do sistema, D27} = \text{dado, D11} \quad (\text{D.31})$$

$$\text{Rejeito terceiro depurador, D27} = \text{alim., D26} - \text{aceito terceiro dep., D28} \quad (\text{D.32})$$

A linha 10, da coluna, “Total”, é calculada a partir da equação D.33 ou D.34, segundo configuração escolhida para o cálculo, vermelha (D16=1) ou outra.

$$\text{Aceito do terceiro dep., D28} = \text{cap. Max., D8} \quad (\text{D.33})$$

Aceito do sistema, D28 = dado, D5 (D.34)

A linha 1, da coluna, “contam.”, E19, calcula-se pela equação D.35.

Alimentação do sistema, E19 = quantidade de contaminantes ao sistema = D6 (D.35)

A linha 2, da coluna, “contam.”, E20, é calculada a partir da equação D.36 ou D.37, segundo configuração escolhida para o cálculo, verde (D16=0) ou outra.

Alim. Prim. Dep., E20 = alim. Sistema, E6 + rej. segundo depurador, E24 (D.36)

Alim. Prim. Dep., E20 = alim. Sistema, E6 + aceite segundo depurador, E25 (D.37)

A linha 3, da coluna, “contam.”, E21, é calculada a partir da equação D.38.

Rejeito do primeiro depurador, E21 = (Alim.do prim. Depurador, E20) * E₁ (D.38)

onde: E₁= eficiência de remoção de contaminantes do primeiro depurador, calculada substituindo-se na equação 3.6 (Modificada de Nelson, pág. 81), a taxa de rejeito do primeiro depurador.

A taxa de rejeito, R₁, do primeiro depurador é calculada pela equação geral D.39.

$$R = \frac{\text{fluxo de rejeito}}{\text{fluxo de entrada}} \quad (\text{D.39})$$

As linhas 6 e 9, da coluna “contam.”, rejeito do segundo e do terceiro depurador, são calculadas replicando-se as equações 3.6, D.38 e D.39 nos lugares correspondentes da planilha.

A linha 4, da coluna, “contam.”, E22, é calculada a partir da equação D.40.

Aceite primeiro depurador, E22 = alim., E20 – rej. Prim. depur., E21 (D.40)

As linhas 7 e 10, da coluna “contam.”, aceito do segundo e do terceiro depurador, são calculadas replicando-se a equação D.40, nos lugares correspondentes na planilha. As linhas 5 e 8 da coluna E “contam.”, alimentação do segundo e do terceiro depurador, são calculadas, replicando-se as equações D.22; D.23; D.24; D.28; D.29 e D.30 (já formatadas na mesma linha com o condicional “SE”) da terceira coluna para a quarta coluna, na mesma linha da planilha.

A coluna, “Conc.cont.” dos contaminantes, é calculada, simplesmente, como o quociente entre as colunas “contam.” e “Total”.

Quando participam várias fórmulas na mesma linha e coluna, a seleção é automática com o comando “se” e os valores do parâmetro de controle (D16 neste caso).

D1.5 Simulação da depuração para comparar eficiências versus configuração e dados

Para testar a validade universal dos resultados mostrados na TABELA D.1, ou seja, se realmente as configurações verde e azul sempre superam a vermelha, se construiu a TABELA D.2. As primeiras três colunas (A, B, e C) da TABELA D.2 contêm os dados de Seletividade, Quantidade de contaminantes e Concentração no rejeito do sistema. As colunas seguintes são usadas para apresentar os resultados do cálculo, usando cada uma das três configurações na TABELA D.1, escrevendo os resultados de cada eficiência final, nas 3 colunas seguintes, frente aos dados correspondentes.

A TABELA D.2 foi construída na mesma planilha Depuração. Sua finalidade é experimentar, mediante a simulação do desempenho da depuração, se sempre a configuração verde proporciona melhor eficiência ou se a melhor configuração depende realmente das condições iniciais (dados de entrada). Na TABELA D.1, a seletividade S (\$D\$4), a quantidade de contaminantes a (\$D\$6) e a concentração de contaminantes no rejeito final (\$D\$10) vão tomando os valores correspondentes (A32, B32 e C32) da TABELA D2, linha após linha (32, 33, 34...).

Tabela D2 Simulação da depuração, mesmos dados, diferente configuração

	A	B	C	D
30	Seletividade.	Quant. Contam.	Ca	Eficiência do sistema
31	S	A	%	Verde Vermelha Azul
32	0,8	6	50%	0,606324 0,690700 0,551478
33	0,8	12	50%	0,754895 0,801595 0,708164
34	0,8	60	50%	0,939024 0,921123 0,916821
35	0,8	120	50%	0,968553 0,940299 0,952338
36	0,8	6	90%	0,461106 0,565620 0,407310
37	0,8	12	90%	0,631135 0,710355 0,577021
38	0,8	60	90%	0,895349 0,893932 0,865672
39	0,8	120	90%	0,944777 0,924742 0,923670
40	0,9	6	50%	0,921360 0,932482 0,894052
41	0,9	12	50%	0,959081 0,954845 0,942409
42	0,9	60	50%	0,991540 0,974196 0,985176
43	0,9	120	50%	0,992379 0,977455 0,990980
44	0,9	6	90%	0,866815 0,898890 0,826242
45	0,9	12	90%	0,928675 0,936867 0,903330
46	0,9	60	90%	0,984874 0,970002 0,976253
47	0,9	120	90%	0,992379 0,974772 0,986314
48	0,99	6	50%	0,999911 0,997933 0,999817
49	0,99	12	50%	0,999956 0,997966 0,999883
50	0,99	60	50%	0,999991 0,998049 0,999939
51	0,99	120	50%	0,999996 0,998125 0,999948
52	0,99	6	90%	0,999840 0,997890 0,999711
53	0,99	12	90%	0,999920 0,997939 0,999830
54	0,99	60	90%	0,999984 0,998011 0,999927
55	0,99	120	90%	0,999992 0,998058 0,999940
56	0,99	150	50%	0,999996 0,998160 0,999951
57	0,99	200	50%	0,999997 0,998215 0,999955
58	0,99	250	50%	0,999998 0,998267 0,999957
59	0,99	300	50%	0,999998 0,998316 0,999960
60	0,99	150	90%	0,999994 0,998080 0,999944
61	0,99	200	90%	0,999995 0,998114 0,999947
62	0,99	250	90%	0,999996 0,998147 0,999950
63	0,99	300	90%	0,999997 0,998179 0,999952
64	0,99	500	90%	0,999997 0,998179 0,999952

A eficiência do sistema, que é calculada, sucessivamente (D32, E32, F32), para cada linha (32, 33, 34...) aplicando-se as Macros correspondentes (VERDE, VERMELHA, AZUL), é registrada, em cada linha, automaticamente, pelo cálculo, segundo as equações D.41 (VERDE), D.42 (VERMELHA) e D.43 (AZUL).

$$D32=SE(E(\$D\$4=A32; \$D\$10=C32; \$D\$6=B32); \$H\$17; D32) \quad (D.41)$$

$$E32=SE(E(SD\$4=A32;SD\$10=C32;SD\$6=B32);SH\$18;E32) \quad (D.42)$$

$$F32=SE(E(SD\$4=A32;SD\$10=C32;SD\$6=B32);SH\$19;F32) \quad (D.43)$$

A estrutura das fórmulas permite replicá-las até o final da tabela, economizando tempo e trabalho de programação. O resultado desejado é calculado, progressivamente, à medida em que se introduzem os dados e aplicam as macros. Para automatizar a operação de entrada de dados, na TABELA D.2, deve-se construir outra macro, pois no Excel, após a entrada dos dados da linha, aparecem os resultados das eficiências na coluna da última macro executada, mas deve-se executar as outras macros para completar as outras eficiências, pois os valores que são mostrados após a entrada de dados, são os antigos e devem ser atualizados para se comparar os resultados.

Com valores elevados de seletividade, resulta, muito pouco, melhor a configuração verde, seguida pela azul. Com seletividade um pouco menor, a verde apresenta-se melhor com elevado nível de contaminantes ou a configuração vermelha, para valores muito baixos de Seletividade. Quanto maior a concentração de contaminantes, menor a eficiência do sistema para baixa seletividade. A TABELA D.2 foi calculada manualmente, mas o uso de uma Macro permitiria automatizar o cálculo. A Macro preparada para automatizar novos cálculos foi a seguinte:

Sub TAB5()

'calcula em forma consecutiva, as eficiências correspondentes aos dados de cada linha da TAB5.7, a partir da linha 32 até a 63.

a = 32

While a < 63

Cells(4, 4) = Cells(a, 1)

'valor da seletividade igual ao valor na coluna 1, para linhas da 32 até 63

Cells(10, 4) = Cells(a, 3)

'valor do contaminante "a" igual ao valor na coluna 3, para linhas da 32 até 63

'valor da conc. no rejeito igual a valor na coluna 2, para linhas da 32 até 63

For j = 0 To 3 Step 1

```

Cells(6, 4) = Cells(a + j, 2)
'valor=0 ao parâmetro de cálculo condicional, configuração verde
Cells(16, 4) = 0
'cálculo iterativo em 50 passos.
    For I = 1 To 50 Step 1
        Calculate
    Next I
'valor=1 ao parâmetro de cálculo condicional, configuração vermelha
Cells(16, 4) = 1
'cálculo iterativo em 50 passos.
    For I = 1 To 50 Step 1
        Calculate
    Next I
'valor=2 ao parâmetro de cálculo condicional, configuração azul
Cells(16, 4) = 2
'cálculo iterativo em 50 passos.
    For I = 1 To 50 Step 1
        Calculate
    Next I
Next j
a = a + 1
Wend

    (Final da Macro).

```

Observação: Durante a execução da Macro, foi evidente que houve repetição desnecessária do cálculo várias vezes. A causa era o “loop” j.

A Macro final, depurada, fica:

```
Sub TAB5()
```

'calcula em forma consecutiva, as eficiências correspondentes aos dados de cada linha da TAB. B.2, a partir da linha 32 até a 63.

'para linha 32 como início

a = 32

While a < 64

'Inicia cálculo iterativo, usando dados da tabela linha por linha

Cells(4, 4) = Cells(a, 1)

'valor da seletividade igual ao valor na coluna 1, para linhas da 32 até 63

Cells(10, 4) = Cells(a, 3)

'valor do contaminante "a" igual ao valor na coluna 3, para linhas da 32 até 63

'valor da concentração no rejeito igual a valor na coluna 2, para linhas da 32 até 63

Cells(6, 4) = Cells(a, 2)

'valor=0 ao parâmetro de cálculo condicional, configuração verde

Cells(16, 4) = 0

'cálculo iterativo em 50 passos.

For i = 1 To 50 Step 1

Calculate

Next i

'valor=1 ao parâmetro de cálculo condicional, configuração vermelha

Cells(16, 4) = 1

'cálculo iterativo em 50 passos.

For i = 1 To 50 Step 1

Calculate

Next i

'valor=2 ao parâmetro de cálculo condicional, configuração azul

Cells(16, 4) = 2

'cálculo iterativo em 50 passos.

For i = 1 To 50 Step 1

Calculate

Next i

a = a + 1

Wend

End Sub

(Final da Macro).

Observação: execução normal do cálculo, como esperado, com tempo total menor que 3 minutos.

Outros valores importantes na depuração são: a pureza, a perda de material e o custo operacional da depuração. Pureza e perda podem ser calculadas usando colunas adicionais.

D1.6 Simulação da depuração para comparar pureza e perda versus configuração e dados

Na mesma planilha *Depuração*, mostrada na TABELA D.2, são adicionadas colunas para os cálculos correspondentes. Juntando as colunas de dados, ocultando as colunas de eficiência (por motivos de espaço, somente), foram adicionadas colunas de cálculo e resultados, mostrados na TABELA D.3.

Os dados foram escolhidos de modo a se obter sempre a mesma taxa de rejeito (5,26%) e observar o efeito da quantidade de contaminantes, a seletividade dos depuradores e a concentração de contaminantes no rejeito.

A escolha dos dados, com a maior seletividade, com baixo nível de contaminantes, permite elevada pureza para perda da ordem de 5%, com qualquer configuração, mas, à medida que a quantidade de contaminante na alimentação do sistema aumenta e a seletividade é reduzida, a pureza, também, é reduzida, com vantagem para a configuração vermelha, que apresenta a menor perda e a melhor pureza.

TABELA D3 Comparação da perda e pureza baseado em configuração e dados

Dados			Perda, [t/d]			Pureza, [%]		
Seletiv.S	a, [t/d]	Ca, [%]	Verde	Vermelha	Azul	Verde	Vermelha	Azul
0,99	1,56	2,81%	53,99	54,00	53,99	100,00%	100,00%	100,00%
0,98	3,13	5,63%	52,43	52,45	52,43	100,00%	100,00%	100,00%
0,97	4,69	8,44%	50,87	50,91	50,88	100,00%	100,00%	100,00%
0,96	6,25	11,25%	49,32	49,39	49,33	100,00%	99,99%	100,00%
0,95	7,81	14,06%	47,78	47,88	47,79	100,00%	99,99%	99,99%
0,94	9,38	16,88%	46,26	46,39	46,28	99,99%	99,98%	99,99%
0,94	10,94	19,69%	44,76	44,91	44,79	99,99%	99,97%	99,98%
0,93	12,50	22,50%	43,30	43,46	43,33	99,98%	99,96%	99,97%
0,92	14,06	25,31%	41,87	42,03	41,92	99,96%	99,95%	99,96%
0,91	15,63	28,13%	40,50	40,63	40,55	99,94%	99,93%	99,94%
0,90	17,19	30,94%	39,18	39,27	39,23	99,92%	99,91%	99,91%
0,89	18,75	33,75%	37,93	37,94	37,98	99,89%	99,89%	99,88%
0,88	20,31	36,56%	36,74	36,65	36,79	99,85%	99,86%	99,85%
0,87	21,88	39,38%	35,64	35,40	35,67	99,80%	99,83%	99,80%
0,86	23,44	42,19%	34,63	34,21	34,64	99,75%	99,79%	99,75%
0,85	25,00	45,00%	33,70	33,06	33,68	99,69%	99,75%	99,69%
0,85	26,56	47,81%	32,86	31,97	32,81	99,61%	99,70%	99,62%
0,84	28,13	50,63%	32,12	30,94	32,02	99,53%	99,65%	99,54%
0,83	29,69	53,44%	31,48	29,97	31,32	99,44%	99,59%	99,45%
0,82	31,25	56,25%	30,92	29,06	30,70	99,34%	99,52%	99,36%
0,81	32,81	59,06%	30,46	28,22	30,17	99,23%	99,45%	99,26%
0,80	34,38	61,88%	30,09	27,45	29,72	99,11%	99,37%	99,15%
0,79	35,94	64,69%	29,80	26,74	29,35	98,98%	99,29%	99,03%
0,78	37,50	67,50%	29,60	26,11	29,06	98,85%	99,19%	98,90%
0,77	39,06	70,31%	29,46	25,55	28,83	98,70%	99,09%	98,77%
0,76	40,63	73,13%	29,40	25,05	28,68	98,55%	98,99%	98,63%
0,75	42,19	75,94%	29,40	24,63	28,58	98,40%	98,87%	98,48%
0,75	43,75	78,75%	29,45	24,27	28,54	98,24%	98,75%	98,33%
0,74	45,31	81,56%	29,56	23,98	28,56	98,07%	98,63%	98,17%
0,73	46,88	84,38%	29,71	23,75	28,63	97,90%	98,49%	98,01%
0,72	48,44	87,19%	29,91	23,59	28,73	97,72%	98,35%	97,84%
0,71	50,00	90,00%	31,11	23,49	28,88	97,44%	98,21%	97,67%

Observa-se que, à medida que a seletividade é menor, quanto maior for a concentração de impurezas no material a depurar, menor será a pureza do material depurado, mas com menor perda. Na prática, significa que há desperdício de material e de equipamento para alta seletividade com baixo nível de contaminantes. Os valores de pureza estão muito próximos, o que significa que uma configuração não é muito superior à outra, mas a diferença em perda é significativa. Usando os mesmos dados, mas iniciando com baixa seletividade e baixo nível de contaminantes e indo para elevada seletividade e alto nível de contaminantes, se obtém os valores apresentados na TABELA D4.

TABELA D4 Comparação da perda e pureza indo de baixa para alta seletividade

Dados			Perda, [t/d]			Pureza, [%]		
Seletiv.S	a, [t/d]	Ca, [%]	Verde	Vermelha	Azul	Verde	Vermelha	Azul
0,71	1,56	2,81%	54,79	54,55	54,72	99,92%	99,94%	99,93%
0,72	3,13	5,63%	53,96	53,49	53,83	99,85%	99,89%	99,86%
0,73	4,69	8,44%	53,06	52,38	52,86	99,78%	99,85%	99,80%
0,74	6,25	11,25%	52,09	51,20	51,83	99,72%	99,81%	99,75%
0,75	7,81	14,06%	51,04	49,97	50,73	99,67%	99,78%	99,70%
0,75	9,38	16,88%	49,91	48,68	49,56	99,63%	99,75%	99,66%
0,76	10,94	19,69%	48,70	47,34	48,32	99,59%	99,73%	99,63%
0,77	12,50	22,50%	47,41	45,95	47,00	99,57%	99,71%	99,61%
0,78	14,06	25,31%	46,03	44,51	45,62	99,55%	99,70%	99,59%
0,79	15,63	28,13%	44,58	43,03	44,16	99,54%	99,69%	99,58%
0,80	17,19	30,94%	43,05	41,50	42,64	99,53%	99,69%	99,57%
0,81	18,75	33,75%	41,44	39,94	41,05	99,54%	99,69%	99,58%
0,82	20,31	36,56%	39,76	38,33	39,40	99,55%	99,69%	99,58%
0,83	21,88	39,38%	38,02	36,70	37,70	99,57%	99,70%	99,60%
0,84	23,44	42,19%	36,22	35,04	35,94	99,59%	99,71%	99,62%
0,85	25,00	45,00%	34,38	33,36	34,15	99,62%	99,72%	99,64%
0,85	26,56	47,81%	32,50	31,66	32,31	99,65%	99,73%	99,67%
0,86	28,13	50,63%	30,58	29,94	30,45	99,68%	99,75%	99,70%
0,87	29,69	53,44%	28,65	28,21	28,57	99,72%	99,77%	99,73%
0,88	31,25	56,25%	26,72	26,47	26,68	99,76%	99,78%	99,76%
0,89	32,81	59,06%	24,79	24,73	24,79	99,80%	99,80%	99,80%
0,90	34,38	61,88%	22,87	22,98	22,91	99,83%	99,82%	99,83%
0,91	35,94	64,69%	20,97	21,24	21,04	99,86%	99,84%	99,86%
0,92	37,50	67,50%	19,11	19,49	19,19	99,89%	99,86%	99,89%
0,93	39,06	70,31%	17,28	17,76	17,36	99,92%	99,87%	99,91%
0,94	40,63	73,13%	15,49	16,02	15,57	99,94%	99,89%	99,94%
0,94	42,19	75,94%	13,74	14,30	13,81	99,96%	99,91%	99,96%
0,95	43,75	78,75%	12,03	12,57	12,10	99,98%	99,92%	99,97%
0,96	45,31	81,56%	10,37	10,86	10,41	99,99%	99,94%	99,98%
0,97	46,88	84,38%	8,74	9,14	8,77	99,99%	99,95%	99,99%
0,98	48,44	87,19%	7,14	7,43	7,15	100,00%	99,97%	100,00%
0,99	50,00	90,00%	5,56	5,72	5,56	100,00%	99,98%	100,00%

Observações:

A principal vantagem observada no uso de maior seletividade, com maiores níveis de contaminantes, é que a perda de material se reduz significativamente, assim como os fluxos pelas linhas.

A melhor pureza e menor perda corresponde, agora, para elevado nível de contaminantes, às configurações verde e azul. Isto confirma o observado na TABELA D.1, não há melhor configuração independente dos outros dados, baseado, apenas, em considerações ambientais.

Se a consideração econômica é inclusa, há nítida vantagem para a configuração vermelha, em todos os casos, pois o custo de instalação será menor (não requer maiores capacidades que a do aceito do sistema) e, também, o custo operacional resultará menor, para igual valor da taxa de rejeito.

Para a visualização do efeito econômico, é suficiente comparar os fluxos de material no balanço, que são proporcionais aos custos de instalação e de operação. Se os fluxos forem muito altos, o sistema é inviável economicamente.

Como na TABELA D4 resume-se os dados dos balanços do fluxos mas não se mostra os valores dos fluxos, pode-se induzir a erro de seleção da configuração mais conveniente. Recomendado calcular o balanço de fluxos com os dados selecionados.

D1.7 Como foram calculadas as colunas de perda e pureza das TABELAS D3 e D4

A perda se calcula na linha de rejeito total do sistema, pela diferença entre o fluxo total e o fluxo de contaminantes. Para a configuração verde, na equação D.44 mostra-se os comandos usados.

$$H32=SE(E(\$D\$4=A32;\$D\$10=C32;\$D\$6=B32;\$D\$16=0);\$D\$21-\$E\$21;H32) \quad (D.44)$$

Estes comandos permitem que o resultado seja registrado somente se os dados usados são os da linha 32. Do contrário, permanece o valor calculado anteriormente. A equação é copiada até a linha final na coluna “perda verde” e analogamente, calculam-se as outras colunas, conforme as equações D.45 (vermelha) e D.46 (azul).

$$I32=SE(E(\$D\$10=C32;\$D\$4=A32;\$D\$6=B32;\$D\$16=1);\$D\$27-\$E\$27;I32) \quad (D.45)$$

$$J32=SE(E(\$D\$10=C32;\$D\$4=A32;\$D\$6=B32;\$D\$16=2);\$D\$24-SE\$24;J32) \quad (D.46)$$

Ao ativar a Macro “**Tab50**”, o cálculo é realizado na parte da planilha mostrada na TABELA D.1. Os valores de rejeito total (\$D\$21) e rejeito de contaminante (\$E\$21) do sistema na configuração verde (\$D\$16=0) são, então, substituídos na fórmula D.44. Analogamente, como o rejeito do sistema muda de linha na configuração vermelha e azul, os valores são substituídos nas equações D.45 ou 5.46, quando as outras condições são cumpridas.

Para o cálculo da pureza, aplica-se a definição dada na equação D.47.

$$\text{Pureza} = (\text{material total} - \text{contaminantes residuais}) / (\text{material total}) \quad (D.47)$$

Equivalente à diferença entre 1 e a concentração de contaminantes no aceite do sistema. Semelhantemente à forma aplicada para o cálculo da perda, procede-se ao cálculo da pureza, registrando-se o resultado, somente, quando os dados da linha e da coluna (cor) coincidem. Como exemplo, se dá a equação de cálculo usada para a configuração verde na equação D.48.

$$L32=1- SE(E(\$D\$4=A32;\$D\$10=C32;\$D\$6=B32;\$D\$16=0);\$E\$28/\$D\$28;L32) \quad (D.48)$$

Com a tabela completa, ativou-se a Macro “**Tab50**” e obteve-se um efeito inesperado. A área de cálculo começou a piscar e observava-se grande atividade, mas o cálculo não acabava mais. Em 10 minutos, estava igual, aparentemente. Interrompeu-se a execução, abriu-se o Editor da Macro e colocou-se antes da instrução $a = a + 1$, a instrução $\text{Cells}(a,15) = a$, que atribui o valor da linha “a” na célula da coluna 15. Ativando novamente a Macro, observou-se que o cálculo era realizado em forma incrivelmente rápida, pois não dava para ver os números, mas muito demorada na convergência, linha a linha na planilha. Experimentou-se o mesmo cálculo da equação 5.48, mas sem fazer a diferença com 1, (equação D.49) e resultou o cálculo completo em menos de 3 minutos. Deslocando as colunas de cálculo de impurezas 3 colunas para a direita, a coluna L passa para coluna O.

$$O32= SE(E(\$D\$4=A32;\$D\$10=C32;\$D\$6=B32;\$D\$16=0);\$E\$28/\$D\$28;O32) \quad (D.49)$$

No espaço liberado, colocou-se a equação D.50 e se obteve o resultado desejado, em menos de 3 minutos. Não se descobriu a que se deve esta diferença no tempo do cálculo.

$$L32=1- O32 \quad (D.50)$$

O motivo, deve ser, a forma como são realizados os cálculos. Na equação D.49 inicia-se com 1 e faz-se a diferença com um valor que tem várias comparações a realizar antes de fazer o quociente ou deixar o valor anterior. Na equação 5.50, faz-se apenas uma diferença, com O32 já calculado (equação D.49), de execução mais rápida.

Outros recursos (consumo de energia, dimensionamento de equipamentos, etc) a simular podem ser adicionados da mesma forma. Para facilitar a impressão das planilhas, deve-se ter em mente o formato das páginas, ao adicionar os recursos, para conservar (ou melhorar) o visual e a apresentação do material impresso.

**D2 Planilha Depuração 1 - Desempenho de um sistema de depuração versus
alimentação, pureza e perda**

D2 Planilha Depuração 1 - Desempenho de um sistema de depuração versus alimentação, pureza e perda

As mesmas configurações, estudadas na planilha *Depuração*, são usadas agora para estudar o desempenho do sistema, para depurar o material, baseado nos dados da alimentação e na seletividade dos depuradores, para verificar se o sistema consegue satisfazer à pureza desejada do material depurado. O cálculo apresenta um interessante desafio. Conhecida a pureza, será conhecida a eficiência teórica do sistema e seria possível calcular com os outros dados, por aproximações sucessivas, a pureza do material depurado, a eficiência do sistema de depuração, o rejeito do sistema e a perda. A primeira tentativa para o cálculo do balanço de fluxos, a partir da pureza desejada, não deu certo, porque o cálculo divergiu, devido à estrutura da equação de cálculo, com elevada sensibilidade, calculando da taxa de rejeito e logo a eficiência, esperando-se que o cálculo convergiria para a pureza desejada. A solução foi recorrer ao conceito de taxa de rejeito e seletividade, para resolver o problema, iniciando com valores de taxa de rejeito por tentativas. Para os cálculos das linhas de fluxo, construiu-se a planilha *Depuração 1* e usou-se um valor preliminar de rejeito para, depois, ajustar seu valor, verificando que o cálculo então convergia. Como o cálculo é iterativo, deve-se iterar suficiente quantidade de vezes, até à estabilização do resultado.

Os dados, também, têm algumas condições a satisfazer para que os resultados sejam válidos:

- ♦ a pureza P desejada está relacionada com a concentração C_d de impurezas no material depurado, como mostrado na equação D.50

$$C_d = 1 - P \quad (5.50)$$

A concentração de impurezas na alimentação C_a é calculada pela relação entre a quantidade de impurezas na alimentação e a quantidade total de material a depurar, dada pela equação D.51.

$$C_a = \text{quantidade de impurezas na alimentação} / \text{quantidade total de material a depurar} \quad (D.51)$$

♦ sempre se deve verificar que $C_a > C_d$, ou não tem sentido a simulação, porque não se pode sujar o material.

As outras restrições são:

- ♦ somente podem aparecer valores maiores que zero em todas as colunas e linhas da planilha;
- ♦ as concentrações, taxas de rejeito e eficiências devem sempre ser menores ou iguais a 100% (se a concentração do rejeito for maior que 100%, aumentar a taxa de rejeito); e,
- ♦ o cálculo deve convergir progressivamente, sem pulos muito grandes.

Observações:

- ♦ somente em alguns casos é possível, para a seletividade e configuração escolhidas, chegar ao valor desejado de pureza a partir de tentativas dos valores de taxa de rejeito;
- ♦ obviamente, se todo o material a depurar sair como rejeito, significa que se deve usar um depurador mais seletivo ou se mudar a configuração;
- ♦ sistema de depuração será mais complexo quanto maior a pureza desejada;
- ♦ cuidado com as iterações; e,
- ♦ com baixa seletividade, não tem sentido a depuração. Sai tudo como rejeito. Valores (pela experiência em fábrica de papel) práticos da seletividade devem estar entre 0.855 e 0.995 .

D.2.1 Dados para o cálculo e ajustes das taxas de rejeito visando a satisfazer à pureza

Para o cálculo do balanço de fluxos dos diferentes sistemas de depuração (Fig. D.2), entra-se com dados hipotéticos de quantidade de material a depurar (1000 t/d), quantidade inicial de impurezas (10 t/d) e pureza desejada (99,9%).

Para esses dados, são calculados os balanços de fluxos de cada configuração, baseados nos dados de seletividade e taxas de rejeito, com valores apresentados na TABELA D.5 e considerando-se que como a mesma depuração pode ser obtida por diferentes formas, os resultados não são totalmente conclusivos sobre qual é melhor a configuração. As configurações laranja, roxa e amarela são variantes da configuração verde, como se pode observar na figura D.2.

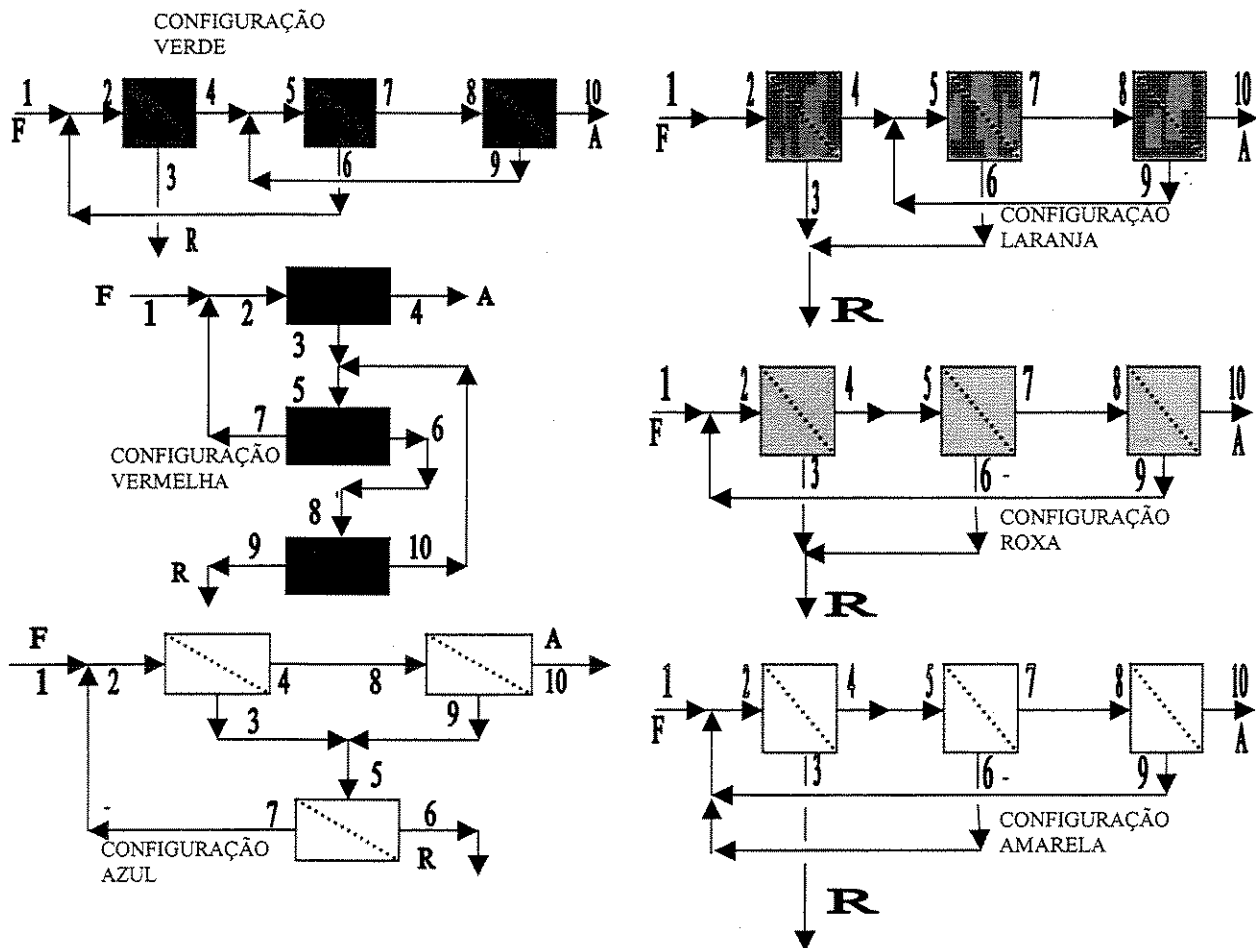


Figura D.2 Configurações estudadas na planilha *Depuração1*

TABELA D.5 Dados de Taxas de Rejeito versus seletividade para cada configuração

Seletiv.	0,995				0,925				0,855			
Taxa Rejeito	Verde	Verme.	azul	laranja	verde	Verme.	Azul	laranja	verde	Verme.	azul	laranja
R1	10,0%	38,1%	10,0%	9,9%	24,0%	93,3%	50,0%	24,0%	40,0%	99,4%	80,0%	34,0%
R2	0,8%	40,0%	90,0%	0,8%	30,0%	25,0%	20,0%	31,0%	60,0%	40,0%	5,0%	60,0%
R3	0,7%	95,0%	1,9%	0,7%	27,0%	6,0%	50,0%	30,3%	48,0%	5,0%	80,0%	77,0%

Os valores das taxas de rejeito são ajustados, manualmente, para cada configuração visando à pureza desejada. Para 99,9% de pureza, significa 0,1% de impurezas no material depurado. Os resultados de impureza residual, rejeito e perdas são apresentados na TABELA D.6, onde se resumem os cálculos realizados na planilha *Depuração* 1 (sem apresentar fluxos).

TABELA D.6 Impureza residual, rejeito e perdas por configuração e seletividade.

Seletividade	0,995			0,925			0,855		
Configuração	Impureza	t/d rejeito	t/d perda	Impureza, t/d	rejeito	t/d perda	Impureza, t/d	rejeito	t/d perda
Verde	0,101%	10,07	0,1643	0,101%	33,39	23,4535	0,101%	72,14	62,1710
Azul	0,100%	10,65	0,7365	0,101%	37,50	27,5632	0,101%	54,55	44,5913
Vermelho	0,101%	19,27	9,3492	0,101%	21,45	11,5279	0,101%	84,24	74,2532
Laranja	0,100%	10,63	0,7149	0,100%	53,79	43,8337	0,100%	91,23	81,2342
Roxo	0,078%	10,69	0,7575	0,095%	56,54	46,5859	0,107%	92,38	82,3869
Amarelo	0,080%	10,04	0,1069	0,082%	39,64	29,6860	0,068%	84,8473	74,8576

Pela construção da planilha, as taxas de rejeito usadas para o cálculo nas configurações laranja, roxa e amarela são as mesmas e foram ajustadas para o cálculo da configuração laranja somente.

O cálculo do balanço de fluxos na Planilha Depuração1 foi realizado completamente diferente que na planilha Depuração, como se verá. A aparência da planilha para balanço de fluxos é igual à anterior, como se pode apreciar na TABELA D.7, acrescentando uma linha, para o rejeito do sistema nas configurações laranja, roxa e amarela.

Na primeira coluna, A, identificam-se as linhas de fluxo das diferentes configurações, mostradas na Figura.D.2. Na segunda coluna, B, descrevem-se as linhas de fluxo. Na célula D12,

quadro amarelo, está o parâmetro (5, neste caso) usado para tipificar cada configuração. A Fig. D2 é interativa.

TABELA D.7. Estrutura da planilha de cálculo dos sistemas de depuração.

	A	B	C	D	E	F	G
12	Balanco de Fluxos do Sistema			5			
13	Número	Descrição	Total	contamin.	Concentr.	E verde = 99,72%	
14	da linha	Sistema Amarelo	t/d	t/d	%	E vermelho = 99,84%	
15	1	Alimentação do sistema	100,00	10,000	10,000%	E azul = 99,54%	
16	2	Alimentação do primeiro depurador	249,55	12,8015	5,130%	E1=	78,04%
17	3	rejeito do primeiro depurador	84,85	9,990	11,774%	R1=	34,00%
18	4	depurado do primeiro Depurador	164,70	2,812	1,707%		
19	5	Alimentação do segundo depurador	164,70	2,8118	1,707%	E2=	91,19%
20	6	rejeito do segundo depurador	98,82	2,564	2,595%	R2=	60,00%
21	7	depurado do segundo depurador	65,88	0,248	0,376%		
22	8	Alimentação do terceiro depurador	65,88	0,248	0,376%	E3=	95,85%
23	9	rejeito do terceiro depurador	50,73	0,238	0,468%	R3=	77,00%
24	10	material depurado	15,15	0,010	0,068%	E=	99,90%
25		rejeito do sistema	84,85	9,990	11,774%	E=	99,90%

Ao clicar sobre a configuração escolhida, este número muda, automaticamente, e são realizadas 50 iterações de cálculo. Para a configuração vermelha e azul, é necessário repetir várias vezes o cálculo para a estabilização do resultado. O número 5 corresponde à configuração amarela. (sistema Amarelo, célula B14). A terceira coluna, C, corresponde ao fluxo total [toneladas/dia = t/d] na linha. A primeira linha (1), Alimentação do sistema, corresponde à quantidade de material a depurar (100 t/d), que é dado. A quarta coluna corresponde ao fluxo de contaminantes misturados no material a depurar e na primeira linha (10 t/d), é a quantidade de contaminantes presente no material. A quinta coluna, E, apresenta a concentração das impurezas em cada linha, calculada como a relação de fluxo de contaminantes sobre fluxo total, segundo a equação D.52.

$$C = \text{fluxo de contaminantes} / \text{fluxo total} \quad (\text{D.52})$$

As outras colunas já foram explicadas no item D.1.1 e conservam as mesmas equações, sendo que as taxas de rejeito, agora, não são calculadas, mas copiadas dos dados (na TABELA D.5, pág.324).

D.2.2 COMO FOI CONSTRUÍDA A TABELA D7

Observando a Figura D.2, vê-se que a alimentação do primeiro depurador, calculada na célula C16, é o material a depurar, C15, + valores de células “Ci”, em que “i” depende da configuração. Na configuração verde (D12=0, pois cada configuração muda esse valor), é a linha 6 de fluxos, (correspondente na Planilha a C20). Nas configurações vermelha (D12=1) e azul (D12=2), é a linha 7 (correspondente na Planilha a C21). Na configuração laranja (D12=3), não tem. Na configuração roxa (D12=4), é a linha 9 (correspondente na Planilha a C23). Na configuração amarela (D12=5), são as linhas 6 e 9 (correspondentes na Planilha às células C20 e C23). A equação na planilha Excel que resume toda esta informação, está dada na célula de cálculo C16 (TABELA B.7) e corresponde à equação D.53.

$$=SE(\$D\$12=5;C23+C20;SE(\$D\$12=3;0;SE(\$D\$12=0;C20;SE(\$D\$12=4;C23;C21))))+C15 \text{ (D.53)}$$

O condicional “SE” permite que o cálculo seja realizado para a configuração escolhida. Note-se que o valor das outras linhas, inicialmente, será zero ou o valor anteriormente calculado. A iteração permite rápida convergência para o valor final. Como a estrutura da equação D.53 é a mesma para o cálculo de fluxo de contaminantes, a fórmula é, simplesmente, replicada na célula D16, pois o Excel atualiza os endereços correspondentes, como mostrado na equação D.54.

$$=SE(\$D\$12=5;D23+D20;SE(\$D\$12=3;0;SE(\$D\$12=0;D20;SE(\$D\$12=4;D23;D21))))+D15 \text{ (D.54)}$$

A concentração é calculada para cada linha, com a equação D.52. No Excel, a equação D.52, para a linha 2 da TABELA D7 (E16), é dada na equação D.55.

$$=SE(C16=0;0;D16/C16) \text{ (D.55)}$$

As outras linhas da coluna E são calculadas com a mesma equação, mudando, automaticamente, a linha ao ser copiada.

As eficiências de depuração, de cada depurador, são calculadas com o dado da taxa de rejeito correspondente e a equação modificada de Nelson (3.6).

Observações: Para tentar chegar a uma dada pureza, o ajuste das taxas de rejeito é bastante laborioso e pode ser obtido por diferentes formas. Existe um conjunto de taxas de rejeito que será o ótimo para cada configuração, mas o método por iterações é muito demorado. Para aplicar o recurso “Solver” da planilha Excel, tanto a pureza, a eficiência, a concentração e os fluxos devem ser expressos em função das taxas de rejeito. Isto requer a solução analítica das equações, que será menos laboriosa e mais rápida que as tentativas de ajuste manual. O “Solver” é um recurso de otimização de resultados da planilha Excel, que aplica métodos matemáticos (vide Anexo A.1). No teste para a configuração Verde, para $S=0,925$, usando o “Solver” encontrou-se uma solução que satisfaz a todas as restrições: $R1=0,0126\%$; $R2=99,8\%$ e $R3=34,7\%$. Ao aplicar iteração para o cálculo do balanço, percebe-se que a convergência é muito vagarosa e o cálculo muito demorado. Entretanto, a solução teórica encontrada pelo “Solver”, na prática, será inviável economicamente, pois requer custos de instalação e operação altos demais. Somente para $S=0,995$, utilizando-se o “Solver” se obtém solução viável: $R1=8,3\%$, $R2=18,1\%$ e $R3=5,3\%$, porque os fluxos calculados no balanço, não são exagerados.

D.2.3 Otimização das taxas de rejeitos

O balanço de fluxos de cada configuração pode-se calcular para os mesmos dados para comparar vantagens relativas de uma configuração em relação à outra, ao igual que foi feito na planilha “depuração”. Os valores resumo apresentados nas TABELAS D6 e D7 não mostram os fluxos que aparecem na área do balanço de fluxos.

Somente como exemplo, na TABELA D8 apresentam-se os resultados para as taxas de rejeito de 50%, 7,6% e 54% para a configuração azul com uma seletividade de 0,925. os demais

dados são: material a depurar: 100 t/d; contaminantes no material a depurar: 10 t/d e pureza desejada: 99,9%.

TABELA D8 Balanço de fluxos para configuração Azul para S=0,925

	A	B	C	D	E	F	G
12	Balanço de Fluxos do Sistema		2				
13	Número	Descrição	Total	contam.	Conc.	Eficiências e Taxas de Rejeitos	
14	da linha	Sistema Azul	t/d	t/d	%		
15							
16	1	Alimentação do sistema	100	10,00	10,00%	E1= 0,9302 R1= 0,5000	
17	2	Alimentação do primeiro depurador	347	19,0	5,50%		
18	3	rejeito do primeiro depurador	173	17,7	10,22%		
19	4	depurado do primeiro Depurador	173	1,3	0,77%	E2= 0,5231 R2= 0,0760	
20	5	Alimentação do segundo depurador	267	19,0	7,11%		
21	6	rejeito do sistema	20	9,9	48,9%		
22	7	depurado do segundo depurador	247	9,0	3,67%	E3= 0,9399 R3= 0,5400	
23	8	alimentação do terceiro depurador	173	1,33	0,77%		
24	9	rejeito do terceiro depurador	94	1,25	1,33%		
25	10	material depurado	80	0,08	0,10%	E= 0,9920	

Todas as condições foram satisfeitas e os fluxos são viáveis economicamente. A perda foi de 10,1 t/d

D.2.4 Conclusão

A planilha “*Depuração 1*”, construída de forma diferente à planilha “*Depuração*”, pois a quantidade a depurar e a pureza desejada são dados, precisa do ajuste das taxas de rejeito para satisfazer à pureza. Somente para elevada Seletividade, há resultados viáveis para alta concentração inicial de contaminantes e elevada pureza. A seleção da melhor configuração resulta da comparação de fluxos de alimentação (proporcional a custos de instalação e de

operação) dos depuradores e perdas de material (a maior perda, menor rendimento), para obter a pureza desejada.

Como resulta laborioso e demorado o ajuste manual das taxas de rejeito, decidiu-se testar o recurso “Solver” do Excel, em que os balanços não mais podem ser calculados por iteração, pois o “Solver” já opera por aproximações sucessivas.

Assim, foi construída a planilha ***Depuração 2***, (item 5.6, pág. 138). As planilhas ***Depuração e Depuração 1***, foram eliminadas do modelo, pois tem as mesmas capacidades, somente que na planilha ***Depuração 2***, se evitou o uso de Macros, já que dificultam sua transmissão eletrônica. Com o recurso Macro (compilável) será possível preparar novas funções, não disponíveis no Excel, se necessário.

ANEXOS

ANEXO A

A1 “Solver”,

A2 Caixa de diálogo dos Parâmetros do “Solver”

A3 Caixa de diálogo Opções do “Solver”

ANEXO A.1: “Solver”

Ferramenta suplementar do Excel, que ajuda a encontrar solução e otimização de equações com uma variedade de métodos numéricos. Para usar, abre-se caixa de diálogo **Ferramentas** no Excel, seguido de **Suplementos** e marca a caixa de seleção “**Solver**”. Abre-se novamente **Ferramentas** e “**Solver**” para usar.

Previamente, deve-se expressar, em função das variáveis a otimizar (neste caso, as taxas de rejeito), as funções a serem maximizadas, minimizadas ou igualadas a um valor dado. Também, as restrições devem ser expressas em função das variáveis a serem otimizadas.

A.1.1 Como o “Solver” funciona

Com o “Solver”, pode-se localizar um valor ideal para uma fórmula em uma célula — chamada de célula de destino — em uma planilha. O “Solver” trabalha com um grupo de células relacionadas, direta ou indiretamente, com a fórmula na célula de destino. O “Solver” ajusta os valores nas células variáveis que sejam especificadas — chamadas de células ajustáveis — para produzir o resultado especificado na fórmula da célula de destino. Pode-se aplicar restrições para

limitar os valores que o “Solver” poderá usar no modelo e as restrições podem se referir a outras células, que afetem a fórmula da célula de destino.

A.1.2 Restrições

Limites colocados a um problema do “Solver”. Podem ser aplicadas às células ajustáveis (variáveis), à célula de destino ou a outras células, direta ou indiretamente, relacionadas com a célula destino. Para problemas lineares, não existe limitação ao número de restrições. Para problemas não lineares, cada célula ajustável pode ter as seguintes restrições: uma restrição binária, uma restrição inteira, mais limites inferior e/ou superior. Podem ser especificados o limite superior ou inferior para até 100 outras células.

Operadores usados nas restrições e seu significado:

< = menor que ou igual a

> = maior que ou igual a

= igual a

int inteiro (aplicável somente às células ajustáveis).

bin binário (aplicável somente às células ajustáveis).

A.1.3 Bases teóricas

Para problemas não lineares, não existe método único, ou melhor, aplicável a todos os casos, a todos os problemas. Existem diferentes métodos computacionais, baseados em diferentes

estratégias para se chegar à solução. Quando existem mais incógnitas que equações, o problema pode ter (se existir) infinitas soluções. Otimizar a solução, de modo que satisfaça a um critério pré estabelecido, adiciona complexidade à metodologia desenvolvida, e nem sempre pode encontrar solução, dependendo do valor inicial.

A solução encontrada pode não ser a melhor, ou a única, pois o cálculo por aproximações pode iterar até um tempo dado para resolver o problema, ou até que duas soluções defiram em menos que o valor da precisão dos cálculos, ou outro critério imposto.

O aumento da complexidade intrínseca dos problemas atuais de engenharia tem produzido uma explosão combinatória das soluções possíveis, mesmo quando existem métodos efetivos para a exploração do espaço de solução. Mediante processamento computacional, pode-se fornecer múltiplos valores de solução, para escolha da melhor solução, segundo critério pré-estabelecido. Aplicações relacionadas com a modelagem e identificação de sistemas não lineares requerem métodos eficientes de otimização das múltiplas soluções geradas.

Os principais procedimentos de análise numérica, passíveis de implementação computacional, empregam métodos que utilizam, somente, o gradiente local da função ou métodos que utilizam, também, as derivadas de segunda ordem. Para acelerar a convergência à solução (se existir) há diversas técnicas, que requerem mais ou menos recursos e/ou tempo computacionais. Se a superfície da função-soluções for contínua e diferenciável em relação ao vetor dos parâmetros, então os mais eficientes métodos de otimização não linear podem ser aplicados. Problemas não convexos e não lineares impedem uma solução analítica, mas permitem processos iterativos de solução, a partir de uma condição inicial, na forma da equação A.1.

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x_i d_i \quad (\text{A.1})$$

onde: x_i é o vetor de parâmetros, Δx_i é o passo de ajuste e d_i é a direção do ajuste, definidos na iteração i .

A direção e o passo do ajuste são definidos por algum dos numerosos algoritmos de ajuste de parâmetros, que é o que distingue cada técnica de solução.

Existem numerosos “Solver” ou métodos de otimização de soluções.

Na Internet, por exemplo (“FRONTLINE SYSTEMS”, 2004) aparece informação sobre o “Solver” vários “links” úteis para aplicativos de otimização e modelagem. No da “gams” há vários “Solver”s, agrupados numa linguagem comum e dados comuns, que permitem otimização de resultados (a empresa cobra pelo serviço).

Um resumo das técnicas aplicáveis para ajuste de variáveis está em Silva, (1998).

A.1.4 Algoritmo e métodos usados pelo Solver

O Microsoft Excel Solver usa o código de otimização não linear Generalized Reduced Gradient (GRG2), desenvolvido por Leon Lasdon, da University of Texas em Austin, e Allan Waren, (MICROSOFT, 2004).

Os problemas lineares e de inteiros usam o método simplex com limites sobre as variáveis e o método de desvio e limite, implementado por John Watson e Dan Fylstra, (FRONTLINE, 2004) (as informações estão disponíveis em inglês).

ANEXO A.2 Caixa de diálogo Parâmetros do “Solver”

ANEXO A.2 Caixa de diálogo Parâmetros do “Solver”

Para usar o “Solver” se definem os parâmetros do “Solver”.

A.2.1 Definir célula de destino

Especifica a célula de destino, cujo valor deseja-se definir, para um valor determinado, ou maximizar ou minimizar. Esta célula deve conter uma fórmula [para resultados em função dos valores ajustáveis].

A.2.2 Igual a

Especifica se deseja-se que a célula de destino será maximizada, minimizada ou definida com um valor específico. Se desejar um valor específico, deve-se digitá-lo na caixa.

A.2.3 Variando células

Especifica as células que podem ser ajustadas até que as restrições do problema sejam atendidas e a célula especificada na caixa **Definir célula de destino** atinja sua meta. As células ajustáveis devem estar relacionadas, direta ou indiretamente, à célula de destino. [Isto se faz expressando as equações de cálculo nas células de destino e de restrições em função, direta ou indireta, das células ajustáveis].

A.2.4 Estimar

Faz previsão e coloca referências na caixa **Células variáveis** de todas as células de fórmulas diferentes das fórmulas na caixa **Definir célula de destino**.

A.2.5 Submeter às restrições

Lista as restrições atuais para o problema.

A.2.6 Adicionar

Exibe a caixa de diálogo **Adicionar restrição**.

A.2.7 Alterar

Exibe a caixa de diálogo **Alterar restrição**.

A.2.8 Excluir

Remove a restrição selecionada.

A.2.9 Resolver

Inicia o processo de solução para o problema definido.

A.2.10 Fechar

Fecha a caixa de diálogo, sem resolver o problema. Mantém as alterações feitas com os botões **Opções**, **Adicionar**, **Alterar** ou **Excluir**.

A.2.11 Opções

Exibe a caixa de diálogo **Opções do “Solver”**, onde você poderá carregar e salvar modelos de problemas e controlar os recursos avançados do processo de solução.

A.2.12 Redefinir tudo

Limpa as definições atuais do problema e redefine todas as definições para os valores iniciais.

[Adaptado da **Ajuda** do Excel]

ANEXO A.3 Caixa de diálogo Opções do “Solver”

ANEXO A.3 Caixa de diálogo Opções do “Solver”

Pode-se controlar os recursos avançados do processo de solução, carregar ou salvar definições de problemas e definir parâmetros para os problemas lineares e não lineares. Cada opção tem uma definição padrão adequada à maioria dos problemas.

A.3.1 Tempo máximo

Limita o tempo usado pelo processo de solução. Apesar de se poder fornecer um valor tão alto quanto 32.767s (9h6m7s), o valor padrão de 100 (segundos) é o mais adequado para grande parte dos pequenos problemas.

A.3.2 Iterações

Limita o tempo utilizado pelo processo de solução, restringindo o número de cálculos provisórios. Apesar de se poder fornecer um valor tão alto quanto 32.767, o valor padrão de 100 (segundos) é o mais adequado para grande parte dos pequenos problemas.

A.3.3 Precisão

Controla a precisão das soluções, utilizando o número que se forneceu para determinar se o valor de uma célula de restrição alcançou a meta ou satisfaz a um limite superior ou inferior. A precisão deve ser indicada por uma fração entre 0 (zero) e 1. Uma precisão maior é quando o número fornecido possui mais casas decimais — por exemplo, 0,0001 tem mais precisão do que 0,01.

A.3.4 Tolerância

A porcentagem através da qual a célula de destino de uma solução, atendendo às restrições de número inteiro, pode divergir do valor ideal e, ainda, ser considerada aceitável. Esta opção é aplicada, somente, aos problemas com restrições de número inteiro. Uma tolerância mais alta tende a acelerar o processo de solução.

A.3.5 Convergência

Quando a mudança relativa no valor da célula de destino é menor que o valor das cinco últimas iterações na caixa **Convergência**, o “Solver” é interrompido. A convergência é aplicada, apenas, aos problemas não lineares e deve ser indicada por uma fração entre 0 (zero) e 1. Uma convergência menor é indicada quando o número fornecido tem mais casas decimais — por exemplo, 0,0001 tem uma mudança relativa menor que 0,01. Quanto menor o valor da convergência, mais tempo será necessário para o “Solver” encontrar uma solução.

A.3.6 Presumir modelo linear

Selecionar, para acelerar o processo de solução, quando todas as relações no modelo forem lineares e se desejar resolver um problema de otimização linear.

A.3.7 Mostrar resultados de iteração

Selecionar para instruir o “Solver” a interromper e exibir os resultados de cada iteração.

A.3.8 Usar escala automática

Selecionar para usar a escala automática quando as entradas e saídas tiverem tamanhos muito diferentes — por exemplo, quando a maximização da porcentagem de lucros estiver baseada em investimentos de milhões de dólares.

A.3.9 Presumir não negativo

Instrui o “Solver” a presumir um limite mínimo de 0 (zero) para todas as células ajustáveis para as quais não se definiu um limite mínimo na caixa **Restrição** da caixa de diálogo **Restrição**.

A.3.10 Estimativas

Especifica a abordagem usada para obter as estimativas iniciais das variáveis básicas em cada pesquisa unidimensional.

A.3.11 Tangente

Usa a extrapolação linear de um vetor tangencial.

A.3.12 Quadrática

Usa a extrapolação quadrática, que pode melhorar os resultados em problemas altamente não-lineares.

A.3.13 Derivadas

Especifica a diferenciação usada para estimar derivadas parciais das funções de objetivo e de restrição.

A.3.14 Adiante

Para usar na maioria dos problemas em que os valores de restrição são alterados com relativa lentidão.

A.3.15 Central

Para usar em problemas em que as restrições são rapidamente alteradas, principalmente perto dos limites. Embora esta opção requeira mais cálculos, pode ser útil usá-la quando o “Solver” retornar uma mensagem informando que não pode melhorar a solução.

A.3.16 Pesquisar

Especifica o algoritmo que será usado, em cada iteração, para decidir em que direção pesquisar.

A.3.17 Newton

Usa o método quase-Newton que, geralmente, exige mais memória e bem menos iterações do que o método gradiente Conjugado.

A.3.18 Conjugado

Requer menos memória do que o método Newton mas, geralmente, exige mais iterações para atingir determinado nível de precisão. Usar esta opção quando houver um problema grande e a quantidade de memória disponível for uma preocupação, ou quando as várias iterações do processo de solução se revelarem um progresso lento.

A.3.19 Carregar modelo

Exibe a caixa de diálogo **Carregar modelo**, em que pode-se especificar a referência para o modelo que se deseja carregar.

A.3.20 Salvar modelo

Exibe a caixa de diálogo **Salvar modelo**, em que pode-se especificar onde se deseja salvar o modelo. Clicar nessa caixa, somente, quando se desejar salvar mais de um modelo com a planilha — o primeiro modelo é salvo automaticamente.

Fonte: Ajuda do “Solver”.