



## **ATERRO SANITÁRIO: PROPOSTA PARA SUBSTITUIR LIXÕES NAS CIDADES COM ATÉ 100.000 HABITANTES**

**Enildo Batista Lopes**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientadores: José Antônio da Silva Souza

Jorge Laureano Moya Rodríguez

Belém

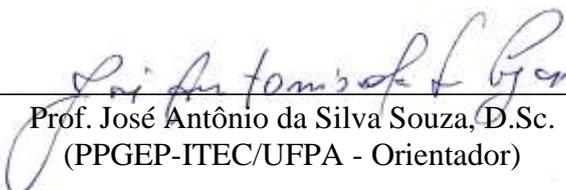
Agosto de 2016

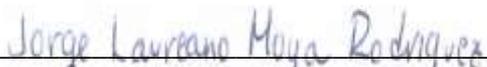
**ATERRO SANITÁRIO – PROPOSTA PARA SUBSTITUIR LIXÕES NAS  
CIDADES COM ATÉ 100.000 HABITANTES**

Enildo Batista Lopes

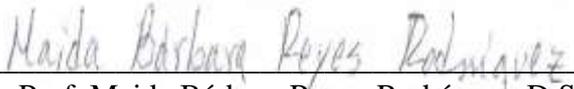
DISSERTAÇÃO (EXAME DE QUALIFICAÇÃO) SUBMETIDA(O) AO CORPO  
DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A  
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

Examinada(o) por:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. José Antônio da Silva Souza, D.Sc.  
(PPGEP-ITEC/UFPA - Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Jorge Laureano Moya Rodríguez, Ph.D.  
(PPGEP-ITEC /UFPA-Coorientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Edinaldo José de Souza Cunha, D.Sc.  
(PPGEP-ITEC/UFPA - Membro)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Maida Bárbara Reyes Rodríguez, D.Sc.  
(UCLV-CUBA - Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

AGOSTO DE 2016

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da UFPA**

---

Lopes, Enildo Batista, 1964-

Aterro Sanitário - Proposta Relevante para Reduzir os Lixões nas Cidades de até 100.000 Habitantes / Enildo Batista Lopes - 2016.

Orientadores: José Antônio da Silva Souza  
Jorge Laureano Moya Rodríguez

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, 2016

1. Gestão ambiental 2. Resíduos sólidos 3. Aterro Sanitário 4. Sustentabilidade-Tabatinga (AM). I. Título

CDD 22. ed. 363.7285098113

---

*Este trabalho é dedicado ao Senhor DEUS, aos amigos e colegas que sempre apoiaram, incentivaram e de alguma forma contribuíram para a elaboração do mesmo. Em particular à minha esposa, Ana Maria, filhas, Adriana, Thayane, Maria Isabel, Elouana e neto, Thiago, pelo incentivo e encorajamento.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao amigo Professor José Antônio da Silva Souza pela orientação, incentivo e ajuda na elaboração e composição do trabalho.

Ao amigo Professor João Nazareno Nonato Quaresma pelo incentivo e coragem na hora de implantar um trabalho no Amazonas.

Ao colega e amigo Professor Jandecy Cabral pela ajuda, incentivo e colaboração para o trabalho.

Ao colega e amigo Professor Ivan Ruiz Chaveco pela ajuda e parceria na discussão técnica.

Aos colegas da Turma 1 Itagam pelo incentivo e colaboração.

Aos profissionais do Itagam pela dedicação e ajuda na caminhada.

Aos professores da UEA-Tabatinga pelo incentivo, apoio e colaboração, em especial a Hiléia, Pedro, Iatiçara, Rita, Francileny, Artemisia, Zequias, Paulo, Jucilene, Eulina.

A Alcaldia de Leticia Colômbia, em especial a Zonia Marin e a Robert Benjumea Acosta pela disponibilidade de servir no momento do trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

## **ATERRO SANITÁRIO – PROPOSTA PARA SUBSTITUIR LIXÕES NAS CIDADES COM ATÉ 100.000 HABITANTES**

**Enildo Batista Lopes**

Agosto/2016

Orientadores: José Antônio da Silva Souza

Jorge Laureano Moya Rodríguez

Área de Concentração: Engenharia de Processos

Em nossos dias, com o crescente aumento populacional e em face de problemas oriundos dos mais diversos campos, torna-se necessário ao mundo da ciência apresentar resposta emergente nas variadas áreas do saber. O lixo urbano é produzido diariamente, sendo descartado na maioria das cidades brasileiras de forma inadequada, o que tem sido a insônia de muitos governantes, por ser inesgotável e ter se tornado um enorme e agonizante problema para os responsáveis pela limpeza urbana, uma vez que resíduo de toda natureza são descartados no meio urbano, os quais necessitam de um destino final adequado. Proteger o solo, o ar e os hídricos faz parte desta empreitada, que requer além de conhecimentos técnicos, de projetos socialmente ajustados, recursos humanos e recursos financeiros resolutivos. O presente trabalho apoiou-se na vasta literatura relacionada, na pesquisa qualitativa e desenvolveu modelos para a despoluição do meio. Seu principal objetivo é indicar caminhos para amenizar o problema em cidades brasileiras de até 100.000 habitantes, na medida em que aponta soluções administrativas, de prevenção e de investigação. Além disso, este trabalho fornece direção para a destinação de resíduos em local adequado, educação científica utilizada para um novo momento da educação ambiental e a tomada de conscientização por parte dos empresários. Tal trabalho proporcionará com a logística reversa um tema para discutir, pensar e melhorar a renda de dezenas de famílias.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

**LANDFILL – RELEVANT PROPOSAL TO REDUCE LANDFILLS IN SMALL  
AND MID-SIZED CITIES**

**Enildo Batista Lopes**

August/2016

Advisors: José Antônio da Silva Souza

Jorge Laureano Moya Rodríguez

Research Area: Process Engineering

In our days, with the increasing population and in the face of problems from the most diverse fields, it is necessary to the world of science present emerging response in various areas of knowledge. The mastery in the various sciences also brings in its framework the responsibility for human beings, other living beings, the environment and the guarantee of safe, promising future, balanced, thinking rationally and politically correct. The urban waste is produced daily, being discarded in most Brazilian cities inappropriately, what has been the insomnia of many rulers. This by be inexhaustible and become a huge, agonizing problem for those responsible for urban cleaning, since residue of any kind are discarded in the urban environment, which require a proper final destination. Protect the soil, water and air is part of this undertaking, which requires in addition to technical knowledge, socially adjusted projects, financial resources and human resources resolutions. The present work is based in the vast literature connected, qualitative research and developed models for cleaning up the middle. Its main purpose is to indicate ways to ease the problem in cities of up to 100.000 inhabitants, as administrative solutions, prevention points and research. In addition, this work provides a waste disposal in suitable place, science education and awareness by a part of entrepreneurs. This work will provide with the reverse logistics a topic to discuss, think and improve the income of dozens of families.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 - MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS.....	1
1.2 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	6
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>8</b>
2.1 - RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	8
2.2 - CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	10
2.3 - DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	11
<b>2.3.1 - Compostagem.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.2 - Incineração.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.3 - Lixões ou vazadouros.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.4 - Aterros controlados.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3.5 - Aterros Sanitários.....</b>	<b>14</b>
2.3.5.1 - Histórico.....	15
2.3.5.2 - Definição.....	15
2.3.5.3 - Classificação de Aterro Sanitário.....	16
2.3.5.4 - Metodologia.....	16
2.3.5.4.1 - Levantamentos Básicos.....	17
2.3.5.4.2 - Estudos e Projetos.....	19
2.3.5.4.3 - Plano de Execução do Aterro Sanitário.....	22
2.4 - PROPRIEDADES FÍSICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	31
<b>2.4.1 - Composição.....</b>	<b>31</b>
<b>2.4.2 - Distribuição do Tamanho das Partículas.....</b>	<b>32</b>
<b>2.4.3 - Teor de Umidade.....</b>	<b>32</b>
<b>2.4.4 - Temperatura.....</b>	<b>33</b>
<b>2.4.5 - Peso específico in situ.....</b>	<b>33</b>
<b>2.4.6 - Permeabilidade do RSU.....</b>	<b>34</b>
2.5 - PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	34
<b>2.5.1 - Compressibilidade dos RSU.....</b>	<b>35</b>
<b>2.5.2 - Resistência ao Cisalhamento do RSU.....</b>	<b>37</b>
2.6 - LOGÍSTICA REVERSA PARA RESÍDUOS SÓLIDOS.....	41
<b>2.6.1 - Logística Reversa.....</b>	<b>42</b>
<b>2.6.2 - Logística Direta e Logística Reversa.....</b>	<b>43</b>
<b>2.6.3 - Como Funciona a Logística Reversa.....</b>	<b>45</b>
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>48</b>
3.1 - DADOS SOBRE A CIDADE DE TABATINGA-AM.....	48
<b>3.1.1 - Localização.....</b>	<b>48</b>

3.1.2 - Limites Territoriais.....	48
3.1.3 - Áreas e Altitudes.....	48
3.1.4 - Clima e Relevô.....	48
3.1.5 - Hidrografia.....	49
3.1.6 - População.....	50
3.1.7 - Crescimento Demográfico Local.....	50
3.1.8 - Características Urbanas.....	51
3.1.9 - Saúde.....	52
3.1.10 - Habitação.....	52
3.1.11 - Índice de Desenvolvimento Humano – IDH.....	53
3.1.12 - Situação do Saneamento Básico.....	53
3.1.13 - Estrutura Operacional, Fiscalizatória e Gerencial.....	55
3.1.14 - Iniciativas e Capacidade de Educação Ambiental.....	55
3.1.15 - Coleta e Transporte.....	56
3.1.16 - Destinação e Disposição Final.....	57
3.2 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO ATERRO EM LETICIA-COLÔMBIA.....	58
3.2.1 - Parâmetros básicos.....	58
3.2.2 - Quantidade e qualidade de resíduos dispostos.....	60
3.2.3 - Estimativa da Produção de Gases.....	61
3.2.4 - Ação da Produção de Lixiviados.....	62
3.2.5 - Lugar de Disposição Final.....	64
3.2.5.1 - Frente de Disposição.....	64
3.2.5.2 - Cobertura Diária.....	64
3.2.5.3 - Sistema de Impermeabilização e Coletagem e Condução de Lixiviados.....	64
3.2.5.4 - Manejo de gases.....	65
3.2.5.5 - Sistema de Manejo de Águas Pluviais.....	65
3.2.5.6 - Cobertura.....	65
3.2.5.7 - Poços de Monitoração.....	65
3.2.5.8 - Sistema de Tratamento de Lixiviados.....	66
3.2.6 - Sistema de Tratamento de Águas Residuais Domésticas.....	67
3.2.7 - Exames Laboratoriais.....	67
<b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>69</b>
4.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ANÁLISE DE AMOSTRAS E CONTRA AMOSTRAS.....	69
4.2 - METAIS PESADOS.....	75
4.3 - DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO E DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO.....	79
4.4 - MODELO PARA ELIMINAÇÃO DA POLUIÇÃO.....	80
4.5 – EDUCAÇÃO CIENTÍFICA-SUSTENTABILIDADE, UMA FORMA DE CONSCIENTIZAR.....	83

4.6 - IMPLANTAÇÃO DA LOGÍSTICA REVERSA.....	90
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....</b>	<b>93</b>
5.1 - CONCLUSÕES.....	93
5.2 - SUGESTÕES.....	95
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>96</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Percentual da população, PIB e geração de resíduos sólidos por região.....	10
Figura 2.2	Classificação dos resíduos sólidos urbanos segundo a sua origem NBR 10004 de 2004.....	11
Figura 2.3	Ilustração do ciclo produtivo e de consumo, mostrando que o que não é reciclado ou reaproveitado volta a integrar os recursos naturais.....	12
Figura 2.4	Drenagem de águas pluviais.....	25
Figura 2.5	Sistema australiano de lagoas de estabilização.....	26
Figura 2.6	Método das trincheiras.....	28
Figura 2.7	Método da rampa.....	29
Figura 2.8	Método da área.....	29
Figura 2.9	Perfil da célula.....	30
Figura 2.10	Perfil do talude.....	30
Figura 2.11	Resistencia ao cisalhamento do RSU 1.....	39
Figura 2.12	Resistencia ao cisalhamento do RSU 2.....	39
Figura 2.13	Resistencia ao cisalhamento do RSU 3.....	39
Figura 2.14	Resistencia ao cisalhamento do RSU 4.....	40
Figura 2.15	Resistencia ao cisalhamento do RSU 5.....	41
Figura 2.16	Processo de logística reversa.....	46
Figura 2.17	Canais de distribuição diretos e reversos.....	47
Figura 3.1	Município de Tabatinga.....	49
Figura 3.2	Mapa da hidrografia de Tabatinga.....	50
Figura 3.3	Pirâmide faixa etária populacional.....	50
Figura 3.4	Resíduos queimados a céu aberto.....	54
Figura 3.5	Tubulação de águas pluviais.....	54
Figura 3.6	Previsão de quantidade e qualidade de resíduos dispostos.....	61
Figura 3.7	Dimensionamento básico do aterro sanitário.....	63
Figura 3.8	Esquema amostras no aterro e igarapé.....	68
Figura 4.1	Coleta de água para testes laboratoriais nas proximidades do aterro sanitário da cidade de Leticia-Colômbia.....	74

Figura 4.2	Aterro da cidade de Leticia Colômbia em pleno funcionamento	75
Figura 4.3	Folder de escola municipal aborda educação ambiental.....	85
Figura 4.4	Trabalhos mostrados na feira da sustentabilidade.....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Geração de Resíduos Sólidos.....	9
Tabela 2.2	Número mínimo de ensaios geotécnicos em aterros de lixo.....	19
Tabela 2.3	Valores da constante de compactação K.....	25
Tabela 2.4	Composição do RSU para diferentes cidades.....	31
Tabela 2.5	Variação e valor médio componente RSU.....	32
Tabela 2.6	Umidade dos componentes do RSU.....	33
Tabela 2.7	Diferentes características entre as logísticas direta e reversa.....	44
Tabela 3.1	Quadro crescimento demográfico.....	51
Tabela 3.2	Composição do Quadro Funcional para o Serviço de Limpeza Pública.....	55
Tabela 3.3	Especificação técnicas do projeto RAS 2000.....	59
Tabela 3.4	Parâmetros básicos do projeto. Aterro sanitário de Leticia.....	59
Tabela 4.1	Ponto 1: Saída de lixiviado para a primeira lagoa antes de passar ao reator UASB.....	70
Tabela 4.2	Ponto 2: Saída de lixiviado para a primeira lagoa antes de passar ao reator UASB.....	71
Tabela 4.3	Ponto 3: Saída de lixiviado para a primeira lagoa antes de passar ao reator UASB.....	72
Tabela 4.4	Ponto 4: Águas do igarapé acima do ponto de vertimento das águas.....	73
Tabela 4.5	Ponto 5: Ponto de diluição das águas da lagoa de tratamento com vegetais, com as águas do igarapé.....	73
Tabela 4.6	Ponto 6: águas do igarapé abaixo do ponto de vertimento das águas.....	74
Tabela 4.7	Limites estabelecidos pela legislação brasileira para o descarte de efluentes e de potabilidade de água para consumo humano.....	77
Tabela 4.8	Resultado de metais pesados em corpo d'água.....	78
Tabela 4.9	Resultado DBO e DQO em corpo d'água.....	79

## NOMENCLATURA

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ABRELPE	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS
ANVISA	AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA
CETAM	CENTRO DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO ESTADO DO AMAZONAS
CETESB	COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO.
DBO	DEMANDA BIOQUÍMICA DO CARBONO.
DQO	DEMANDA QUÍMICA DO CARBONO
EIA	ESTUDOS DE IMPACTOS AMBIENTAIS
RIMA	RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL
PBA	PROJETO BÁSICO AMBIENTAL
EPI's	EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL
FGV	FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS
FVS	FUNDAÇÃO DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA DO ESTADO DO AMAZONAS
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
IDH-M	ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO MUNICIPAL
INCRA	INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA
IUPAC	UNIÃO INTERNACIONAL DE QUÍMICA PURA E APLICADA
MB	MAURÍCIO BISORDI
MNCR	MOVIMENTO NACIONAL DE CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS
NBR	NORMA BRASILEIRA
PET	POLI TEREFTALATO DE ETILENO
PGIRS	PLANO DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS
PIB	PRODUTO INTERNO BRUTO
PLAMSAN	PLANO MUNICIPAL DE SEGURANÇA ALIMENTAR E NUTRICIONAL
PNSB	PESQUISA NACIONAL SOBRE SANEAMENTO BÁSICO
PNUD	PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO
PRAD	PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS
RAS	CERTIFICAÇÕES SOCIO-AMBIENTAL - RAINFOREST ALLIANCE CERTIFIED
RDC	RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA

RSS	RESÍDUOS DOS SERVIÇOS DE SAÚDE
RSU	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS
S.A.S	SERVICIO DE AMBIENTE Y SALUD
SEPLAN/AM	SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO AMAZONAS
SGQ	SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE
UASB	DIGESTOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET
UNCHE	CONFERENCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE HUMANO – UNITED NATIONS CONFERENCE ON THE HUMAN ENVIRONMENT

### Símbolos

Q	Vazão
S	Área
C	Coefficiente de escoamento superficial
I	Intensidade da chuva
n	Coefficiente de rugosidade
$R_h$	Raio hidráulico
P	Precipitação média anual (mm/ano)
t	tempo (s) (equivalente a 1 ano = 31 536 000s)
K	Constante de compactação
h	Altura da célula
i	Inclinação
V	Volume a aterrar (m <sup>3</sup> )
$\rho_1$	Recalque devido a compressão primária
$H_o$	Espessura da camada
$e_0$	Índice de vazio inicial
$C_c$	Índice de compressão primária
$\sigma'_{v0}$	Tensão vertical efetiva inicial
$\Delta \sigma'_{v0}$	Acréscimo de tensão vertical efetiva
$\rho_2$	Recalque devido a compressão secundária
$H_o$	Espessura da camada
$e_0$	Índice de vazio inicial
$C_\alpha$	Índice de compressão secundária
$t_1$	Tensão vertical efetiva inicial
$\Delta t$	Acréscimo de tensão vertical efetiva
$V_{CH_4}$	Volume de metano

K	(1/ano): taxa de geração de metano
$L_o$	Potencial de geração de metano expresso em volume por unidade de massa do resíduo
M(t)	(parcela biodegradável do resíduo)
Pa	Pascal
N/m <sup>2</sup>	Newton por metro quadrado
Kgf/m <sup>2</sup>	Quilograma-força por metro quadrado
W (ton/d)	Produção de resíduos em toneladas diárias

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 - MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

SILVERN e YOUNG (2013) no livro *Mudança ambiental e Sustentabilidade* expressam as mudanças que o ambiente está passando ao redor do mundo em vista a ação do homem. O crescimento da população humana, a expansão da economia global, a rápida urbanização, o surgimento de pequenas cidades, o êxodo rural em direção às aglomerações urbana, a difusão de costumes de consumo de populações ocidentais vem colocando uma grande pressão sobre o ambiente natural e social.

Não obstante, governos, instituições, cidades, Estado-Nação, comunidades locais estão se debruçando em como buscar a sustentação em meio ao progresso de nossos dias. Descobrir soluções para os pequenos e grandes problemas advindos do propalado progresso tem sido um desafio constante, quando a questão é o equilíbrio ambiental e o desafio socioeconômico.

Sustentabilidade é uma palavra nova que surgiu como um discurso político que buscava proteger o ambiente na medida em que pretende equilibrar o desejo e a necessidade do crescimento econômico, traz em sua bagagem à justiça social atrelada as questões ambientais. Sabe-se que a mudança ambiental global tem sido discutida em diversos fóruns mundiais, cujo pano de fundo é a perspectiva da catástrofe que se quer evitar, ou aparentemente pretende-se evitar nesse turbilhão de acontecimentos, ora denunciados pela ciência e ora pelos organismos defensores do equilíbrio ecológico do planeta.

Na verdade o presente estudo visa buscar caminhos para amenizar o impacto ambiental e social causado pelo lixão a céu aberto que se encontra na cidade de Tabatinga-Amazonas-Brasil, na fronteira com as Repúblicas do Peru e Colômbia. Tabatinga é cidade gêmea com a colombiana cidade de Leticia cuja fronteira seca forma uma verdadeira conturbação e há muitas semelhanças entre as administrações, brasileira e colombiana principalmente na gestão ambiental de resíduos sólidos.

Quanto a destinação dos resíduos sólidos a preocupação é também muito grande, pois na Amazônia os lençóis subterrâneos são bastante superficiais e além da contaminação do solo há o eminente perigo da contaminação do lençol freático. Neste

contexto, o presente trabalho se propõe a estudar as relações entre as medidas técnicas tomadas no lado brasileiro e no lado colombiano com vistas a encontrar as melhores soluções por sua vez aplicáveis em ambos os lados, apontará também as principais características dos resíduos, sua formação, coleta, destinação, índices pluviométricos, entre outras características que permitam detectar o índice de riscos ambientais e apontem medidas sanadoras a serem adotadas diante das características físico-químicas do material presente no lixão.

Será interessante perceber a importância do desenvolvimento sustentável do lugar, ou seja, relacionar as ações e atividades dos diversos atores sociais que vivem e trabalham dentro deste contexto ambiental, socioeconômico e geográfico. Também será necessário analisar tais atividades baseados em modelos que espelhem o funcionamento desses atores, objetivando a compreensão dos diversos sistemas e a possibilidade de formular as possíveis respostas para a solução das questões do meio ambiente e da sustentabilidade, conforme relatam SILVERN e YOUNG (2013) quando dizem que a necessidade para o desenvolvimento sustentável de base local que combina as condições locais com os processos globais de criação de um modelo de desenvolvimento sustentável, reforça a necessidade de sintetizar o conhecimento local e tradicional do meio ambiente e gestão ambiental com as técnicas e entendimentos gerados pela ciência moderna.

Ainda sobre os modelos são apresentados estudos testados e aprovados principalmente em lixões e em descontaminação de solos, rios, lagoas, que permitem estimar as consequências a curto, médio e longo prazo, os impactos químicos sobre o ambiente, organismos e populações, permitindo a previsão, a prevenção e a intervenção.

Quando nos deparamos com o processo de planejamento de qualquer cidade de médio e pequeno porte na mesorregião do Alto Solimões, notamos que na maioria das vezes não há diretrizes que atuem na política de desenvolvimento, que incida na gestão territorial e muito menos na questão ambiental, o sistema de planejamento de gestão quase sempre existe no papel, mas inexistente na prática.

Reduzir desigualdades, respeitar a função social da cidade, garante o direito a cidade para todos, compreende o direito ao saneamento ambiental, a infraestrutura, que eleva a qualidade de vida da população e promove o desenvolvimento sustentável.

Neste início de século muito se tem falado da elevação da qualidade de vida, da qualidade do ambiente urbano, da preservação dos recursos naturais, da qualidade do ar, da água dos mananciais, enfim da vida em ambientes livres de resíduos, de poluição e

da manutenção do verde, no entanto está passando da hora de abandonar as falas, os acordos e começar a pôr em prática as ações que farão de nossas cidades verdadeiros espaços ambientalmente corretos e aptos à vida.

Sabe-se que a melhoria do ambiente começa no seio da família, na escola, que são as duas comunidades para onde deve ir toda criança, que o verdadeiro aprendizado e conscientização passa por esses espaços, assim o presente estudo apresenta uma interface com a conscientização na escola, ou seja, à medida em que se busca entender toda sistemática e dinâmica dos resíduos, notifica-se instituições de ensino para a socialização do projeto.

Há a expectativa de melhorar os processos de saúde de forma significativa da municipalidade, oferecendo um embasamento para a discussão permanente, assim como há a expectativa do desenvolvimento de uma política ambiental acertada e dinâmica, que estimule o interesse dos governantes em desenvolver políticas de preservação e proteção ambiental.

Por outro lado, os processos de reciclagem e reaproveitamento de muitos resíduos sólidos devem ser trabalhados. Incentivar as cooperativas e microempresas que se interessam pelos resíduos, deve estar neste projeto, pois o lixo bem pensado também traz rendimentos e contribui para a área econômica.

O estudo que ora é proposto também contribuirá para a política do meio ambiente, uma vez que buscará indicar trajetórias que promovam o desenvolvimento sustentável, visará reduzir o risco socioambiental, chamará a atenção para as paisagens naturais e áreas de interesse ambiental das cidades.

Como é do conhecimento de todos na região amazônica há riscos de que recursos naturais sofram a degradação ante ao aumento das aglomerações populacionais, por esta razão o aterro sanitário visará corrigir tais distorções e tem a pretensão de ampliar e preservar as áreas verdes, diminuindo a poluição das águas e dos solos.

É relevante ainda mencionar a busca por alternativas que possuam um menor potencial poluidor, por essa razão pode pensar em campanhas de conscientização para a criação e ampliação da coleta seletiva, bem como em ações de educação sanitária e ambiental que preserve as áreas permeáveis, daí a escolha de áreas que reúnam as melhores condições e elimine os fatores de risco ambiental.

Quando são analisados os critérios para as escolhas das áreas do futuro aterro sanitários, é necessário levar em conta espécies raras ameaçadas de extinção do entorno,

grau de fragilidade de áreas em determinados ecossistemas, proteção aos cursos d'água, valor paisagístico, turístico, cultural, ecológico, científico, funcional e afetivo.

Mas é justamente no valor científico que é encontrada a maior contribuição, uma vez que o estudo envolve entes governamentais e especialmente atores da educação para estimular a preservação permanente das áreas de interesse paisagístico e cultural, unidades de uso sustentável e zonas de proteção ambiental, nas quais os aterros devem ser estabelecidos de maneira que não comprometa as unidades então citadas.

A Lei 11.445 de 5 de janeiro de 2007, que dispõe das diretrizes nacionais para o saneamento básico precisa ser observada e efetivada com vistas a destinar o lixo, consoante ao que dispõe as diretrizes para o manejo adequado dos resíduos sólidos.

Como base de estudo será investigado o chorume, lixiviado produzido em lixões ou aterros definido no trabalho de SOLER (2015), Biodegradação e Biorremediação de Sistemas poluídas - Novos Avanços e Tecnologias, que devido a presença de componentes macro inorgânicos, metais pesados e compostos orgânicos xenobióticos como orgânicos halogenados, são contaminantes poderosos que afetam águas subterrâneas e solos.

É interessante perceber que o tratamento de chorume é complicado haja vista que geralmente necessitam de vários processos para reduzir a DQO, nitrogênio, fósforo e todos que fazem o tratamento de chorume.

O lixiviado de aterro tem alta concentração de DQO, amônia e outros compostos de composição recalcitrantes. A quantidade desse material é principalmente em grande parte dependente da idade do aterro. Os tratamentos convencionais de chorume pode ser classificada como tratamentos físico-químicas e tratamentos biológicos.

Quando populares entram em contato com o chorume há medo dos contaminantes, pois o mau cheiro e a coloração do líquido sugere que há um perigo eminente para a saúde humana e ambiental, o que de fato acontece pois há comprovado 4 grupos de contaminantes no chorume a saber: (1) de matéria orgânica dissolvida, tais como álcoois, ácidos, aldeídos, e açúcares de cadeia curta; (2) componentes de macro inorgânicos, que incluem catiões e aniões (por exemplo, sulfato, cloreto, ferro, alumínio, zinco, amônia e comuns); (3) os metais pesados (por exemplo, Pb, Ni, Cu, Hg, etc);e (4) e compostos orgânicos.

Metais pesado são os componentes mais perigosos do chorume, pois há uma vasta literatura que se procura abordar as consequências do contato com esses materiais, WALLACE (2015) em Pesticidas ambientais e metais pesados o câncer de mama, foca

diretamente nesse mal súbito, o câncer da mama, que atormenta mulheres em todo o mundo. Estudar os índices desses metais e propor a despoluição guardará uma parte na discussão de modelos que permitam controlar os metais.

BARATA *et al* (2013) em A gestão ambiental no setor público: uma questão de relevância social e econômica faz a discussão sobre a necessidade dos governos apresentarem uma forma de gerenciamento ambiental no interior dos órgãos públicos, destaca a necessidade de melhorar a relação entre o meio e os seres humanos, atividades empresariais hoje e no futuro, expõe as vantagens econômicas decorrentes de experiências em que empresas adotaram critérios de ecoeficiência e a partir daí justificar a implantação de uma política efetiva de gestão ambiental, inclusive com a criação de uma agenda ambiental na administração pública que aperfeiçoe recursos, melhore o ambiente e seja exitosa quanto a elaboração do planejamento integrado busque a melhoria progressiva, introduza novas tecnologias e capacite servidores. Isto será possível com a criação de um grupo multidisciplinar que analise cada situação, proponha diagnósticos e aponte soluções após identificar pontos críticos e avaliação de impactos ambientais.

No projeto de dissertação foram estabelecidos para orientar o estudo aqui apresentado os seguintes objetivos geral e específicos que foram seguidos a risca, quais sejam:

Investigar de que maneira são depositados os resíduos sólidos de uma cidade brasileira de pequeno ou de médio porte, bem como oferecer alternativa politicamente e socialmente adequada que possam amenizar esse problema presente na maioria dos municípios do Solimões, em especial em Tabatinga-AM.

E ainda:

- Colher e sistematizar dados relativos à prestação dos serviços de destinação de resíduos sólidos;
- Disponibilizar estatísticas, indicadores e outras informações relevantes para a caracterização da demanda e da oferta desse serviço;
- Monitorar e avaliação a eficiência e a eficácia dos serviços de saneamento e coleta na cidade de Tabatinga-Am;
- Oferecer alternativas politicamente corretas e socialmente adequadas que possam amenizar o impacto ambiental e garantam a sustentabilidade;

- Propor um projeto de construção de aterro sanitário adequado, de acordo com o que estabelece a legislação pertinente em vigor.

## 1.2 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No presente capítulo buscou-se enfatizar as razões, objetivos e motivações para dar cumprimento à Lei 11.445 de 5 de janeiro de 2007, apontando resumidamente as diversas implicações que os lixões trazem ao meio ambiente, aos seres humanos e as perspectivas de busca de melhorias através da ação administrativa, através do desenvolvimento de políticas públicas acertadas.

O Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre resíduos sólidos, aspectos como definição e classificação são abordados. Aspectos como a destinação dos resíduos é colocada, focando na compostagem e a incineração, mas a melhor ênfase é dada para os aterros sanitários, onde são elencadas as fases de implantação dos aterros como: estudos e elaboração de projetos, plano de execução, entre outros. Finalizando o capítulo discorreu-se sobre as propriedades físicas e mecânicas dos resíduos sólidos.

O Capítulo 3 trata dos materiais e das metodologias utilizados neste trabalho, na verdade são materiais coletados nas cidades de Tabatinga Brasil e Letícia Colômbia, onde aspectos do dia a dia são tabelados, agrupados para a posterior análise. Também no capítulo 3 constam os dados da análise das águas feitas no aterro sanitário já em funcionamento na cidade colombiana de Leticia, o que possibilita o controle de diversos vetores influenciadores no equilíbrio do meio.

As análises dos resultados e suas discussões são apresentadas no Capítulo 4. De posse de amostras e contra amostras encaminhadas através da Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade de Letícia Colômbia ao Instituto de Higiene Ambiental S.A.S estabelecido na cidade de Bogotá, foi pensado num modelo matemático que estabelece através do sistema de Cuchy a desintoxicação do meio. Ainda no Capítulo 4 é tratada a educação ambiental como forma de auxiliar a compreensão dos mecanismos de disposição final dos resíduos e o capítulo é fechado com uma abordagem sobre a logística reversa que é a motricidade de todo um sistema de setores, industriais, comerciais, poder público, consumidores, cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis, que conduz o resíduo sólido após a sua utilização ao setor industrial, para reaproveitá-lo ou conduzi-lo ao descarte ambientalmente adequado, evitando a degradação ambiental, promovendo emprego e gerando cidadania.

Finalmente, no Capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões e sugestões para a continuação do trabalho em etapas posteriores.

## CAPITULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 - RESIDUOS SOLIDOS URBANOS

O desenvolvimento urbano, o crescente crescimento dos centros populacionais, os efeitos da industrialização, as mudanças nos níveis de vida das camadas populacionais de forma geral, tem provocado um considerável crescimento na produção de lixo. O RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) termo que a comunidade científica utiliza para definir lixo ou o subproduto, em nossos dias, é composto pelos resíduos domiciliares, de atividades industriais ou comerciais e de serviços públicos. Nesses resíduos estão presentes materiais sólidos, semissólidos e líquidos, entre eles, metal, papel, plástico, resto de comida, resíduos não reaproveitáveis, entre outros.

GUTBERLET (2015) define resíduos como algo sem valor, não utilizados ou tenha deixado de ser útil para o propósito humano. ZANTA e FERREIRA (2003) definem como sendo os materiais resultantes das inúmeras atividades desenvolvidas em áreas com aglomerações humanas. Esses autores apontam entre os RSU algumas classificações que de acordo com suas características físico-química-biológica, classificando-os como resíduos domiciliares, resíduos da construção civil, resíduos de atividades industriais, resíduos de serviços de saúde, resíduos de portos, aeroportos, terminais rodoviários, ferroviários, resíduos radioativos, entre outros.

GUTBERLET (2015) traz mostra dados percentuais da produção de lixo no Brasil segundo a autora, 25,5% dos municípios brasileiros ainda jogam seus resíduos em aterros não controlados, enquanto outros 19,6% depositam os resíduos em aterros controlados (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2007). Oficialmente, a taxa de reciclagem no Brasil ainda é insignificante, com cerca de 2% do lixo que está sendo recuperado através do governo que apoiou programas de coleta seletiva (BRASIL, 2009). Em todo o Brasil, assim como em outros países da América Latina e da Ásia, existem inúmeras experiências em que grupos organizados de reciclagem se dedicam a diferentes níveis com o Governo a fim de realizar a coleta seletiva em sua cidade. Em muitos casos os recicladores já estabeleceram uma história na comunidade com a coleta e parcerias com o comércio e a indústria porta-a-porta. É importante notar que o número oficial para reciclagem não

inclui o esforço de dezenas de milhares de recicladores informais que trabalham em todo o Brasil, assim como na maioria dos outros países do Sul global. No Brasil, por exemplo, existem entre 800 mil a um milhão de recicladores informais e organizados (chamados catadores), de acordo com o movimento nacional recicladores (Movimento Nacional de Catadores de Materiais Recicláveis (MNCR, 2010). Estas pessoas fazem um meio de subsistência de recuperação de recursos, contribuir para a poupança de recursos e diminuir os riscos ambientais, redirecionando os materiais.

Dados do PNSB - Pesquisa Nacional sobre Saneamento Básico, realizado pelo IBGE em 2000, mostram que são coletados no Brasil diariamente cerca de 228 413 toneladas de resíduos sólidos, das quais 125.258 toneladas são referentes ao resíduo domiciliar, cujo valor médio por habitante é cerca de 0,74 kg por habitante por dia. De acordo com JUCÁ (2003) a menor taxa de produção de lixo está na Região Norte (0,58kg/hab/dia) a Tabela 2.1 a seguir mostra população brasileira, sua distribuição regional, a distribuição da geração total de resíduos entre as regiões brasileiras e a geração per capita.

Tabela 2.1 - Geração de Resíduos Sólidos.

<b>REGIÃO</b>	<b>POPULAÇÃO TOTAL (valor)</b>	<b>%</b>	<b>GERAÇÃO DE RESÍDUOS (valor)</b>	<b>%</b>	<b>GERAÇÃO PER CAPITA (KG/HAB DIA)</b>
Brasil	169 799 170	-	228 413	100	1.35
Norte	12 900 704	7.6	11 067	4.8	0.86
Nordeste	47 741 711	28,1	41 568	18.2	0.87
Sudeste	72 412 411	42.6	141 617	62	1.96
Sul	25 107 616	14.8	19 875	8.7	0.79
C Oeste	11 636 728	6.9	14 297	6.3	1.23

Fonte: JUCÁ (2003).

Também são apresentados por JUCÁ (2003), dados da Figura 2.1, que relacionam a distribuição da população do Brasil por regiões, o Produto Interno Bruto- PIB e a geração de resíduos, onde se destaca a região Sudeste com 42.6% da população brasileira a qual é responsável por 62% dos resíduos produzidos no País. Ainda sobre esses dados é interessante comparar as regiões Centro Oeste e Norte, onde os valores e

percentuais mostram que mesmo a população do Norte sendo maior que a população do Centro Oeste, possui um percentual de geração de resíduos sólidos menor.

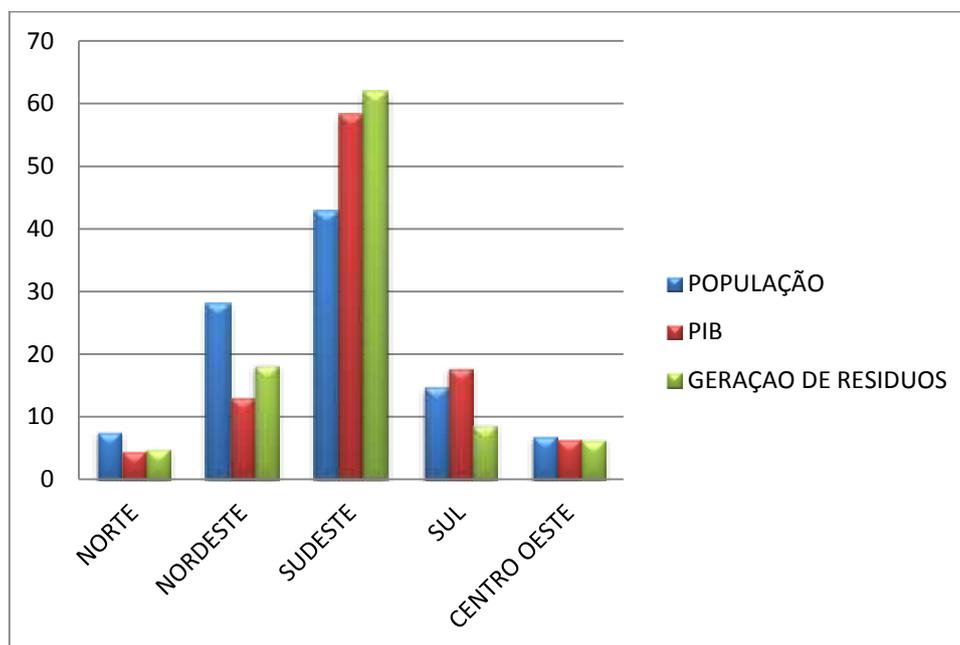


Figura 2.1 - Percentual da população, PIB e geração de resíduos sólidos por região.  
Fonte: JUCA (2003).

## 2.2 - CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A ABNT NBR 10004:2004 - Classificação de Resíduos Sólidos se refere a resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, onde ficam definidos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, os gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviável em face de melhor tecnologia disponível.

A referida ABNT também apresenta uma proposta de classificação dos resíduos sólidos mais voltados às questões gerenciais destes materiais, segue o critério de riscos potenciais ao meio ambiente em três níveis:

- **Resíduos Classe I** - resíduos perigosos com uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, reatividade e que representam risco à saúde pública e ao meio ambiente, tais como, baterias, produtos químicos, lâmpadas fluorescentes;

- **Resíduos Classe II** - não inertes (inclusive os biodegradáveis, solúveis etc, como lixo orgânico e papel);
- **Resíduos Classe III** - inertes como tijolos, vidros, plásticos, compósitos e borrachas, embalagens plásticas, que não se decompõem a curto prazo.

Vale lembrar que a antiga Norma Técnica NBR 10004 de 1987 apresentava uma forma de classificação dos resíduos sólidos em função de sua origem, e esta finda sendo a forma como a os populares estão mais acostumados a ouvir e escrever, conforme Figura 2.2, qual seja:

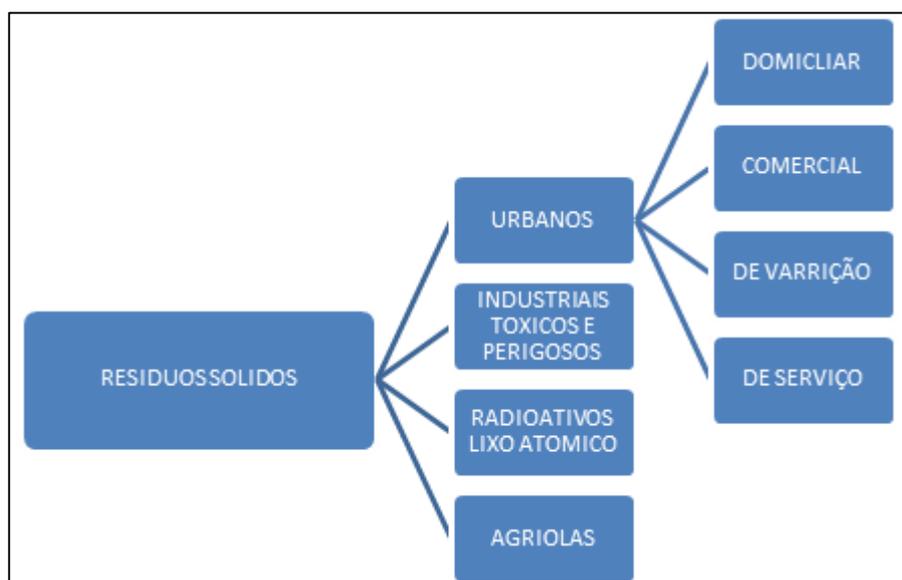


Figura 2.2 - Classificação dos resíduos sólidos urbanos segundo a sua origem NBR 10004 de 2004.

Existem ainda outras formas de classificação de resíduos sólidos, por exemplo, BIDONE e POVINELLI (1999) classifica-os conforme o grau de degradabilidade, quais sejam; a) facilmente degradáveis matéria orgânica presente nos resíduos de origem urbana; b) moderadamente degradáveis: papéis, papelão e material celulósico; c) dificilmente degradáveis: são os pedaços de pano, retalhos, aparas e serragens de couro, borracha e madeira; d) não-degradáveis: plásticos, vidros, metais, solo, pedra, entre outros.

### 2.3 - DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O ciclo produtivo e de consumo deve preocupar-se sempre com o meio ambiente, pois tudo que é consumido gera resíduo que se não é reaproveitado ou não é

reciclado, vira lixo e volta às origens quer nos depósitos ou aterros sanitários ou simplesmente descartados aleatoriamente, de qualquer forma este material volta a integrar os recursos naturais como ilustra o fluxograma da Figura 2.3.

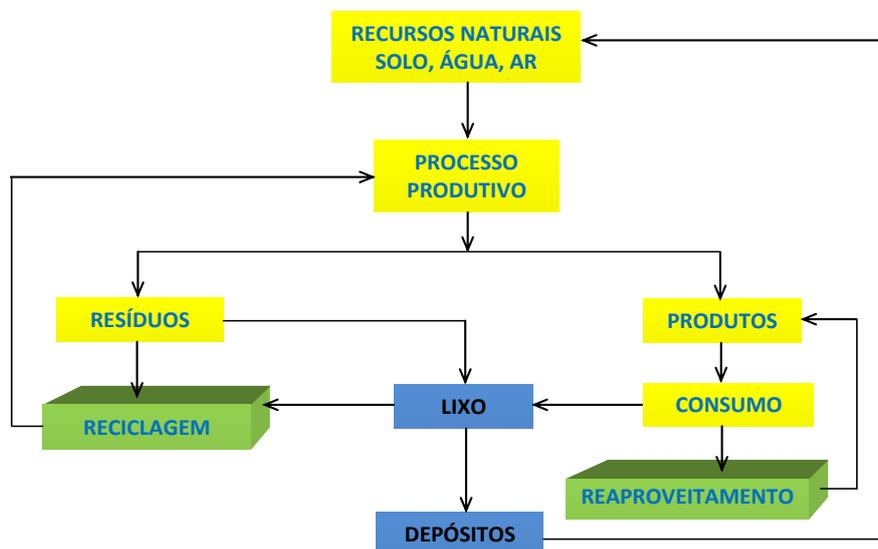


Figura 2.3 - Ilustração do ciclo produtivo e de consumo, mostrando que o que não é reciclado ou reaproveitado volta a integrar os recursos naturais.

Nos dias atuais em diversos municípios brasileiros foram criadas leis que disciplinam a deposição final dos resíduos sólidos, incluindo a responsabilidade da destinação dos resíduos aos grandes geradores, nesse caso shoppings, supermercados e indústrias a eles próprios e não à municipalidade.

Segundo dados do IBGE (2015) 30,5% dos resíduos são destinados a lixões, 47,1% a aterros sanitários e 22,3% em aterros controlados. Também comprova o mesmo Instituto que em municípios com pequena população não existe nenhuma preocupação com a deposição final, não há em sua maioria local adequada para destinação, inexistência de projetos técnicos adequados, objetivos de empreendimentos, operação e manutenção. Diante dos números há de se entender que faz falta uma visão mais ampla a respeito do gerenciamento, a redução da produção e a minimização dos problemas, que envolvem o reuso, a reciclagem, a triagem, a compostagem e a incineração.

### 2.3.1 – Compostagem

KUMAR (2010) define a compostagem como um processo biológico aeróbico e controlado que transforma o material orgânico em material estabilizado com

propriedades diferentes do original. Trata a reciclagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos que são transformados de lixo em compostos orgânicos reaproveitáveis, principalmente no setor agropecuário.

A preocupação crescente com os problemas de poluição do ambiente frente a escassez de recursos naturais, tem levado o homem a buscar alternativas. A compostagem pode não ser a solução final para os problemas da escassez dos alimentos ou do meio ambiente, mas contribui bastante para amenizar os problemas causados pela deposição de lixo no meio urbano. Nesse processo algumas substâncias são volatilizadas, outras são utilizadas pelos microorganismos para a formação de seus tecidos e a outra parte se transforma numa massa amorfa, com propriedades físicas, químicas e físico-químicas completamente diferente da material prima original.

### **2.3.2 - Incineração**

Incineração é uma prática antiga bastante rudimentar que consistia em empilhar resíduos e atear fogo. Com o crescimento das cidades foi sendo substituída por outras praticas mais sofisticadas e eficientes. Nos dias atuais ante a crise mundial da energia foram criados os incineradores e são amplamente estudados. PORTEUS (1993) ao se referir à evolução dos impactos ambientais foca no desempenho e economia de estado levando em conta a incineração o que chama de arte e poder nas usinas geradoras onde a recuperação de energia a partir de resíduos sólidos pode ser tanto de custo reduzido como eficaz.

No entanto, apesar das diversas vantagens da incineração em relação a outros métodos de destinação, sendo alternativa preferencial para países que não dispõem de áreas adequadas para implantação de aterros sanitários, também apresenta desvantagens como o alto custo de instalação e operação, exigência de mão de obra qualificada para garantir a qualidade da operação e a presença de materiais nos resíduos que geram compostos tóxicos e corrosivos.

### **2.3.3 - Lixões ou vazadouros**

REBELLÓN (2015) em Gestão de Resíduos – Uma Visão Integrada diz que lixão é forma de deposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) que são lançados sobre o solo sem nenhuma medida de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública,

sem que haja controle sobre o tipo, volume ou grau de periculosidade dos resíduos depositados. Nos lixões são lançados sobre o solo natural sem nenhum tipo cuidado, ou tratamento mecânico para redução de seu volume.

Esta forma de deposição bastante conhecida dos brasileiros moradores de municípios de pequeno porte permite a proliferação moscas, ratos e mosquitos, geram mau odores e contaminam o solo, águas subterrâneas e superficiais, ante a infiltração de percolados, presentes no chorume resultantes da decomposição de RSU.

#### **2.3.4 - Aterros controlados**

Um pouco melhor que lixão, o aterro controlado é uma forma de disposição final de resíduos sólidos que carece de precauções tecnológicas durante o desenvolvimento do aterro.

YU (2012) ao se referir à eliminação municipal de resíduos relata resultados que mostram caminhos do fluxo de contaminação em diferentes ambientes e locais. Mesmo que esse método apresente uma cobertura de argila normalmente feita por um trator de esteiras, quase sempre não há compactação prévia e muito menos há forro na superfície com produtos como concreto, bolsa creto ou emulsão asfáltica. Esse procedimento protege a parte externa, mas põe em risco o subsolo, no entanto, é recomendado para as cidades onde há baixo índice pluviométrico e não há arrecadação suficiente para a instalação de melhores formas de disposição, uma vez que em face da inexistência da mão-de-obra especializada, não se faz uma análise de variações sazonais, condições climáticas, hábitos e costumes, variação da economia, entre outros fatores técnicos, o que justifica a preferência por aterros controlados.

#### **2.3.5 - Aterros Sanitários**

CHAMY e ROSENKRANZ (2013) em Biodegradação e Biorremediação de Sistemas poluídos - Novos Avanços e Tecnologias traz considerações sobre a implantação de aterros sanitários e mostra que esforços significativos precisam ser feitos, objetivando o desenvolvimento de tecnologias adequadas concentrada inicialmente em recursos hídricos, depois no ar e finalmente no solo, área problema que requer atenções especiais e complexas soluções.

O presente estudo de caso busca na literatura específica trabalhos com clareza técnica que forneçam procedimentos especializados para o combate específico da poluição, que é um tema muito discutido, mas pouco difundido. Dentro desta perspectiva há a pretensão de colaborar na solução dos problemas ambientais provenientes do lixo, difundir técnicas de aterros sanitários, envolvendo definição, classificação, histórico, e principalmente, modelos matemáticos capazes de estruturar e retratar a dinâmica presente nos aterros.

#### 2.3.5.1 - Histórico

Quanto aos processos históricos relata-se que povos da Mesopotâmia, os nabateus, cerca de 2500 anos antes de Cristo, utilizavam trincheiras escavadas no solo para enterrar resíduos agrícolas e domésticos, e que após algum tempo essas trincheiras eram abertas e os resíduos já decompostos, eram utilizados como fertilizantes na agricultura. No ano 150 em Roma, há também registros que a população urbana acometida pela peste bubônica resolveu enterrar o lixo com a intenção de afastar roedores, por considerar uma população muito alta desses animais e nessa ação reduzi-los, o que de fato aconteceu. Finalmente há registros de uma mortandade maior na idade média, onde também a peste bubônica vitimou cerca de 43 milhões de pessoas na Europa, fato que leva os administradores da época a pensar em novas técnicas confiáveis de destinação final de dejetos, resíduos sólidos. O aprimoramento contínuo da prática de enterrar o lixo nos dias de hoje para o que conhecemos como aterro sanitário.

#### 2.3.5.2 - Definição

Define-se aterro sanitário como um processo utilizado para deposição de resíduos sólidos no solo, particularmente o lixo domiciliar, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais politicamente corretas que permitem a confinamento com segurança, controle de poluição e proteção ao meio ambiente.

A seguir são elencadas algumas vantagens que o aterro sanitário possui e que torna esse método de deposição interessante:

- Disposição de lixo de forma adequada;
- Capacidade de absorção diária de grande quantidade de resíduos;

- Condições especiais para a decomposição biológica da matéria orgânica presente no lixo.

O método do aterro sanitário apresenta desvantagens do ponto de vista da poluição ambiental, pois águas superficiais e lençóis subterrâneos podem ser contaminados pela ação do chorume, gases nocivos são formados e poluem a atmosfera, além do odor desagradável exarado.

Também há fatores limitantes do método que soam como desvantagens, quais sejam:

- Disponibilidade de grandes áreas próximas a centros urbanos que não comprometam a segurança e o conforto da população;
- Disponibilidade de material de cobertura diária;
- Condições climáticas de operação durante todo o ano;
- Escassez de recursos humanos habilitados em gerenciamento de aterros.

#### 2.3.5.3 - Classificação de Aterro Sanitário

LUZ (1981) quando classifica aterros sanitários se refere a aterros comuns, aterros controlados e aterros sanitários, por outro lado GERALDO (1981) faz referência a aterros de superfície quais sejam aqueles executados em regiões planas, com métodos operacionais de trincheiras, de rampas ou de áreas, que dependem de fatores, como vias de acesso, disponibilidade de material de cobertura, via de acesso que facilitam as operações de descarga, tipos de solo, dimensões de área. Na mesma linha também cita os aterros de depressões que são aqueles executados em áreas específicas, quais sejam: lagoas e mangues, depressões e ondulações, pedreiras extintas, em geral são áreas de baixo valor comercial, de localização estratégica e pouco utilizada por populares. Chama a atenção para o fato de prefeituras escolherem áreas de depressão para transformar em aterros sanitários e não analisarem o perigo que expõem a população, uma vez que na grande maioria essas áreas são locais de canalização de águas pluviais e obstruídas são causadoras de enchentes que na sua maioria são prejudiciais.

#### 2.3.5.4 - Metodologia

Face à vasta legislação ambiental e de posturas municipais, como também as diretrizes estabelecidas em plano diretor que mostram áreas populacionais, áreas de

risco, área de expansão, área de preservação e assim por diante, é necessário que ante à necessidade de construir aterros sanitários seja precedido um cuidadoso estudo técnico, para orientar as diversas etapas que vão desde levantamento básico até a elaboração de projeto. Estudo proposto por LIMA (1995) em Lixo Tratamento e Biorremediação a metodologia divide-se em três etapas: levantamento básico, estudos e projetos e planos de execução do aterro.

#### 2.3.5.4.1 - Levantamentos Básicos

Esta etapa também se divide em levantamento de dados gerais, escolha do aterro, levantamento topográfico, levantamento plano alti-métrico, levantamento geral das vias de acesso, levantamento geotécnico e se for o caso levantamento de dados complementares.

*Levantamento de dados gerais:* fundamental para implantação de qualquer projeto, fase em que são levantados todos os parâmetros relacionados com o sistema, tais como dados populacionais, tipologia dos resíduos, taxa de produção per capita, densidade e peso específico, dados pluviométricos, regime de temperatura.

*Escolha do terreno:* fase que requer muita atenção, pois é necessário prestar atenção para as seguintes recomendações:

*Áreas de fácil acesso:* essa escolha começa pelas vias de trânsito rápido, evitando-se vias congestionadas, também não é bom escolher vias que passem por áreas residenciais. O local do aterro deve ser distante de núcleos habitados e estar de acordo com as leis de uso do solo, se por alguma razão o aterro for estabelecido próximo a núcleos populacionais, deve-se estabelecer o isolamento de áreas através de tapumes, cercas e até mesmo plantar um cinturão verde todos de árvores e arbustos de crescimento rápido.

Os recursos hídricos naturais devem ser preservados sempre que possível, evitando locais com córregos ou nascente de rios. Se, no entanto houver necessidade de utilizar essa área por motivo de força maior, quanto aos córregos, devem ser canalizados e quanto aos lençóis subterrâneos, há a necessidade que haja uma distância mínima de 2 metros entre a primeira camada de lixo e o lençol. O projeto ao levar em consideração o índice de chuvas deve estabelecer uma forma de tratamento de chorume e percolados que podem infiltrar e contaminar as águas. Nesse estudo será discutido com melhor ênfase as lagoas anaeróbicas e os filtros biológicos.

*Levantamento topográfico*: é um serviço indispensável na elaboração do projeto de aterro, ou mesmo na execução de qualquer serviço que se refira ao aterramento do lixo, pois a topografia define a área útil em relação ao meio exterior. No campo do levantamento topográfico também são necessários os seguintes serviços:

- levantamento plano-altimétrico, que indicam aclives e declives em curvas de nível e perfis, e cobrem toda bacia contribuinte.

- levantamento geral das vias de acesso, onde são indicados os pontos de referências existentes.

*Levantamento geotécnico* é um estudo necessário para que seja conhecido o perfil do solo e subsolo onde será executado o aterro, onde são estimados os seguintes parâmetros:

- constituição do solo;
- permeabilidade;
- capacidade de carga;
- nível do lençol freático;
- localização de jazidas de material para cobertura;
- em caso de lixeira ou vazadouros os estudos geotécnicos indicam a espessura de lixo já disposto, a densidade e outros dados gerais.

As sondagens são normatizadas pela NB-12 “Normas Gerais de Sondagem de Reconhecimento para fundações de Edifícios” que recomenda:

- quantidade mínima de furos a 120m;
- limite dos furos até 10 m abaixo da superfície natural do solo;
- medida de resistência à penetração a cada metro de profundidade;
- amostrador tipo Standard Penetration Test, diâmetro externo 2”, diâmetro interno 1 3/8”.

Para os ensaios geotécnicos, as normas seguem a ABNT MB-27, MB-28, MB-30, MB-31 e MB-32. A Tabela 2.2 a seguir representa o número mínimo de ensaios em função dos parâmetros.

Tabela 2.2 - Número mínimo de ensaios geotécnicos em aterros de lixo.

<b>Ensaio</b>	<b>Quantidade</b>
Capacidade	5
Adensamento	5
Permeabilidade	5
Caracterização	15
Compactação	10

Fonte: ABNT MB-27, MB-28, MB-30, MB-31 e MB-32.

*Outros estudos:* Alguns dados gerais e complementares devem ser considerados nesta fase, quais sejam:

- levantamento das benfeitorias existentes na área do aterro;
- em caso de descargas ou vazadouros, o número e a frequência de catadores de lixo devem ser levantados, uma vez que normalmente essa classe de trabalhadores se opõe a implantação de aterros sanitários, o que pode trazer problemas e causar transtornos aos dirigentes municipais, uma vez que envolvem relações políticas econômicas e sociais.

#### 2.3.5.4.2 Estudos e Projetos

Uma vez feito o levantamento descrito no item anterior, passa-se à fase de estudos e projetos, levando em consideração as seguintes etapas:

- Estudo de viabilidade técnica e econômica;
- Lay-out;
- Ante-projeto;
- Projeto técnico;
- Projeto básico das edificações de apoio;
- Memorial descritivo e memorial técnico;
- Especificação de mão-de-obra e equipamentos;
- cronograma de execução e estimativa de custos;
- Outros estudos.

*Estudo de viabilidade técnica e econômica.* A viabilidade técnica está restrita as condições de acesso, a proteção dos recursos hídricos naturais, ao distanciamento da área locada, a dimensão física do terreno, incômodo da vizinhança e outros fatores, a viabilidade econômica está relacionada aos recursos necessários à implantação e a manutenção do aterro.

*Lay-out:* Dependendo do tamanho do aterro e procurando definir as diretrizes básicas do projeto técnico, é elaborado um lay-out no qual devem ser incluídas as principais características e dimensões do aterro. Traçados de tráfego, rol de edificações e as benfeitorias existentes e projetadas, além de outros informes também devem estar presentes. O lay-out deverá também conter mecanismos que permitam a avaliação do volume de lixo a ser aterrado e a projeção do movimento de terra a ser realizado.

*Ante-projeto.* Contem os parâmetros básicos para a elaboração do projeto definitivo, aqui são incluídos, obrigatoriamente, o EIA e o RIMA.

*Projeto técnico.* Tão logo o ante-projeto seja analisado, discutido e aprovado o lay-out, elabora-se o projeto propriamente dito. Certamente os projetos sofrem variação de um lugar para outro, no entanto, normalmente são necessárias seguintes plantas com escalas definidas na ABNT:

- planta de situação e locação;
- planta baixa do aterro, ou vista superior;
- detalhe do sistema de drenagem dos gases;
- planta de locação dos furos de sondagem;
- planta do sistema de drenagem superficial dos líquidos;
- planta do sistema de drenagem dos gases;
- planta do sistema de drenagem subterrâneas dos líquidos;
- detalhe do sistema de drenagem dos líquidos; plantas das lagoas de tratamento de líquidos;
- detalhes das lagoas de tratamento;
- detalhes de execução das células de lixo;
- perfis longitudinais e transversais;
- detalhes das áreas de emergência;
- outros detalhes.

*Projeto básico da edificação de apoio.* No processo de execução de um aterro sanitário, como em qualquer obra, são necessárias edificações auxiliares e de apoio que

devem estar em consonância com as atividades locais, há, no entanto, a necessidade de projetá-las de maneira correta e adequadas à necessidade da obra, sendo elas:

- guarita;
- balança;
- galpão de manutenção e oficinas.

Lembrando que toda obras e edificações de apoio devem ter necessariamente baixo custo e de preferência ser desmontáveis, de maneira que sejam transferíveis de um local para outro.

*Memorial descritivo e memorial técnico.* As informações iniciais e prescrições no projeto do aterro no que se referem a sua concepção, presentes aí informações de origem e formação do lixo, coleta e destino final. O CETESB orienta que um memorial descritivo deve abranger as seguintes partes:

- a) Informações cadastrais;
- b) Informações sobre o sistema e transporte dos resíduos sólidos obtidos;
- c) Informações sobre os resíduos a serem depositados sobre o aterro sanitário;
- d) Caracterização do local destinado ao aterro;
- e) Concepção e justificativa do projeto;
- f) Descrição e especificação dos elementos do projeto;
- g) Forma de operação do aterro.

Ainda, sobre a mesma ótica, memorial técnico é o conjunto de cálculos e planos dos elementos constituintes do projeto, devendo conter:

- a) Cálculo dos elementos do projeto;
- b) Vida útil do aterro;
- c) Sistema de drenagem superficial;
- d) Sistema de coleta e remoção de percolados;
- e) Sistema de tratamento de percolados;
- f) Cálculo da estabilidade dos maciços da terra.

*Especificação de mão-de-obra e equipamentos.* São variáveis que relacionam s as funções específicas da dimensão do aterro. Um aterro de grande porte pode requerer o seguinte quadro:

- mão-de-obra necessária: técnico responsável, topógrafo, operados de trator de esteira, operador de pá carregadeira, operador de retroescavadeira, motorista de carro pesado, vigia.

Sobre os equipamentos a serem utilizados, dependem do porte do aterro e das seguintes variáveis:

- Quantidade e tipologia dos resíduos a aterrar;
- Características topográficas e hidrogeológicas da área do aterro;
- Grau de compactação indicado no projeto;
- Volume e distanciamento das jazidas e material de cobertura;
- Uso futuro da área a aterrar.

A seguir são relacionados os equipamentos mais utilizados, quais sejam: trator de esteiras e de pneus, pá carregadeira de esteira e de pneus, scrapers autocarregáveis e rebocáveis, compactadores de rolo (pé de carneiro e liso), retroescavadeira, dragline, motoniveladora, caminhões basculantes, carro pipa e comboio de lubrificação. Lembra LIMA (1995) que esses equipamentos não devem ser exigidos por tempo integral, mas que dependendo do porte do aterro e do nível de elaboração, seja determinada a frequência de permanência de cada equipamento.

*Cronograma de execução e estimativa de custo.* é muito importante no projeto que seja apresentado um cronograma de avanço dos trabalhos, onde todas as fases do projeto estejam evidenciadas, da mesma maneira os custos devem ser apresentados detalhadamente, levando em conta: custo do projeto, custo do terreno, custo das obras e edificações, custo de mão-de-obra, custo de combustíveis, custo de manutenção, custo de materiais, custo de depreciação de equipamentos, custo de materiais e custos eventuais (energia, água, outros).

#### 2.3.5.4.3 - Plano de Execução do Aterro Sanitário

Esse plano deve estar de acordo com o projeto e o cronograma, o que facilita verificar se prazos e etapas de execução dos serviços são obedecidos regularmente, mantendo um ciclo de atividades ininterruptas. Salienta-se que paradas e alterações no sistema levam a desorganização do aterro e encarecem o processo. É necessário passar pelas seguintes etapas:

- execução de obras fixas;

- preparo das vias de acesso;
- preparo da área de emergência;
- preparo do sistema de drenagem superficial de águas pluviais;
- preparo do sistema de drenagem de líquidos percolados;
- preparo do sistema de tratamento e captação dos líquidos percolados;
- preparo do sistema de drenagem de gases;
- preparo do leito do aterro (impermeabilização ou selamento)
- preparo e formação das células de lixo;
- preparo da cobertura final do aterro.

*Execução de obras fixas.* Guarita, prédio da administração, manutenção, balança, tapumes e vedações, etc, devem ser construídas em lugares adequados e previamente definidos no projeto.

*Preparo das vias de acesso.* As vias de acesso devem permitir o tráfego dos caminhões de coleta durante todo ano, portanto, inclusive no período das chuvas.

*Preparo da área de emergência.* É uma área que deve ser preparada para receber lixo em época de chuvas, ou quando por qualquer motivo a frente de operação estiver bloqueada.

*Preparo do sistema de drenagem superficial das águas pluviais.* Para reduzir a carga de águas da chuva no aterro, devem ser construídos drenos superficiais, tais drenos são do tipo provisórios ou permanentes, os provisórios são construídos por máquinas como retroescavadeira ou motoniveladora, já os drenos permanentes são canaletas construídas por concreto ou pvc.

O sistema de drenagem superficial das águas pluviais pode ser dimensionado em função da área contribuinte, da intensidade das chuvas e das características do terreno.

A formulação matemática da vazão contribuinte, segundo Lima (1995), é dada pela fórmula racional:

$$Q = (S \cdot i \cdot C)$$

onde:

**Q**= vazão (m<sup>3</sup>/s);

**S**= área da bacia contribuinte (m<sup>2</sup>);

**C**=coeficiente de escoamento superficial que é uma função direta das características da bacia;

**I**= intensidade da chuva crítica (m/s).

Obs: intensidade da chuva crítica é aquela em que o tempo de duração da precipitação é igual ao tempo de concentração da bacia.

De posse do valor da vazão, estimam-se as linhas geométricas dos drenos pela aplicação da fórmula de Chézy modificada por Manning:

$$Q = \frac{(R_h)^{2/3} S (I)^{2/3}}{n}$$

Onde:

**n** = coeficiente de rugosidade

**Q** = vazão na seção desejada (m<sup>3</sup>/s);

**R<sub>h</sub>** = raio hidráulico da seção que consiste na razão entre a seção molhada (s) e o perímetro molhado;

**S** = área da seção transversal preenchida pelo líquido (m);

**I** = declividade do dreno (m/m).

Recomenda-se utilizar valores preestabelecidos para a velocidade de escoamento. Assim o valor limite inferior é de 0,35 m/s e o limite superior é de 0,80 m/s.

*Preparo do sistema de drenagem de líquidos percolados.* Drenagem de percolados e chorume deve atender com segurança o volume de líquidos que atravessa o aterro. O dimensionamento desses fatores não é fácil, devido à impossibilidade de se conhecer os inúmeros fatores responsáveis pelo surgimento dos veios líquidos. Intensidade das chuvas, tipologia do lixo, compactação de células e material de cobertura são fatores que neste caso são considerados.

Para determinar a vazão de percolados, utilizamos o método suíço:

$$Q = \frac{1(P.S.K.)}{t}$$

onde:

**Q** = vazão média de líquidos percolados (l/s);

**P** = precipitação média anual (mm/ano);

**S** = área do aterro (m<sup>2</sup>);

**t** = tempo (s) (equivalente a 1 ano = 31 536 000s);

**K** = constante de compactação.

Tabela 2.3 - Valores da constante de compactação K.

Tipo de solo	Peso específico	K
Aterros fracamente compactados	0,40 a 0,70	0,25 a 0,50
Aterros fracamente compactados	0,70 a 0,90	0,15 a 0,25

Fonte: LIMA (2004).

Para a engenharia, o sistema de drenos de percolados é caracterizado por um meio poroso de pouca declividade. Normalmente são construídas canaletas escavadas no solo preenchido com pedra britada, no entanto os drenos que se destinam a escoar os líquidos com velocidade são providos de meia cana. Todos os líquidos percolados devem ser projetados para escoarem num mesmo local.

Para os lixões a céu aberto é necessário melhor atenção uma vez que os lençóis freáticos na região de Tabatinga e Letícia não são tão profundos e correm o sério risco da contaminação com tamanha facilidade. A Figura 2.3, a seguir mostra, as principais camadas e o caminho das águas dos percolados.

*Preparo do sistema de tratamento e captação dos líquidos percolados.* Os líquidos percolados coletados em um único local devem ser tratados, a seguir elencamos alguns processos de tratamento:

- reciclagem ou irrigação;
- tratamento em lagoas de estabilização;
- tratamento por ataques químicos;
- tratamento por filtros biológicos;
- tratamento por processos fotossintéticos;
- processos mistos.

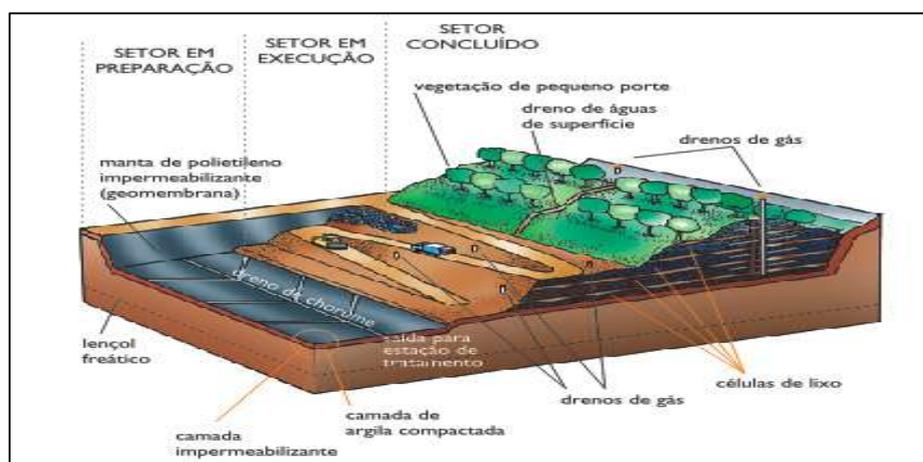


Figura 2.4 - Drenagem de águas pluviais.

*Reciclagem ou irrigação:* É um processo que envolve filtragem e retenção dos sólidos em solução e suspensão, troca de íons, absorção, oxidação dos compostos orgânicos, precipitação química, entre outros. Segundo BOEN (1971) foram desenvolvidos nos Estados Unidos projetos desta natureza, que mostraram a potencialidade do solo no tratamento e despoluição das águas servidas.

*Tratamento em lagoas de estabilização:* Lagoas de estabilização são métodos eficientes de tratamento de percolados de aterros e outros resíduos líquidos, quais sejam, esgotos domésticos e outros. É muito solicitado por ter custo de construção relativamente baixo, sendo facilitada a operação e a manutenção.

CHIA (1977) diz que o tratamento de líquidos contaminados em lagoas é feito por biodegradação da matéria orgânica por ação de dois grupos de bactérias: as aeróbicas e as anaeróbicas. O método mais frequentemente utilizado é o sistema australiano de lagoas de estabilização, conforme mostra a Figura 2.4, que consiste na associação de uma lagoa anaeróbica com uma lagoa facultativa.

Há uma variação no tempo de tratamento em lagoas de 5 a 50 dias, dependendo do volume e da demanda bioquímica do oxigênio.

Algumas experiências em lagoas de estabilização apontam para a produção de alimentos, quais sejam as atividades simbióticas de algas e bactérias na presença da luz solar, oxigênio atmosférico e os nutrientes constantes no despejo. A biomassa aparece na lagoa com o acelerado crescimento da flora aquática, que pode alimentar peixes, moluscos e podem ser usados no preparo de ração animal.

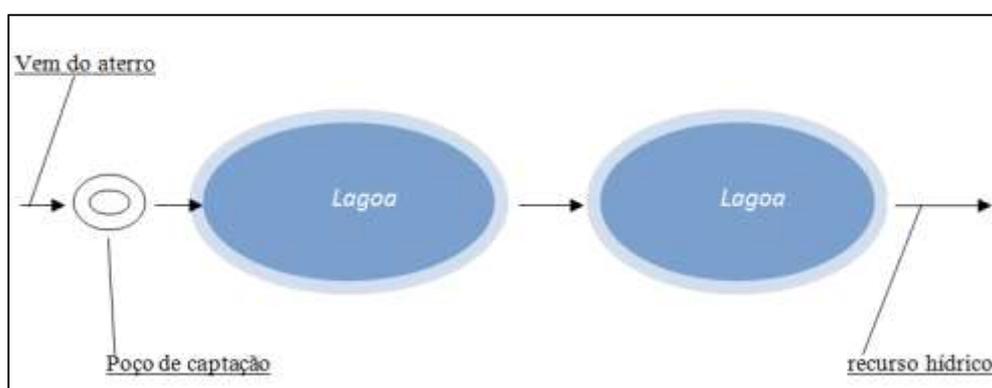


Figura 2.5 - Sistema australiano de lagoas de estabilização.

*Tratamento por ataques químicos:* Líquidos de aterros e despejos de esgotos domésticos são tratados por processos que envolvem reações químicas, como hidrólise enzimática e hidrólise ácida. Ácido sulfúrico é utilizado para decompor resíduos

orgânicos (celulose), obtendo-se açúcares, os quais são convertidos em produtos combustíveis.

*Tratamento por filtros biológicos:* Existem dois tipos de filtros segundo a atividade biológica: aeróbicos e anaeróbicos. Os aeróbicos são providos de uma série de camadas de pedras de granulometria específica e de um suprimento de contínuo de ar mantido artificialmente. Os líquidos contendo carga orgânica elevada, em contato com este meio, sofrem uma oxirredução, estes filtros são ligados a clarificadores primários e secundários, que aumentam a eficiência do sistema, melhorando a qualidade dos despejos. Filtros anaeróbicos utilizam um sistema aquecido por circulação de água quente, que estimulam o crescimento de bactérias mesofílicas. Também produzem gases que podem ser utilizados na geração de calor, reduzindo os custos com energia.

*Tratamento por processos fotossintéticos:* Em face do clima tropical, são desenvolvidos vários experimentos que envolvem plantas que absorvem nutrientes, metais e traços orgânicos presentes nas águas e em despejos poluídos. Entre as plantas, o aguapé ou *Eichhornia crassipes* é uma destas espécies de vegetal. Como cresce muito rápido o aguapé consegue, segundo alguns pesquisadores, tratar grande quantidade de água poluída a um baixo custo. Pesquisas recentes mostram que o aguapé é bastante promissor pela capacidade de tratar despejos líquidos e produzir biomassa, que pode ser convertida em fertilizante, combustível ou ração animal.

*Preparo do sistema de drenagem dos gases:* Gases como o  $CH_4$ , o  $CO_2$ , resultantes de processo de digestão anaeróbica são formados nos aterros de lixo. Drenos são projetados objetivando a captação, que é um sistema de tubos de concreto perfurados verticalmente. Mencionados drenos são interligados ao sistema de drenagem de líquidos e percolados, de forma a permitirem o monitoramento de líquidos e gases ao mesmo tempo. Alguns sistemas aproveitam os gases do aterro.

*Preparo do leito do aterro e impermeabilização:* Havendo necessidade, impermeabiliza-se a parte inferior do aterro para não contaminar o lençol freático e evitar a migração de gases. Como impermeabilizantes são utilizados betume, argila ou lençol sintético. Na prática mantem-se 2 metros de distância entre o aterro e o lençol freático.

*Preparo e formação das células de lixo:* Após a fase de estudo e projetos e preparo das condições iniciais, segue o aterramento ou formação das células de lixo. Conforme as técnicas de operação existem três formas gerais de preparar os aterros de superfície. Método das trincheiras, método da rampa e método da área. A definição do

método depende das condições geofísicas da área, cuja escolha deve estar fundamentada nos estudos iniciais.

*Método das trincheiras:* Trincheiras são abertas no solo, onde o lixo é disposto no fundo, compactado e depois recoberto com terra, conforme mostra Figura 2.5. Alguns procedimentos são essenciais: a compactação deve ser realizada no sentido ascendente, qual seja, após a descarga do lixo o trator deve espalhá-lo no talude e depois compacta-lo, de baixo para cima, fazendo de 3 a 5 passadas, até que todos os materiais volumosos estejam perfeitamente adensados; a inclinação do talude que deve ter inclinação entre 1:1, 1:2, 1:3. Esta inclinação aumenta a eficiência do trator; altura da célula que pode variar de 3 a 5 m de acordo com os cálculos.

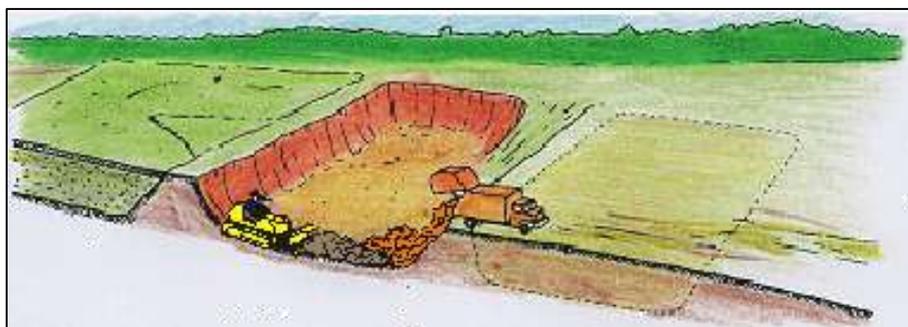


Figura 2.6 - Método das trincheiras.

Compactar no sentido ascendente produz bons resultados, reduz o volume do lixo, aumenta a capacidade de carga e permite o tráfego de veículos sobre a célula construída. Para a engenharia de aterro realizado dentro dos critérios aqui recomendados atinge até  $2 \text{ kg/cm}^2$ , com recalque mínimo ao longo do tempo. FIGUEIREDO (1980) recomenda manter a camada de lixo a compactar em torno de 20 a 30 cm, e que o local do aterro não pode ser usado como suporte de fundação de estruturas, por fim recomenda reforçar o local com quantidades maiores de cobertura.

*Método da rampa:* Também chamado de método da escavação progressiva, é empregado em áreas planas onde o solo natural oferece boas condições para ser escavado e utilizado como material de cobertura. A rampa é escavada no próprio solo, onde o lixo é disposto e compactado pelo trator, que opera no sentido ascendente como no caso anterior, formando assim uma célula, no final do dia o material recortado é utilizado para fazer o recobrimento da célula. É importante verificar se há material rochoso que podem danificar os equipamentos de escavação. O material escavado deve permitir a formação de um talude que resista à compactação.

Se comparado os métodos gerais, o método da rampa, por sua praticidade é considerado o mais vantajoso, em termos econômicos. A Figura 2.6, a seguir nos dá uma ideia do método da rampa.



Figura 2.7 - Método da rampa.

*Método da área:* Método em locais onde a topografia é irregular e os lençóis freáticos são próximos, conforme mostra a Figura 2,7. A formação de células neste tipo de aterro exige transporte e a aquisição de terra para cobertura. Às vezes é necessário construir diques de contenção ou valas para reter águas pluviais.

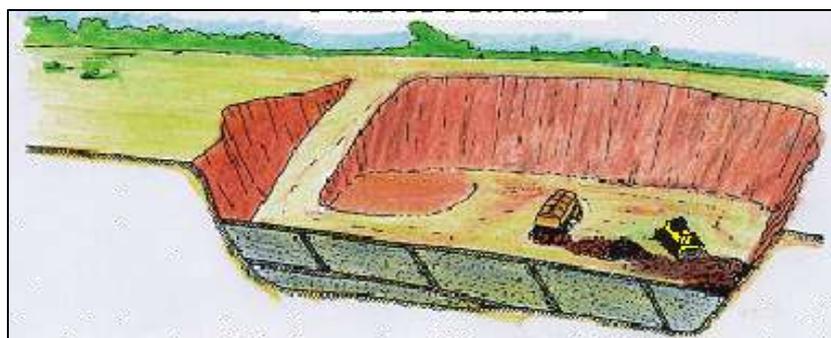


Figura 2.8 - Método da área

*Cálculos gerais de células de lixo:* Para dimensionar as células de lixo são utilizados alguns critérios por projetistas. O exemplo que LIMA (1995) propõe, que as Figuras 2.8 e 2.9 ajudam entender, é o seguinte:

- cálculo de célula;

Dados iniciais:

- população: 100.000 habitantes;

- taxa de produção per capita: 0,600 kg/hab. dia (considerando a eficiência da coleta em 85% a 100%);

- peso específico do lixo compactado: 0,60 t/m<sup>3</sup>;

- quantidade de lixo =  $\frac{100.000 \times 0,600}{1.000} = 60 \text{ t/dia};$
- volume de lixo =  $\frac{60}{0,60} = 100 \text{ m}^3/\text{dia};$
- volume da terra para cobertura (20%) =  $20 \text{ m}^3/\text{dia};$
- volume total a ser aterrado =  $120 \text{ m}^3/\text{dia};$

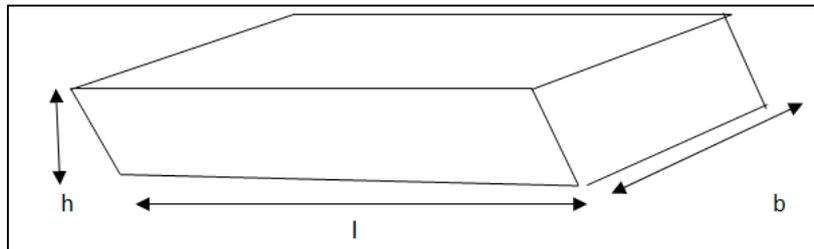


Figura 2.9 - Perfil da célula.

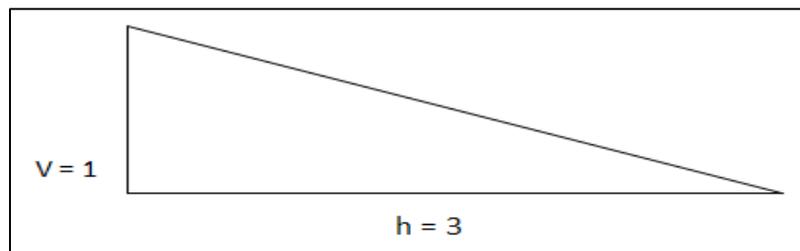


Figura 2.10 - Perfil do talude.

onde:

**h** = altura da célula (adotado 3 m). Em aterros a altura da célula pode variar de 1 a 5 metros;

**b** = frente de serviços (metros);

**i** = inclinação do talude (adotado 1:3) (v:h). Em aterros a inclinação do talude pode variar de 1:1 a 1:3, dependendo da qualificação de projeto;

**V** = volume a aterrar ( $\text{m}^3$ ).

Considerando-se que  $h = 3$  metros (adotado) e fazendo  $l = b$ , temos:

$V = b \cdot h \cdot l = b^2 \cdot h$ , isolando o valor de  $b$ , fica:

$$b = \sqrt{\frac{V}{h}} = 6,32\text{m} \text{ (7m)}$$

Resumindo os resultados dos cálculos podemos dizer que (Lima, 1995 p.65):

- a frente de serviço será de 7 m;
- a altura da célula será de 3 m;
- a largura da célula será de 3 m;

- o volume a aterrar será de 120 m<sup>3</sup>;
- o consumo de terra para a cobertura será de 20 m<sup>3</sup>;
- a espessura da camada de terra para a cobertura será de 0,20 m.

*Preparo para cobertura final do aterro:* Recobrimento definitivo ou o acabamento final do aterro é indispensável por fatores sociais, entre os quais reintegrar a área ao meio urbano, sem incomodar a vizinhança. Uma camada de terra entre 0,60 a 1m, e, em seguida uma camada fina de terra fértil, onde espécies vegetais resistentes à temperatura são cultivadas. A técnica da hidro-semeadura acelera o processo de reurbanização.

## 2.4 - PROPRIEDADES FÍSICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

### 2.4.1 - Composição

A composição dos RSU é bastante heterogênea e varia de pequenos materiais orgânicos até grandes materiais inorgânicos. Nesses materiais estão plástico, papel, tecido, papelão, vidro, borracha, madeira, metais, resíduos alimentícios e de feiras, entulhos outros. É importante conhecer a composição física ou gravimétrica dos componentes presentes no lixo. CARVALHO (1999) apresenta dados compilados da composição de RSU de alguns autores, em diversas localidades. Analisemos os dados da Tabela 2.4, a seguir.

Tabela 2.4 - Composição do RSU para diferentes cidades.

Componente S	Cidade/País									
	Bangkok Tailândia	Pekin china	Nairobi Kenia	Hong Kong	New York USA	Istanbul Turquia	Atenas Grecia	Cochabamb Bolivia	São Paulo Brasil	Recife Brasil
Metal	1	1	3	3	5	2	4	1	5	2
Papel	25	5	12	3	22	10	19	2	14	15
Plastico	-	1	5	-	-	3	7	3	14	8
Borracha, couro, madeira	7	1	-	7	3	6	4	1	7	-
Têxteis	3	-	-	10	-	3	-	-	-	-
Mat. Orgânica	44	45	74	15	20	61	59	71	3	60
Vidro	1	1	4	10	6	1	2	1	51	2
Outros	19	46	2	22	46	14	5	21	1	13

Fonte: CARVALHO (1999).

## 2.4.2 - Distribuição do Tamanho das Partículas

Muitos autores tem estudado o tamanho das partículas dos resíduos sólidos através do processo de peneiramento, para após apresentar a chamada curva de distribuição de grãos, a distribuição granulométrica. São estudos realizados com RSU após anos de aterramento, segundo dispõe a Tabela 2.5. O estado do lixo determinará a resistência das áreas e o monitoramento pelo poder público é muito importante para a questão da segurança em áreas urbanas.

Tabela 2.5 - Variação e valor médio componente RSU.

Componente	Variação	Valor Médio
Res. alimentares	0 a 200	98
Papel	0 a 203	300
Papelão	101 a 608	420
Plástico	0 a 406	203
Têxtil	0 a 305	140
Borracha	0 a 305	180
Couro	0 a 205	130
Entulho	0 a 405	80
Madeira	0 a 350	101
Lata comum	0 a 204	90
Alumínio	0 a 203	101
Outros metais	0 a 280	120
Terra, cinzas	0 a 102	50

Fonte: TCHONOBANOGLIOUS *et al.* (1993).

## 2.4.3 - Teor de Umidade

Teor de umidade é uma propriedade que depende de vários fatores, entre os quais, composição inicial, processo de cooperação, condições climática, taxa de decomposição biológica, capacidade e funcionamento dos sistemas de coleta de líquidos percolados e do sistema de recobrimento. Em pontos diferentes de um mesmo aterro sanitário o teor de umidade pode ser diferente, quando é levada em consideração a obtenção do perfil de umidade com a profundidade, que pode ser obtido através de secagem de amostras em estufas. CARVALHO (1999) apresenta os valores do teor de umidade do aterro dos Bandeirantes em São Paulo, em base seca e base úmida, dados

dispostos na Tabela 2.6, e conclui que o teor de umidade tende a aumentar com o aumento do conteúdo orgânico do material.

Há variação nos valores de umidade entre os diferentes componentes de RSU, sendo a matéria orgânica a maior responsável pelos maiores valores encontrados. Componentes inorgânicos, como papéis e produtos plásticos tem baixo teor de umidade, geralmente algo em torno de 10%.

Tabela 2.6 - Umidade dos componentes do RSU.

<b>Componente</b>	<b>Base seca</b>	<b>Base úmida</b>
Metais	19,6	16,4
Papel	74,8	42,8
Vidro	5,9	5,57
Plástico	41,5	29,3
Borracha	24,5	19,6
Têxteis	55,0	35,5
Pedra	12,6	11,2
Madeira	69,8	41,1
Pasta orgânica	47,0	32,0

Fonte: CARVALHO (1999).

#### **2.4.4 - Temperatura**

FUNGAROLI (2007) trata da temperatura e mostra que sua variação entre outras ações determina o estado aeróbico e anaeróbico do aterro. A variação das temperaturas fica entre 30° a 60° e apresentam valores crescentes conforme aumenta a profundidade. Quando a profundidade está entre 5 e 10 metros, estes valores tendem a se estabilizar e a variação da temperatura ambiente perde parte de sua importância. Também é possível através da temperatura determinar a quantidade de poluentes líquidos e gás.

#### **2.4.5 - Peso específico in situ**

O peso específico dos maciços de RSU é influenciado pela composição e umidade, pelas camadas de cobertura utilizadas, pela decomposição e consolidação do resíduo com o tempo. Em aterros mais antigos, o peso específico depende do grau de decomposição, profundidade da amostra, fatores ambientais.

Outro dado que chama bastante atenção é o grau de compactação dos aterros, segundo MANASSERO *et al.* (1996), os valores de pesos específicos em função do grau de compactação dos aterros é: 3 a 9 kN/m<sup>3</sup> para aterros mal compactados, 5 a 8 kN/m<sup>3</sup> para moderadamente compactados e de 9 a 10,5 kN/m<sup>3</sup> para aterros bem compactados. Outros autores têm valores diferentes para o peso específico. AZEVEDO *et al.* (2003) comprova o aumento do peso específico com a idade.

#### **2.4.6 - Permeabilidade do RSU**

O coeficiente de permeabilidade é muito importante para o dimensionamento dos sistemas de drenagem interna de chorume e gás dos aterros sanitários de RSU. É avaliado por meio de ensaios de laboratório e ensaio *in situ*, executados em trincheiras e poços escavados ou em furos de sondagem. No entanto, não é o único para a determinação da permeabilidade, que também pode ser feita por determinação em lisímetros, estimativa de dados de campo, ensaio de bombeamento, ensaio de campo com carga variável, ensaio em poço, ensaio de bombeamento (15-20 metros) de profundidade, entre outros.

Alerta KNOCHENMUS (1999) para o fato de que a permeabilidade em RSU depende do procedimento de aterramento, grau de compactação, nível de tensão, idade de composição do RSU. MANASSERO *et al.* (1996) sugere o uso de um coeficiente de permeabilidade de  $10^{-3}$  cm/s como primeira aproximação nos projetos.

CARVALHO (1999) ao realizar ensaios de infiltração em dois furos de sondagem observou variação dos coeficientes de permeabilidade, atribuindo as diferenças à heterogeneidade do material. Também observou a tendência do coeficiente de permeabilidade reduzir com a profundidade em face do efeito da consolidação do RSU.

### **2.5 - PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Resistência ao cisalhamento e compressibilidade são as principais propriedades mecânicas do RSU, que são influenciadas pela composição e pelo estado de alteração do resíduo, além do comportamento mecânico individual de cada componente. As informações sobre essas propriedades são raras, normalmente, os dados publicados são contraditórios, como observa DIXON (2005).

### 2.5.1 - Compressibilidade dos RSU

Essa propriedade é importante porque relaciona a previsão de comportamento dos aterros sanitários com suas características de deformabilidade. A integridade dos componentes do aterro que são avaliadas pela propriedade, são camadas de cobertura final. Após serem dispostos no aterro, sistemas de drenagem de líquidos e gases, e possibilita a avaliação do desempenho desses empreendimentos depois do fechamento. Por outro lado a previsão dos recalques ao longo do tempo permite a estimativa da vida útil dos aterros.

GRISOLIA e NAPOLEONI (1996) afirmam que os aterros de RSU recalcam, sob peso próprio, entre 10 a 30%, e que a maioria dos recalques ocorre nos primeiros anos após o fechamento. Também refém-se à estrutura porosa inicial do aterro que tendem desaparecer à medida que o aterro varia de forma e volume, em consequência do acréscimo das sobrecargas.

Segundo LIU *et al.* (2006), há diferentes categorias dentre os diversos modelos existentes na literatura para a previsão dos recalques e estão divididos da seguinte forma:

- modelo de consolidação que utiliza a teoria do adensamento de Terzaghi;
- modelo apoiado na descrição do processo reológico, como o modelo exponencial de creep (*Power creep law*);
- modelo de biodegradação, onde a degradação da matéria orgânica provoca a redução de volume de massa de resíduos;
- modelo baseado em regressões (por exemplo, logarítmicas, hiperbólicas, bi-linear, multi-linear) através de observações de recalques de aterros.

Os modelos consideram que os recalques podem ser divididos em fases distintas, quais sejam compressão inicial ou imediata, compressão primária e compressão secundária.

*Compressão inicial ou imediata*, que associa as cargas impostas nos processos de operação dos aterros sanitários;

*Compressão primária* ocorre em aproximadamente 30 dias, avaliadas pelos recalques totais. SIMÕES e CAMPOS (1998) sugere a avaliação da compressão primária pela seguinte equação:

$$\rho_1 = \frac{H_o}{1+e_o} \cdot C_c \cdot \log \left( \frac{\sigma'_{v0} + \Delta \sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right)$$

Onde:

$\rho_1$ : recalque devido a compressão primária;

$H_o$ : espessura da camada;

$e_o$ : índice de vazio inicial;

$C_c$ : índice de compressão primária;

$\sigma'_{v0}$ : tensão vertical efetiva inicial;

$\Delta \sigma'_{v0}$ : Acréscimo de tensão vertical efetiva.

*Compressão secundária.* Os recalques secundários estão associados à compressão secundária mecânica, à ação físico-química e à degradação biológica. De acordo com SOWERS (1973) o índice de compressão secundária ( $C_\alpha$ ) é proporcional ao índice de vazios inicial do resíduo e à condições favoráveis a degradação. Se a decomposição da matéria orgânica tem elevados valores do coeficiente de compressão secundária possui altas taxas de recalques, que são previstos a partir da seguinte equação:

$$\rho_2 = \frac{H_o}{1+e_o} \cdot C_\alpha \cdot \log \left( \frac{t_1 + \Delta t}{t_1} \right)$$

Onde:

$\rho_2$ : recalque devido a compressão secundária;

$H_o$ : espessura da camada;

$e_o$ : índice de vazio inicial;

$C_\alpha$ : índice de compressão secundária;

$t_1$ : tensão vertical efetiva inicial;

$\Delta t$ : acréscimo de tensão vertical efetiva.

O recalque final é a soma das parcelas do efeito da compressão imediata, primária e secundária.

Há também métodos para previsão de recalques que incorporam aspectos da biodegradação, baseado em modelos de geração de gases e redução de volumes, entre os quais o modelo Scholl Canyon, sugerido por SOLER *et al.* (1995):

$$V_{CH_4} = k \cdot L_o \int_{t-0}^{t-1} M(t) \cdot e^{-k} \cdot dt$$

Onde,  $V_{CH_4}$ : volume de metano gerado no tempo  $t$ ;

$K$ : (1/ano): taxa de geração de metano;

$L_o$ : ( $m^3CH_4/t$  RSU) potencial de geração de metano expresso em volume por unidade de massa do resíduo.

$M(t)$ : parcela biodegradável do resíduo.

Há modelos para previsão dos recalques que incorporam parâmetros do comportamento mecânico e parâmetros do comportamento biológico. SOLER *et al.* (1995) apresenta o modelo onde a componente mecânica é composta de um recalque imediato, no qual a aplicação de carga resulta na redução da macroporosidade e na drenagem de líquidos e gases e uma componente de longo prazo, associada a deformação lenta da estrutura do resíduo. Somam-se as duas primeiras parcelas a componente biológica resultante dos processos de decomposição das frações orgânicas no interior da massa de resíduos derivada da equação de geração de gases, cuja equação apresenta o modelo proposto:

$$\Delta H = \frac{H_o}{1+e_o} \cdot C_c \cdot \log \left( \frac{v'_{v0+\Delta} v'_{v0}}{v'_{v0}} \right) + \frac{H_o}{1+e_o} \cdot C_\alpha \cdot \log \left( \frac{t_1+\Delta t}{t_1} \right) + M(t) \cdot (1-e^{-k(t-t_o)})$$

O modelo considera etapas de construção das várias camadas de aterro, com parâmetros que variam de acordo com as características dos resíduos de cada camada e do tempo de disposição.

### 2.5.2 - Resistência ao Cisalhamento do RSU

A resistência ao cisalhamento tem como objetivo: (a) estudar as características de compactação dos resíduos sólidos urbanos (RSU); (b) avaliar os mecanismos de compressão dos RSU e o efeito de sobrecarga (aterro experimental) em maciço sanitário existente.

Cisalhamento é definido como fenômeno de deformação ao qual um corpo está sujeito quando as forças que sobre ele agem provocam um deslocamento em planos diferentes, mantendo o volume constante. Essa propriedade vem sendo estudada na maioria dos trabalhos que envolvem resíduos sólidos, uma vez que os mesmos apresentam propriedades diferentes dos solos, devido a sua variada composição.

Tensão de cisalhamento, tensão tangencial, ou ainda tensão de corte ou tensão cortante é um tipo de tensão gerado por forças aplicadas em sentidos iguais. À medida que as deformações evoluem. Na literatura também é comum observar modelos que levam em conta a deformação axial com variável independente e ângulo de atrito como variável dependente, da mesma maneira, a variável independente deformação axial relaciona força de coesão (KPa), geralmente trabalhados em laboratórios, por meio de ensaios *in situ* e retro análise de dados de campo. DIXON *et al* (2005) apresenta os métodos mais usuais de determinação de cisalhamento dos RSU, quais sejam:

- *em laboratório*: compressão triaxial, cisalhamento direto, cisalhamento simples;

- *em campo*: retroanálise de ruptura de taludes, retroanálise de ensaio de corte em taludes, retroanálise em taludes estáveis, cisalhamento direto *in situ*, SPT, CPTe Vane test.

A tensão que nos referimos ao estudar a resistência dos materiais é a tensão mecânica, e se refere à distribuição de forças por unidade de área em torno de um ponto dentro de um corpo material. A tensão aqui citada é uma medida da intensidade das forças internas agindo entre as partículas de uma seção transversal no interior de um corpo. Estas forças surgem em reação às forças externas aplicadas ao corpo.

Como a tensão é definida por força/área possui a mesma unidade de medida (SI) que a pressão, ou seja, o pascal (símbolo Pa).

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 \text{ (newton por metro quadrado)}$$

$$1 \text{ Pa} = 0,1 \text{ Kgf/m}^2 \text{ (0,10197 quilograma-força por metro quadrado)}$$

Os estudos sobre as propriedades dos RSU possibilitaram: (a) novos subsídios e relações para a compactação dos RSU, incluindo as influências do equipamento de compactação, número de passadas, espessura das camadas, plano de compactação e teor de umidade, mostrando ser este último o parâmetro de maior impacto no processo de compactação; (b) dados de peso específico e de sua relação com a profundidade, assim como do efeito da compactação na compressibilidade dos RSU e na geração de líquidos percolados em aterros sanitários; (c) avaliação do desempenho de modelos de compressibilidade existentes na literatura; (d) desenvolvimento de modelo compósito para compressibilidade dos RSU, considerando a compressão mecânica primária e secundária e a parcela devido a biodegradação dos resíduos. O modelo e programa desenvolvidos apresentaram elevado desempenho, constituindo importante ferramenta para previsão de recalques de aterros sanitários.

São apresentadas imagens/figuras do cisalhamento de resíduos sólidos dispostas em <http://www.scielo.br/img/revistas/ce/v58n345/10f08.jpg> <acesso em 26.04.16>

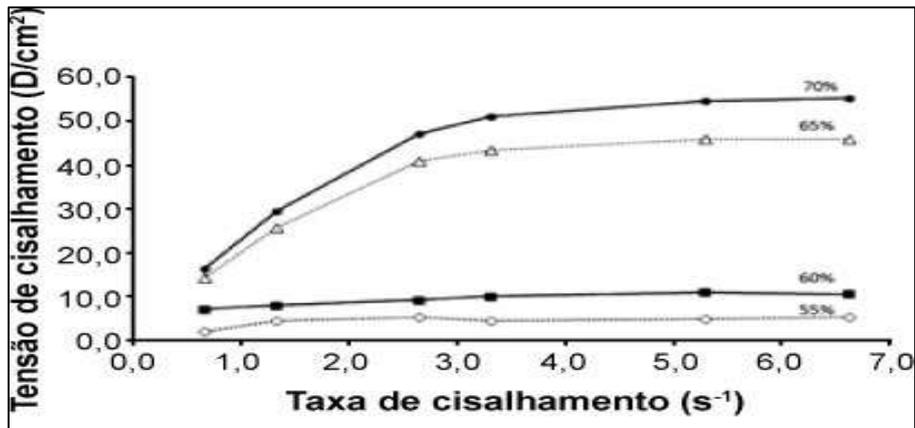


Figura 2.11 - Resistência ao Cisalhamento do RSU 1.

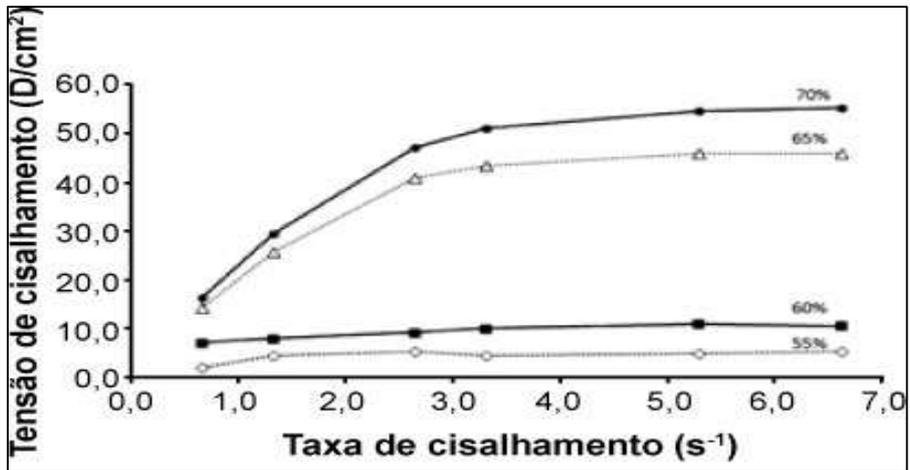


Figura 2.12 - Resistência ao Cisalhamento do RSU 2.

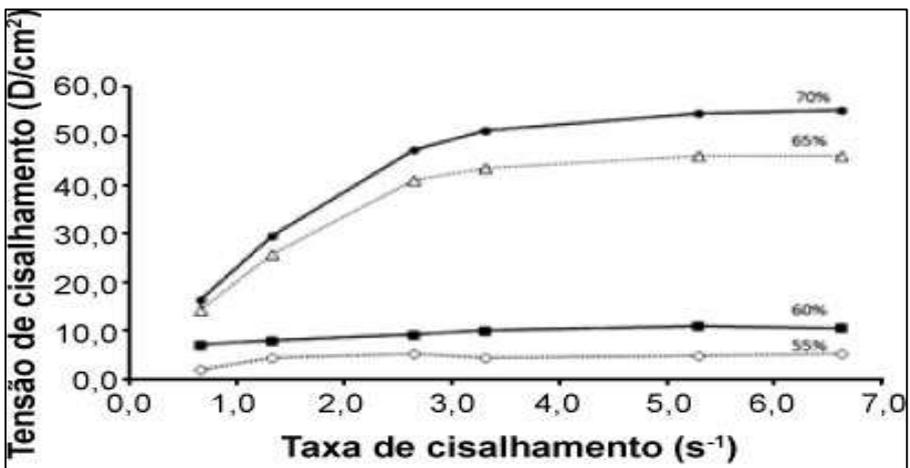


Figura 2.13 - Resistência ao Cisalhamento do RSU 3.

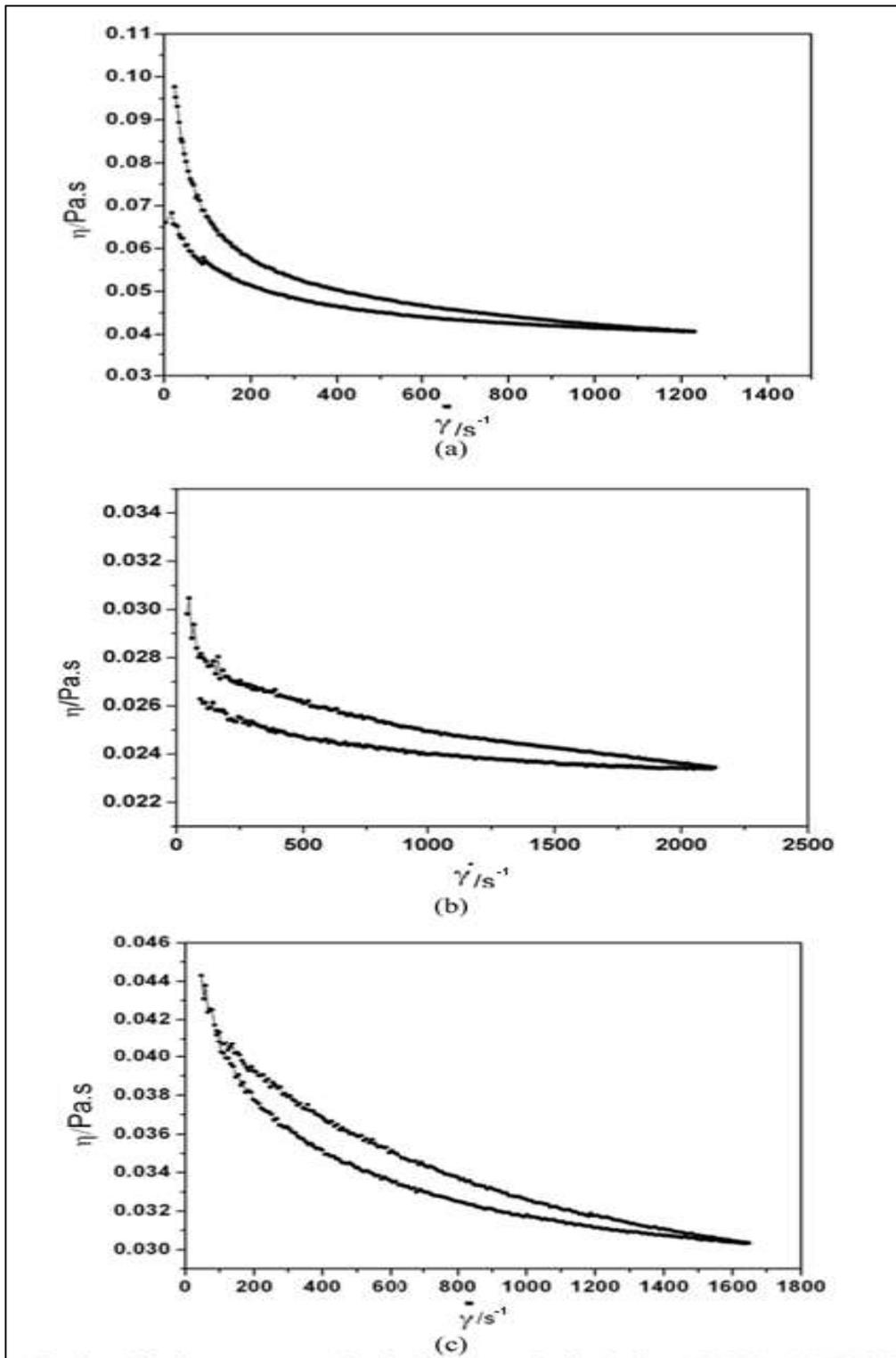


Figura 2.14 - Resistência ao Cisalhamento do RSU 4.

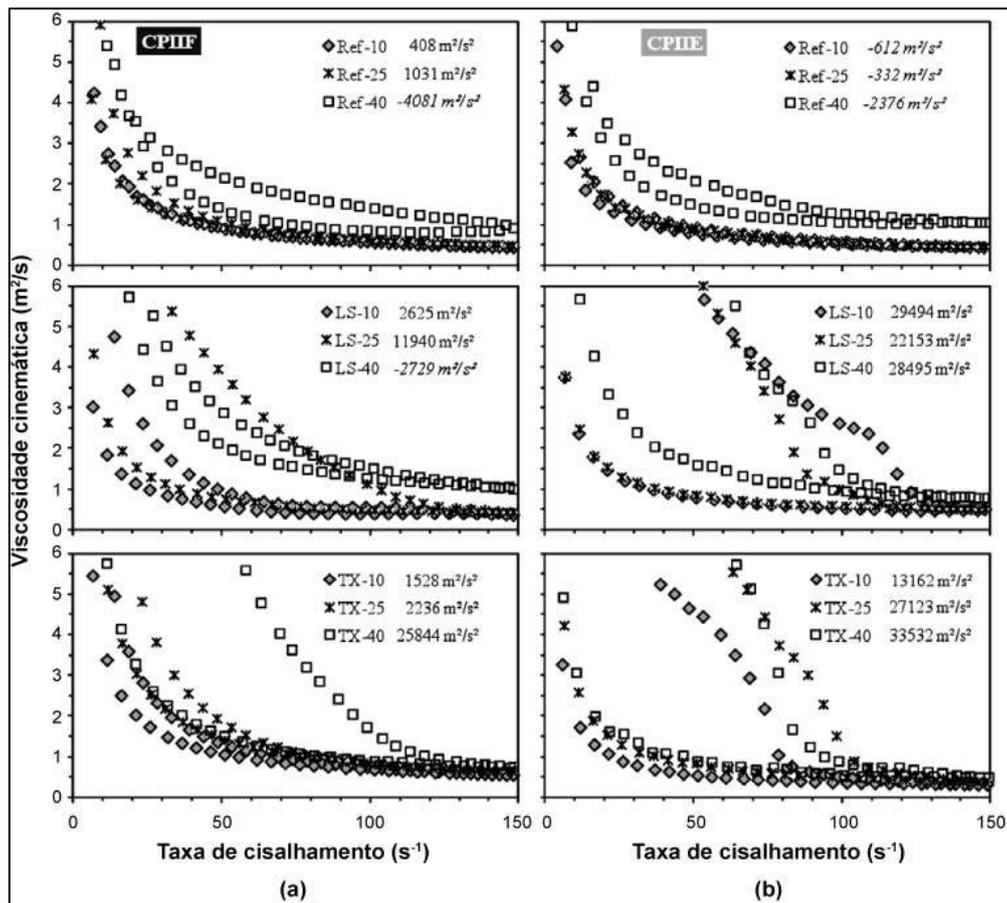


Figura 2.15 - Resistência ao Cisalhamento do RSU 5.

## 2.6 - LOGISTICA REVERSA PARA RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com LAGE *et al.* (2015), nas últimas décadas, a população vem crescendo em larga escala. Tal crescimento proporciona um aumento considerável do consumo de produtos pela população, sendo que este proporciona ameaças aos recursos naturais, como também promove danos ao meio ambiente devido aos resíduos gerados após o consumo (GODECKE *et al.*, 2012). Neste sentido, a geração de resíduos sólidos chega a aproximadamente 2 milhões de toneladas por dia no planeta. Em países como Estados Unidos os números estão na casa de 2,0 quilogramas (Kg) de resíduo por habitante, e no Brasil o número é 1,0 Kg por habitante (LAGE *et al.*, 2015). Assim, é necessário ter uma preocupação global com este assunto. Portanto, surge a necessidade de uma população que não apenas cresça, mas que se preocupe com o meio ambiente em relação ao acúmulo de resíduos sólidos.

SANTOS (2012) destaca o papel das cooperativas de catadores de recicláveis, que funcionam como um mecanismo de auxílio à redução dos efeitos maléficos

causados pelo acúmulo de resíduos sólidos nos lixões urbanos. Ainda segundo SANTOS (2012), os catadores de material reciclável desempenham um papel importante nos países em desenvolvimento. Dentre os benefícios que resultam da coleta de material reciclável, pode-se citar: a contribuição para a saúde pública e para o sistema de saneamento, o fornecimento de material reciclável de baixo custo para a indústria e a contribuição para a sustentabilidade do meio ambiente.

De acordo com LEITE (2009), a formação de cooperativas de reciclagem em diversas regiões do Brasil tem sido objeto de investigação de pesquisas, pois mostram a importância de mitigar o impacto ambiental dos resíduos sólidos urbanos, por meio do trabalho de coleta seletiva de lixo. Assim, percebe-se a importância das cooperativas para a gestão dos resíduos sólidos urbanos, de forma a minimizar os problemas ambientais ocasionados por esses resíduos.

Portanto, a adoção de um sistema de gerenciamento integrado de resíduos torna-se uma ferramenta indispensável, já que este abrange um conjunto de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que devem se processar. A disposição de resíduos em aterros sanitários requer uma série de critérios operacionais e geotécnicos, bastante complexos, devido aos mecanismos físicos, químicos e biológicos envolvidos e que influenciam diretamente sobre o comportamento geral dos aterros.

Uma das ferramentas que auxilia no gerenciamento de resíduos sólidos é a logística reversa, a qual apoia as operações relacionadas com o reuso de produtos descartados (SANTOS, 2012). Logística reversa, portanto, relaciona-se a todas as atividades logísticas de coletar, desmontar e processar produtos, de modo a assegurar uma recuperação sustentável do ponto de vista ambiental.

### **2.6.1 - Logística Reversa**

A Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT), através da NBR 10.004/87, define resíduos sólidos como estados sólidos e semissólidos, resultantes de atividades da comunidade de origem, tais como: industrial, doméstica, hospitalar, comercial e agrícola. Além disso, são incluídos nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, os quais são gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como, determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos.

Formas inadequadas de disposição de resíduos sólidos, sem qualquer tratamento, podem constituir-se num problema de saúde pública e também provocar a poluição do solo e da água, alterando suas características físicas, químicas e biológicas (Marchi, 2006). Para COSTA *et al* (2012), devido à quantidade crescente de resíduos sólidos e o alto risco de intoxicação, seu acúmulo representa para a saúde humana e para o ambiente uma grave ameaça, visto que os dejetos acumulados em depósitos contaminam o solo e constituem focos de doenças, havendo ainda a possibilidade de que sua incineração possa gerar gases que polua a atmosfera.

Diante do contexto, visualiza-se o quanto a má gestão dos resíduos sólidos pode acarretar problemas tanto de ordem ambiental, como social e até econômico. Por isso, aponta-se que a logística reversa é uma das alternativas que contribui para a minimização dos problemas supracitados, no tocante aos materiais recicláveis. No entanto, é necessário entender os aspectos relacionados à logística reversa, sendo estes descritos a seguir.

### **2.6.2 - Logística Direta e Logística Reversa**

A logística organiza ações com o objetivo de promover a eficiência dos processos desde a compra da matéria-prima até o consumidor final (WANKE, 2012). A logística está bastante presente nas mais diversas atividades diárias como, por exemplo, confeccionar um produto em uma região geográfica e adquiri-lo em outra, comparar o custo na compra de alimentos no supermercado em relação ao produtor, perceber o custo das embalagens dos produtos que são adquiridos, entre outros. Segundo LEITE (2009), os fatores supracitados contemplam estratégias logísticas de compras, produção, manuseio, expedição, distribuição e transporte.

LACERDA (2002), afirma que o processo logístico direto e reverso possuem semelhanças no ciclo, em que, no direto, os materiais novos entram na cadeia de suprimento, passam pelo processo de produção e distribuição. No reverso, são os materiais reaproveitados que entram na cadeia de suprimento e passam pelo processo de produção e distribuição. Ainda segundo LACERDA (2002), o ciclo logístico direto e reverso é basicamente formado por: compras, transformação, marketing e ciclo reverso.

KALENATIC *et al.* (2012), afirmam que a logística direta baseia-se na trilogia: companhia, clientes e concorrentes, gerenciando recursos e proporcionando superioridade duradoura para preferência dos consumidores. PICININ *et al.* (2010)

destacam a relevância da logística reversa para a capacidade das organizações utilizarem com eficiência os recursos técnicos e humanos, de prever e responder às mudanças ambientais são fatores importantes na conquista e manutenção da vantagem competitiva, objetivando ganho de mercado.

KRIKKE (2006) apresenta algumas diferenças entre logística direta e logística reversa. A primeira diferença é que na logística direta os produtos são recolhidos, enquanto na logística reversa existe uma combinação entre recolher e empurrar os produtos na cadeia de suprimentos. A segunda diferença relaciona-se ao fato de que os fluxos diretos da logística são basicamente divergentes, enquanto os fluxos reversos podem ser fortemente convergentes e divergentes ao mesmo tempo. A terceira diferença denota que os fluxos de retorno seguem um diagrama de processamento pré-definido, no qual os produtos descartados são transformados em produtos secundários, componentes e materiais. No fluxo normal, esta transformação acontece em uma unidade de produção que serve como fornecedora de rede.

HERRERA *et al.* (2006) afirmam que as atividades reversas da logística devem ser coordenadas com funções dentro da organização tal como a produção, o marketing, os sistemas de informação e a logística direta. Por ser uma atividade bastante especializada, a logística reversa necessita de uma integração muito estreita com as áreas de qualidade, vendas e marketing, sem esquecer-se do setor financeiro. Na Tabela 2.7, TIBBEN-LEMBKE e ROGERS (2002) sintetizam algumas das principais diferenças nas características entre as logísticas direta e reversa.

Tabela 2.7 - Diferentes características entre as logísticas direta e reversa.

<b>Logística Direta</b>	<b>Logística Reversa</b>
Previsões próximas da demanda real	Previsões muito difíceis
Transporte de pulverização (de um para vários)	Transporte de coleta (de vários para um)
Qualidade do produto é uniforme	Qualidade do produto não é uniforme
Embalagem do produto é uniforme	Embalagem do produto danificada, geralmente
Destinação (e roteamento) são claros	Destinação (e roteamento) não são claros
Canal de distribuição padronizado	Orientado para a exceção
Opções para destino dos produtos é clara	Opções para destino dos produtos não é clara
Precificação uniforme	Precificação depende de vários fatores

<b>Logística Direta</b>	<b>Logística Reversa</b>
Importância do tempo/velocidade é reconhecida	Importância do tempo/velocidade nem sempre é reconhecida
Custos de distribuição são fortemente monitorados	Custos são menos visíveis diretamente
Gestão de estoque é consistente	Gestão de estoque não é consistente
Ciclo de vida dos produtos mais gerenciável	Questões do Ciclo de vida dos produtos são mais complexas
Negociação entre as partes é mais clara	Negociação mais complicada em razão das considerações adicionais
Métodos de marketing bem conhecidos	Marketing mais complicado por uma série de fatores
Informações de rastreabilidade do produto em tempo reais facilmente encontradas	Visibilidade do processo é menos transparente

Fonte: ROSSÉS *et al.* (2015).

No entanto, no contexto deste trabalho, será investigado o uso da logística reversa como auxílio para a coleta de resíduos nas cidades vizinhas.

Para TIBBEN-LEMBKE e ROGER (2002), a logística reversa é um processo de planejamento, implementação e controle dos fluxos de matérias-primas, de produtos acabados e de informações, desde o consumidor final até o fornecedor, com o objetivo de recuperar valor ou fazer o descarte de forma correta.

### **2.6.3 - Como Funciona a Logística Reversa?**

Segundo SANTOS (2012), a logística reversa, por sua vez, também pode ser conceituada como instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada com previsão no art. 3º da Lei 12.305/2010. Desta forma, a Lei estimulará o desenvolvimento de mercados que possam reusar, reciclar e dispor adequadamente da restituição dos resíduos sólidos, incentivando o aumento da produção e do consumo de produtos recicláveis (WINDHAM-BELLORD e SOUZA, 2011).

De maneira geral, a logística reversa compreende o planejamento e controle do fluxo de matéria-prima ou produto acabado com o objetivo de recapturar valor ou realizar um descarte adequado, conforme demonstrado na Figura 2.16. Assim, é possível associar a logística reversa como um diferencial para organização, pois esta desempenha funções relevantes nas questões ambientais, com a responsabilidade sobre o destino do produto inserido no mercado, sendo que os clientes de certa forma valorizam essas políticas e é possível obter redução do custo e vantagens do ponto de vista de reaproveitamento.

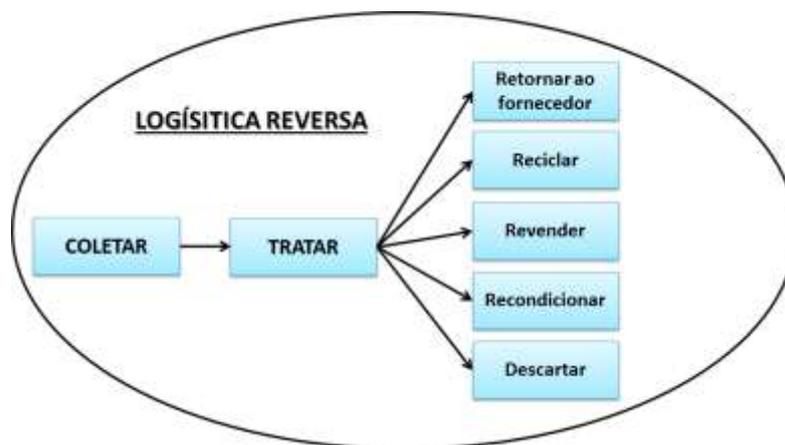


Figura 2.16 - Processo de logística reversa.  
Fonte: Adaptado de LEITE (2009).

De acordo com FERRI (2011), o processo de logística reversa envolve três aspectos relevantes:

- **Do ponto de vista logístico** - o ciclo de vida de um produto não se encerra com a sua entrega ao cliente. Produtos que se tornam obsoletos, danificados ou não funcionam devem retornar ao seu ponto de origem para serem adequadamente descartados, reparados ou reaproveitados.
- **Do ponto de vista financeiro** - existe o custo relacionado ao gerenciamento do fluxo reverso, que se soma aos custos de compra de matéria-prima, de armazenagem, transporte e estocagem e de produção, já tradicionalmente considerados na logística.
- **Do ponto de vista ambiental** - devem ser considerados e avaliados os impactos do produto sobre o meio ambiente durante toda a sua vida. Este tipo de visão sistêmica é importante para que o planejamento da rede logística envolva todas as etapas do ciclo do produto.

De acordo com LEITE (2009), na logística reversa, existem os canais de distribuição diretos e reversos (

Figura 2.), onde os volumes transacionais nos canais reversos são, em geral, uma fração daqueles dos canais diretos dos bens produzidos. Os valores dos materiais e produtos que retornam mesmo considerando as dificuldades deste retorno é muito mais baixo do que os comparados aos dos bens originais, que nem sempre foram planejados corretamente.

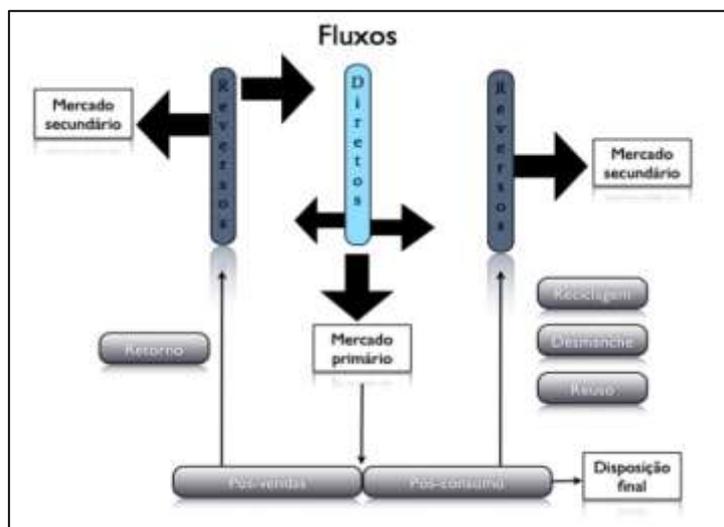


Figura 2.17 - Canais de distribuição diretos e reversos.  
Fonte: Adaptado de LEITE (2009).

Observa-se na Figura 2.17, o fluxo das matérias-primas (mercado primário) que pode ser processado de diversas maneiras como atacadista, distribuidores chegando ao consumidor final e retornando em seus canais reversos (mercado secundário), como descarte de produtos (duráveis e semiduráveis), após finalizadas à aplicação original. Existindo assim os seguintes subsistemas reversos: (i) os canais reversos de reuso, como leilões de empresa; (ii) remanufatura e de reciclagem, para o sentido inverso da cadeia de pós-consumo e pós- venda, ou seja, do consumidor ou varejista ao fabricante e entre empresas, retornando ao ciclo do negócio de alguma maneira.

## **CAPÍTULO 3**

### **MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 - DADOS SOBRE A CIDADE DE TABATINGA-AM**

##### **3.1.1 - Localização**

O Município de Tabatinga está localizado a margem esquerda do Rio Solimões, fronteira com a Colômbia e o Peru, na mesorregião Sudoeste Amazonense e microrregião do Alto Solimões.

Sua área territorial é de 3.225,06km, representando 0,2053% do Estado, 0,08337% de todo território brasileiro, distante 1.105 km, da capital, em linha reta e a 1.607 milhas por vias fluviais, sendo o 7º município mais distante da capital. Situa-se a 4°15'09" de latitude sul e a 69° 56' 17' de longitude a oeste de Greenwich.

##### **3.1.2 - Limites Territoriais**

Tabatinga está localizada no meio da maior floresta tropical do planeta, a selva amazônica, à margem esquerda do Rio Solimões, faz fronteira com a Colômbia que fica a nordeste do município e o Peru a sudoeste. Municípios limítrofes são: Santo Antônio do Iça a leste, São Paulo de Olivença a sudoeste, a sul de Benjamin Constant e a oeste de Atalaia do Norte

##### **3.1.3 - Áreas e Altitudes**

Tabatinga-AM possui uma área territorial de 3.225,06 Km<sup>2</sup> e Altitude: na cota topográfica 60 m acima do nível do mar.

##### **3.1.4 - Clima e Relevo**

O clima característico é do tipo quente e úmido (tropical), apresentando temperatura máxima de 32°C e mínima de 25°C. O período chuvoso inicia-se no mês junho e a estiagem no mês de novembro.

O relevo é composto por terreno semi-plano e solo de natureza argilosa, com baixo índice de permeabilidade. Na Figura 3.1, a seguir, observa-se o mapa com as características do relevo na região do município de Tabatinga.

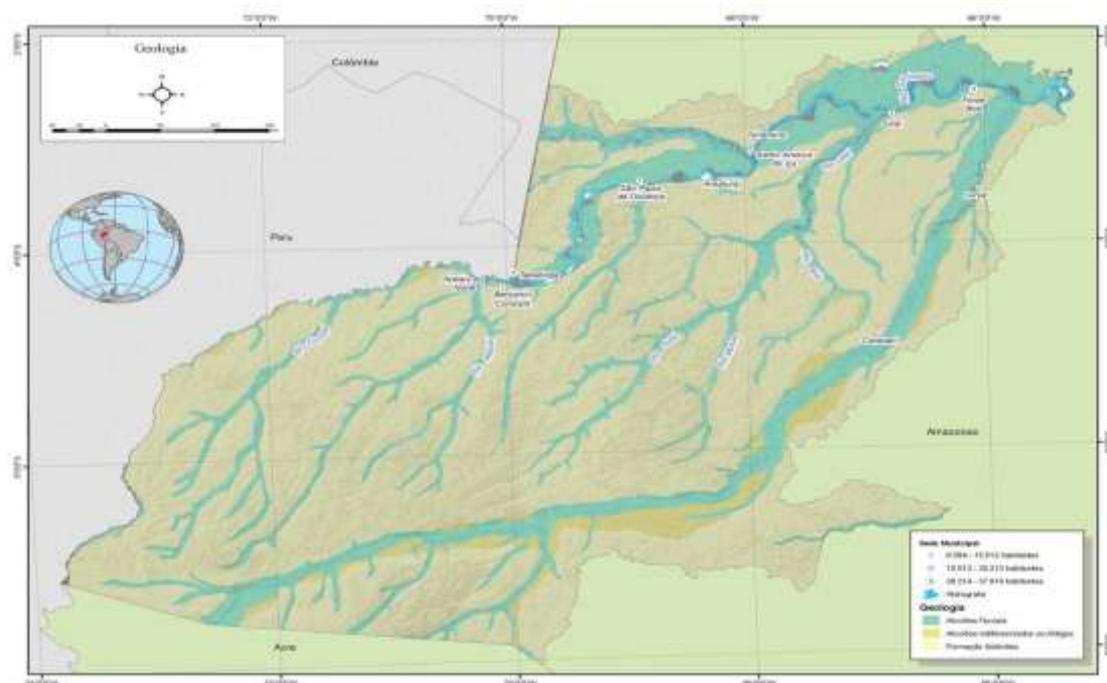


Figura 3.1 - Município de Tabatinga.

### 3.1.5 - Hidrografia

Toda a região está coberta por florestas (altas, baixas e pouco densas) e, hidrograficamente, pertence à bacia do rio Amazonas, sendo banhada pelos rios Solimões, Içá, Japurá e vários de seus afluentes, tais como: Hapapóris, Traíra, Puretê, Puruê e Cunha.

O rio Solimões apresenta grande largura, grande volume d'água e boa profundidade, permitindo a navegação de embarcações e navios de grande calado. No período de sua enchente suas águas inundam as florestas adjacentes alagando dezenas de quilômetros de ambas as margens.

Na Figura 3.2, a seguir, pode-se visualizar o mapa com a hidrografia local.



Figura 3.2 - Mapa da hidrografia de Tabatinga

### 3.1.6 - População

O Município de Tabatinga segundo o IBGE (2010) possui uma população total de 52.272 habitantes, sendo residentes 36.371 hab. na zona urbana e 15.908 hab. na zona rural. A população predominante no município na faixa etária de 0 a 4 anos é a feminina seguida da mesma faixa etária a população masculina. Na Ilustração 2.5, a seguir pode-se visualizar a pirâmide da faixa etária populacional.

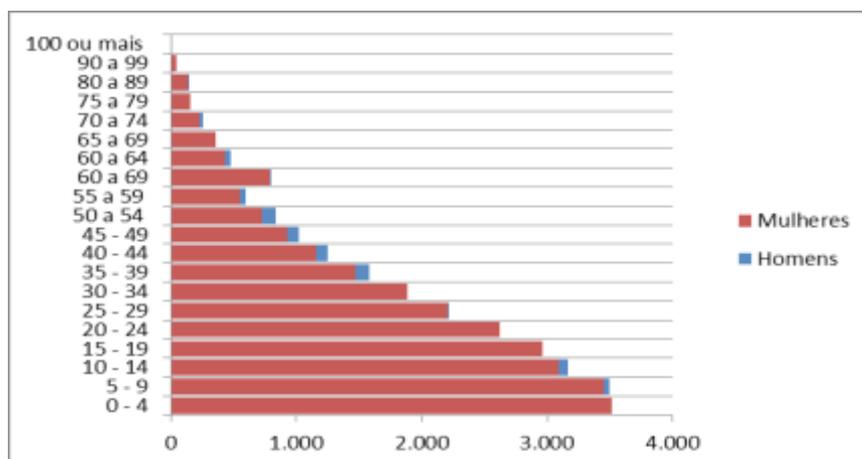


Figura 3.3 - Pirâmide faixa etária populacional

### 3.1.7 - Crescimento Demográfico Local

No período 1991-2000, a população de Tabatinga teve uma taxa média de crescimento anual de 3,59%, passando de 27.923 habitantes, em 1991, para 37.919

habitantes, em 2000. A taxa de urbanização diminuiu 1,04%, passando de 70,99% em 1991 para 70,25% em 2000. (SEPLAN/AM).

Em 2000, a população do município representava 1,35% da população do Estado, e 0,02% da população do País (SEPLAN/AM).

Em 2010 o crescimento demográfico do município de Tabatinga-AM evoluiu para 52.279 habitantes, obtendo razoável crescimento, de 1991 a 2010 de 3,36% aa. (SEPLAN/AM). Na Tabela 3.1 pode-se observar os resultados dos Censos Demográficos, do IBGE, de 1991 à 2010.

Tabela 3.1 - Quadro crescimento demográfico.

	1970	1980	1991	2000	2010
total			27.923	37.919	52.279
urbana			19.822	26.637	36.371
rural			8.101	11.282	15.908

Fonte: IBGE (2010).

### 3.1.8 - Características Urbanas

É uma cidade fronteiriça à Colômbia e ao Peru, sendo que a fronteira com o primeiro país é terrestre. As cidades de Tabatinga e Leticia (Colômbia) são interdependentes.

Todavia, o único marco limítrofe é um poste com as duas bandeiras, o que faz a população local transitar livremente entre os dois países como se as duas cidades fossem gêmeas. O acesso mais frequente à Colômbia é pela Avenida da Amizade que começa no Aeroporto Internacional de Tabatinga e termina dentro de Leticia.

O principal mercado consumidor é o comércio, não há muitas empresas ou fábricas interessadas em investir nessa região, apenas duas fábricas (uma de polpas de frutas e Uma de adubo orgânico para exportação) já se manifestaram em criar base na área.

O custo de vida é um pouco elevado em virtude da distância com a capital, contudo, a cidade fronteiriça, Leticia, dá suporte mais favorável, haja vista que tal cidade é livre de todo imposto colombiano recebendo mercadorias pelo canal do Panamá a preços baixos.

A população tabatinguense vai à cidade fazer compras diversas, onde varia do supermercado aos móveis de casa. Os produtos mais procurados são os eletrodomésticos, móveis e perfumes.

### **3.1.9 - Saúde**

Segundo o IBGE (2001), os aspectos sanitários do Município não são satisfatórios, pois de acordo com o último censo a coleta pública de lixo atingia apenas 22,6% dos domicílios. Também não existe sistema de esgotamento sanitário, foi iniciado um projeto mais foram paralisados, 80% dos dejetos é destinado para sistema individual de fossa.

O sistema de saúde conta com 01 hospital 01 Unidade de Pronto Atendimento, destinados a prestar atendimento de pronto-socorro, maternidade, atendimento cirúrgico, odontológico e hospitalar para a população local e da periferia e 07 postos de atendimento imediato.

A expectativa de vida no município esta em cerca de 70 anos (fonte: PMT).

### **3.1.10 - Habitação**

O déficit habitacional relativo do Amazonas é considerado o maior do País, 25,4%. De acordo com estudo do Instituto Brasileiro de Economia da Fundação Getúlio Vargas (FGV), com base em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2009, o Estado possuía 155.475 residências improvisadas ou em favelas e 95.929 domicílios onde existem famílias que convivem umas com as outras no mesmo endereço têm a intenção de mudar-se.

A soma das famílias com intenção de mudar-se para adquirir uma residência própria e as casas inadequadas à moradia, como as localizadas em favelas e cortiços, é o que compõem o índice utilizado pela FGV para gerar o déficit habitacional. No Estado, são 251.404 residências impróprias.

Em 1991 a 2000 a habitação da população do Município de Tabatinga obteve um significativo aumento na cobertura ao atendimento no serviço de água encanada em suas residências progredindo de 14,1% para 39,5%, enquanto a energia elétrica residencial passou de 77,3% para 81,8%, o crescimento da coleta de lixo das residências urbanas também obteve grande melhora saindo de 28,8% para 60,7%.

O acesso aos bens de consumo como geladeira saltou de 47,2% para 56,6% e de televisores saiu de 52,9% para 64,1% e de telefones foi de 8,4%, para 13,9%.

### **3.1.11 - Índice de Desenvolvimento Humano – IDH**

No período 1991-2000, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) de Tabatinga cresceu 12,02%, passando de 0,624 em 1991 para 0,699 em 2000. A dimensão que mais contribuiu para este crescimento foi a Educação, com 49,8%, seguida pela Renda, com 28,6% e pela Longevidade, com 21,6%. Neste período, o hiato de desenvolvimento humano (a distância entre o IDH do município e o limite máximo do IDH, ou seja,  $1 - \text{IDH}$ ) foi reduzido em 19,9%.

Se mantivesse esta taxa de crescimento do IDH-M, o município levaria 20,9 anos para alcançar São Caetano do Sul (SP), o município com o melhor IDH-M do Brasil (0,919), e 7,8 anos para alcançar Manaus (AM), o município com o melhor IDH-M do Estado (0,774).

Em 2000, o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal de Tabatinga é 0,699. Segundo a classificação do PNUD, o município está entre as regiões consideradas de médio desenvolvimento humano (IDH entre 0,5 e 0,8).

Em relação aos outros municípios do Brasil, Tabatinga apresenta uma situação intermediária: ocupa a 003ª posição, sendo que 3002 municípios (54,5%) estão em situação melhor e 2504 municípios (45,5%) estão em situação pior ou igual, segundo dados mais recentes do SEPLAN (2000).

### **3.1.12 - Situação do Saneamento Básico**

O município de Tabatinga conta apenas com os serviços de abastecimento de água, coleta e transporte de resíduos sólidos. Os resíduos sólidos coletados são transportados para um lixão a céu aberto, conforme pode ser notado na Figura 3.4.



Figura 3.4 - Resíduos queimados a céu aberto.

A má utilização da rede de drenagem pluvial e da rede coletora de esgoto vem trazendo sérios problemas para a população, especialmente durante o período de chuva. Na Figura 3.5, a seguir pode-se visualizar o estado das tubulações de águas pluviais.



Figura 3.5 - Tubulação de águas pluviais.

Tabatinga é um dos vários municípios do Amazonas que não tem sistema de esgotamento sanitário. O esgotamento sanitário é o serviço de saneamento básico com menos cobertura nos municípios brasileiros, embora tenha crescido 10,6%.

Entre 1989 - 2000 dos 4.425 municípios existentes no Brasil, 47,3% tinham algum tipo de serviço de esgotamento sanitário, em 2000, dos 5.507 municípios, 52,2% tinham esgotamento o sanitário, o que representa um crescimento de 10% neste período.

### 3.1.13 - Estrutura Operacional, Fiscalizatória e Gerencial

O serviço de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos são administrados e operados pela Prefeitura Municipal, através da Secretaria Municipal de Obras.

O corpo de trabalhadores dos serviços de limpeza urbana é composto por auxiliares, varredores, operadores de máquinas, motoristas e encarregados, além de um corpo técnico de apoio de nível médio.

De forma geral a estrutura operacional, fiscalizatória e gerencial é precária e se faz necessário investimento para gestão, principalmente quanto a organização de dados e informações. Na Tabela 3.2, a seguir, pode-se visualizar a composição do quadro de servidores que estão envolvidos com o serviço de limpeza pública.

Tabela 3.2 - Composição do Quadro Funcional para o Serviço de Limpeza Pública.

Tipo de serviço Quantidade	Tipo de serviço Quantidade
Auxiliares 120	Auxiliares 120
Varredores 62	Varredores 62
Coletores 38	Coletores 38
Operadores de máquina 37	Operadores de máquina 37
Motoristas 8	Motoristas 8
Encarregados 13	Encarregados 13

Fonte: ALCADIA DE LETÍCIA COLÔMBIA.

### 3.1.14 - Iniciativas e Capacidade de Educação Ambiental

O município tem realizado algumas iniciativas no sentido de desenvolvimento da educação ambiental, entretanto não atende amplamente as necessidades quanto a universalização. Alguns programas de pequeno porte tem se desenvolvido, tais como o Programa de Conscientização em Educação Ambiental; Projetos de Lixeiras Comunitárias; Olimpíada Ambiental entre outras como ações pontuais na rede escolar.

A Secretaria de Meio Ambiente não tem verba específica para educação ambiental, portanto, os técnicos programam as atividades, sensibilizam gestores para a execução das atividades e buscam doações.

Em parceria com o Centro de Educação Tecnológica do Estado do Amazonas (CETAM) foram realizados cursos para reutilização do PET através de artesanatos e

outros objetos. Estas ações de educação ambiental são direcionadas para as 7 (sete) escolas estaduais e 6 (seis) escolas municipais, todas localizadas na sede.

A preocupação básica desses programas tem por objetivo esclarecer a população quanto aos resíduos, queimadas nas zonas urbana e rural, consumo consciente, entre outros.

A capacidade do município no sentido de desenvolvimento da educação ambiental é inquestionável, em função do que se tem observado nas reuniões de mobilização social, onde tem demonstrado suficientemente organizado para atingir os objetivos que se propõe, entretanto nota-se que há necessidade de investimentos em gestão visando a plena capacitação das equipes existente e, inclusive, a sua ampliação.

Tabatinga conta com a Fundação de Vigilância Sanitária do Estado do Amazonas, que promove programas de ações contínuas no município com agentes de saúde que vão porta a porta orientar sobre educação ambiental e saúde sanitária, mesmo assim segundo a FVS é necessário uma integração maior entre os órgãos ambientais.

### **3.1.15 - Coleta e Transporte**

De acordo com dados da Secretaria Municipal do Meio Ambiente, a coleta domiciliar do município de Tabatinga foi iniciada na década de 90.

Os veículos utilizados na coleta e transporte dos resíduos domiciliares são da própria prefeitura. Além do veículo de coleta há 5 (cinco) caçambas com capacidade para 4 m<sup>3</sup> e um trator para compactação dos resíduos na área onde são lançados os resíduos coletados. Através de cronograma, a coleta atende o Centro e as áreas estratégicas (mercados e feiras) todos os dias, mas de forma alternada, atende os demais bairros da cidade, incluindo as comunidades indígenas de Umariçu I e II. Segundo a administração municipal informou que os problemas da coleta são agravados durante o período de inverno, quando os caminhões não têm acesso aos bairros não urbanizados.

Os resíduos domiciliares coletados não são devidamente quantificados, pois não há balança. Em função das visitas técnicas levadas a efeito pelos engenheiros do PLAMSAN concluiu-se que o estado de conservação das instalações e dos veículos e equipamentos é de má qualidade, sendo habitual a inexistência de uniformes para os funcionários do setor, bem como a utilização de equipamentos de proteção individual – EPI's. Os veículos de coleta não estão devidamente identificados e não é comum a higienização.

Segundo informações obtidas em in loco, com a equipe técnica do município a coleta dos Resíduos dos Serviços de Saúde (RSS) é feita pelos mesmos caminhões da coleta de resíduos comuns, atende uma média de 40 mil pessoas, o que está acima de sua capacidade, segundo a administração local. Esse público é oriundo da sede e interior de Tabatinga; casos emergentes de São Paulo de Olivença, Benjamin Constant, Fonte Boa, Atalaia do Norte e outros; além do acréscimo de 4 mil estrangeiros provenientes da população flutuante de peruanos, colombianos e agora haitianos em processo de migração a partir de 2010.

Os resíduos são coletados do Hospital de Guarnição de Tabatinga, 08 (oito) Unidades Básicas de Saúde e 01 (um) Laboratório. a geração/ dia de resíduos dos serviços de saúde. O volume chega a 37 kg/dia. O hospital também não está fazendo a separação dos resíduos sépticos. Tanto a queima, quanto a colocação dos resíduos sépticos em valas impróprias, são manejos incorretos resíduos dos serviços de saúde, em não conformidade com a Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 306/2004 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

Na cidade de Tabatinga não há nenhum programa de coleta seletiva implementado.

Cerca de 50 catadores registrado de acordo com censo realizado pela própria prefeitura em 2010 frequentam o lixão, Apenas oito (8) são brasileiros. Os catadores, em sua maioria, peruanos e colombianos, não constituíram associação, não só pela falta de organização social, mas também pela ausência de documentos legais de permanência no solo brasileiro.

Não existe nenhuma associação ou infraestrutura de apoio aos catadores montada. A compra dos resíduos coletados é efetuada por comerciantes de tabatinga e revendido em Manaus.

### **3.1.16 - Destinação e Disposição Final**

O lixão está localizado às margens da Estrada do INCRA e contém as coordenadas S 04° 13' 16,70098" e W 69° 55' 03,03712". Essa estrada possui pavimento asfáltico apenas no trecho da área urbana até lixão. O restante da estrada fica sem condições de tráfego no período das chuvas.

O sistema de disposição final dos resíduos sólidos urbanos de Tabatinga a forma é inadequada e desordenada de uso da área bem como os procedimentos operacionais

do lixão a céu aberto.

Nesse local são depositados todos os resíduos gerados na área urbana de Tabatinga, de forma desordenada, sem conformação, permanecendo a céu aberto, cuja fração orgânica é um grande atrativo para aves, notadamente para o urubu cabeça-preta (*Coragyps atratus*).

O acesso ao lixão é livre, pois não possui cerca de isolamento, a presença de catadores é frequente. Além dos impactos ambientais negativos que normalmente ocorrem com o sistema de destino final no modo de lixão a céu aberto, o local em uso está localizado a cerca de 4,2 km do aeroporto de Tabatinga e com distância um pouco superior em relação ao aeroporto da vizinha cidade colombiana de Letícia.

Não obstante a proximidade indevida no que se refere ao perigo aviário, também existe a vizinhança incompatível como o aviário localizado em frente. A dimensão do lixão chega a 09 (nove) hectares e o ponto de descarregamento está muito próximo da via de acesso.

De acordo com a Lei N<sup>o</sup> 12.305/10, até o ano de 2014, todos os municípios brasileiros deveriam eliminar os lixões. O passivo ambiental causado pela existência do lixão deverá ser reparado com a recuperação ambiental dessa área não bastando apenas cercá-la, mas principalmente implantar a rede de drenagem, tratamento do chorume e implantação de um sistema de tubulações para liberação dos gases produzidos, entre outras unidades saneadoras.

## 3.2 - ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO ATERRO EM LETICIA-COLÔMBIA

### 3.2.1 - Parâmetros básicos

O regulamento técnico de Limpeza Pública (RAS, 2000), adaptado mediante a Resolução 1096 do ano 2000, define as especificações técnicas de manejo e controle de aterros sanitários. Para o caso do aterro do Prédio Finca Bruselas, este é catalogado como de nível de Alta Complexidade. Desta maneira na Tabela 3.3 são apresentadas as especificações que se aplicam a esses aterros de acordo com a RAS 2000.

Tabela 3.3 - Especificação técnicas do projeto RAS 2000.

N	Aspecto Técnico	Especificação
1	Sistema de impermeabilização de fundo	Capa de argila e geomembrana. Espessor mínimo de 1 m. Compatível com lixiviados.
2	Águas de correntes	Canais revestidos. Velocidade maior a 0.30 m/s.
3	Drenagem de lixiviados	Capa drenante em todo o fundo impermeabilizado, espessor mínimo de 0.30 m e permeabilidade mínima de $10^{-2}$ cm/s.
4	Drenagem de gases	Tubulação perfurada de 0.15 m de diâmetro. Densidade mínima de 4 und/ha.
5	Célula de resíduos	Altura até 3.0 m. Largura depende do fluxo de veículos.
6	Compactação	Mecânica. 3 a 4 passadas por capa de resíduos.
7	Cobertura final	Capa de argila de 0.45 m de espessura (capa de controle de infiltração), capa de controle de erosão de 0.15 m e capa granular drenante.
8	Obras complementares	Vias sinalizadas e iluminadas, cerco perimetral de alambre tecido de 1.80 m de altura, guarita de vigilância de 10 m <sup>2</sup> , básculas de pesagem, armazém e oficina, área de amortização e franja de isolamento reflorestado, vala publicitária.

Fonte: RESOLUÇÃO LETICIA 1096/02.

Tabela 3.4 - Parâmetros básicos do projeto. Aterro sanitário de Leticia.

Parâmetro	Valor
Vida útil	30 anos
Municípios	Leticia
Produção de resíduos (2007) *	28,14 t/dia
Tipo de resíduos	Sólidos ordinários domésticos
Tipo de aterro	Tipo trincheira, cheias por níveis.
Quantidade resídua 30 anos	545,483 t
Densidade de compactação:	0,60 t/m <sup>3</sup>
Altura da cela:	2,50 m
Media/Relação de cobertura	1,12 m <sup>3</sup> aterro/m <sup>3</sup> resíduos
Manejo de gases	Evacuação passiva (chimeneas)
Tratamento de lixiviados	Tratamento biológico
Tipo de operação	Mecânica (maquinaria).
Localização	17 Km + 200m do centro urbano de Leticia.

Fonte: TOMADO DO PGIR LETICIA.

### 3.2.2 - Quantidade e qualidade de resíduos dispostos

A metodologia para a projeção dos resíduos foi a seguinte:

- Foi definido como ano 1, 2008, supondo que o aterro iniciaria sua operação neste ano.
- Foi definido um horizonte de 30 anos de acordo o exigido pela normatividade ambiental, pela qual a projeção se realizaria até o ano 2037.
- Tomou-se como ponto de partida a produção e projeção dos resíduos sólidos previsto no PGIRS de LETICIA (2005) para o período de 2005 a 2020.

Para o período 2021 a 2037, tomou-se a mesma tendência de crescimento dos resíduos estimado pelo PGIRS. Com base no anterior se fez uma correlação de dados para o período 2005 a 2020 encontrando que a Projeção de Resíduos se ajusta a seguinte expressão de crescimento geométrico:

$W \text{ (ton/d)} = 26,359 \times \text{EXP}(0,0328t)$  com um coeficiente de correlação  $r = 1,0$   
onde t: Corresponde ao ano, sendo 1 o ano 2005.

Para o ano 2021 em diante se estimou a produção de resíduos "W" em ton/d para um valor de  $t=17$  em diante. No ano 2037 o valor de "t" corresponderá a 33 da correlação de dados. Na Figura 3.6 são apresentados os resultados obtidos. Desta maneira se estima que o aterro sanitário de Leticia requer uma capacidade de 545.500 toneladas de resíduos sólidos para um período de 30 anos.

n	Año	Habitantes Cabecera		Total
		Leticia	Amazonas	
0	1985	17.005	20.279	17.005
5	1993	17.758	20.544	17.758
10	2005	23.194	25.662	23.194

n	Año	Habitantes	Resíduos			Fuente	
			PGIRS	Total			
a			26,4				
t			0,0328				
Proyección de residuos (t/d)							
		Población	t/d	Kg/h-d	t/año	Acumulado	residuos
1	2005	23.194	26,4				PGIRS
2	2006	23.040	27,3	1,18	9.957		PGIRS
3	2007	23.766	28,1	1,18	10.271		PGIRS
4	2008	24.514	29,1	1,19	10.614	10.614	PGIRS
5	2009	25.286	30,1	1,19	10.968	21.582	PGIRS
6	2010	26.082	31,1	1,19	11.333	32.916	PGIRS
7	2011	26.903	32,1	1,19	11.713	44.629	PGIRS
8	2012	27.750	33,2	1,19	12.103	56.732	PGIRS
9	2013	28.624	34,3	1,20	12.509	69.241	PGIRS
10	2014	29.525	35,4	1,20	12.925	82.165	PGIRS
11	2015	30.455	36,6	1,20	13.359	95.524	PGIRS
12	2016	31.414	37,8	1,20	13.804	109.328	PGIRS
13	2017	32.403	39,1	1,21	14.264	123.593	PGIRS
14	2018	33.423	40,4	1,21	14.742	138.335	PGIRS
15	2019	34.475	41,7	1,21	15.235	153.570	PGIRS
16	2020	35.561	43,1	1,21	15.742	169.313	PGIRS
17	2021	36.680	46,0	1,26	16.803	186.115	Estimado
18	2022	37.835	47,6	1,26	17.363	203.479	Estimado
19	2023	39.027	49,2	1,26	17.942	221.421	Estimado
20	2024	40.255	50,8	1,26	18.540	239.961	Estimado
21	2025	41.523	52,5	1,26	19.159	259.120	Estimado
22	2026	42.830	54,2	1,27	19.797	278.917	Estimado
23	2027	44.179	56,0	1,27	20.458	299.375	Estimado
24	2028	45.570	57,9	1,27	21.140	320.514	Estimado
25	2029	47.005	59,8	1,27	21.845	342.359	Estimado
26	2030	48.485	61,8	1,28	22.573	364.932	Estimado
27	2031	50.011	63,9	1,28	23.326	388.258	Estimado
28	2032	51.586	66,0	1,28	24.103	412.361	Estimado
29	2033	53.210	68,2	1,28	24.907	437.268	Estimado
30	2034	54.885	70,5	1,28	25.738	463.006	Estimado
31	2035	56.613	72,9	1,29	26.596	489.601	Estimado
32	2036	58.396	75,3	1,29	27.483	517.084	Estimado
33	2037	60.234	77,8	1,29	28.399	545.483	Estimado

Figura 3.6 - Previsão de quantidade e qualidade de resíduos dispostos.

Fonte: ALCADIA DE LETICIA.

### 3.2.3 - Estimativa da Produção de Gases

De acordo com os resultados obtidos, é possível concluir que:

- Segundo a composição física, os resíduos tem um potencial de geração de biogás de 235,6 litros por cada kg de resíduos dispostos.
- A quantidade total de biogás esperada pela disposição dos resíduos sólidos durante os 30 anos é 129 Milhões de m<sup>3</sup> de biogás.

- A taxa máxima de produção de biogás é estimada em 6.0 milhões de m<sup>3</sup>/ano, no qual se espera que no ano 31 (1 ano depois do fechamento do aterro sanitário). Depois deste ano, a taxa de produção de resíduos se começa a reduzir devido que não terá mais aporte de matéria orgânica no aterro sanitário.

Espera-se que no ano 2045 (ano 38) tenha sido produzido mais de 95% do biogás e, portanto espera-se que nesse período haja a estabilidade.

### **3.2.4 - Ação da Produção de Lixiviados**

Dos cálculos realizados para estimar a produção de lixiviados se pode concluir:

- A produção máxima de lixiviados é de 1,0 L/s;
- A medida que cresce o aterro, a produção se incrementa devido a um maior aporte de lixiviados por umidade e de um maior tamanho nas áreas expostas;
- A produção de lixiviados começa a reduzir a partir do ano 25 como resultado da colocação dos resíduos no destino final e a aplicação da cobertura final dos resíduos.

Esclarece-se que a produção de lixiviados pode variar em função das condições operativas do aterro sanitário da seguinte maneira:

- Quando tenham áreas expostas de lixo sem cobertura, diferentes frentes de trabalho (o cálculo foi feito para 60 m<sup>2</sup> (valor máximo) durante toda a vida útil do aterro), a produção de lixiviados seria maior.
- Quando na cobertura final não se aplica à medida que se vão logrando as cotas definitivas do projeto, a produção pode ser incrementada.
- Quando se adequam as zonas para dispor os resíduos e não são tomadas medidas para minimizar o ingresso de água da chuva pelas redes de condução de lixiviados, a produção pode ser maior.
- No caso de que se receba uma maior quantidade de resíduos no ano que o previsto no projeto, a produção de lixiviados é incrementada devido a um maior aporte de água devido a umidade dos resíduos.

- Na medida em que se coloca a cobertura final e se logrem as cotas do projeto, se reduz a infiltração da água da chuva e, portanto se minimiza a produção de lixiviados.

Devem ser empregadas medidas como cobrir com plástico parcialmente a frente de trabalho e as zonas aterradas temporalmente (donde não se tem logrado as cotas definitivas do aterro) é possível minimizar a produção de lixiviados; tomando em conta que as correntes geradas devem ser conduzidas aos sistemas externos de manejo de água pluviais. Na Figura 3.7 é apresentado o dimensionamento básico do aterro sanitário.

n	Residuos	Volumen residuos (m <sup>3</sup> /d)	Celda diaria			Volumen relleno (m <sup>3</sup> /y)
			Altura (m)	Ancho (m)	Longitud (m)	
1	29,1	48,5	2,35	3,50	5,9	17.690,3
2	30,1	50,1	2,35	3,50	6,1	18.280,4
3	31,1	51,8	2,35	3,50	6,3	18.888,8
4	32,1	53,5	2,35	3,50	6,5	19.521,4
5	33,2	55,3	2,35	3,50	6,7	20.172,3
6	34,3	57,1	2,35	3,50	6,9	20.847,6
7	35,4	59,0	2,35	3,50	7,2	21.541,1
8	36,6	61,0	2,35	3,50	7,4	22.265,0
9	37,8	63,0	2,35	3,50	7,7	23.007,2
10	39,1	65,1	2,35	3,50	7,9	23.773,7
11	40,4	67,3	2,35	3,50	8,2	24.570,6
12	41,7	69,6	2,35	3,50	8,5	25.391,8
13	43,1	71,9	2,35	3,50	8,7	26.237,4
14	46,0	76,7	2,35	3,50	9,3	28.004,8
15	47,6	79,3	2,35	3,50	9,6	28.938,6
16	49,2	81,9	2,35	3,50	10,0	29.903,6
17	50,8	84,7	2,35	3,50	10,3	30.900,7
18	52,5	87,5	2,35	3,50	10,6	31.931,0
19	54,2	90,4	2,35	3,50	11,0	32.995,7
20	56,0	93,4	2,35	3,50	11,4	34.095,9
21	57,9	96,5	2,35	3,50	11,7	35.232,8
22	59,8	99,7	2,35	3,50	12,1	36.407,6
23	61,8	103,1	2,35	3,50	12,5	37.621,6
24	63,9	106,5	2,35	3,50	12,9	38.876,0
25	66,0	110,1	2,35	3,50	13,4	40.172,3
26	68,2	113,7	2,35	3,50	13,8	41.511,8
27	70,5	117,5	2,35	3,50	14,3	42.896,0
28	72,9	121,4	2,35	3,50	14,8	44.326,3
29	75,3	125,5	2,35	3,50	15,3	45.804,3
30	77,8	129,7	2,35	3,50	15,8	47.331,6
<b>TOTAL:</b>	<b>545.482,8</b>	<b>909.138</b>				<b>909.138,0</b>

Densidad de compactación:	0,60 t/m <sup>3</sup>
Espesor de cobertura intermedia:	- m
Relación de cobertura promedio:	1,00 m <sup>3</sup> RS/m <sup>3</sup> rs
Total volumen sin asentamiento:	909.138,0 m <sup>3</sup>
<b>Total volumen con asentamiento:</b>	<b>681.853,5 m<sup>3</sup></b>

Figura 3.7 - Dimensionamento básico do aterro sanitário.  
Fonte: ALCADIA DE LETÍCIA.

O aterro de Leticia deve ter uma capacidade de 0,45 milhões de toneladas e um volume de 0,7 milhões de m<sup>3</sup> (considerando perdas por assentamento físico, geração de gases e lixiviados) para uma vida útil de 30 anos.

### **3.2.5 - Lugar de Disposição Final**

#### **3.2.5.1 - Frente de Disposição**

É o espaço físico ocupado pelo volume de produção de resíduos de um ou mais dias e sua respectiva cobertura. A geometria da frente de trabalho se define considerando:

- A necessidade de garantir a adequada desagregação e compactação da totalidade dos resíduos;
- A atenção à totalidade dos caminhões, assim como uma operação cômoda e segura;
- A minimização da cobertura e da área de operação. Neste sentido a altura dos resíduos tem uma relação direta com as duas variáveis citadas.

Tendo em conta o anterior e com o fim de permitir a sistematização do manejo da frente, se propõe uma frente de disposição por trincheiras de 40 metros de largura.

Cada caminhão coletor contaria com um espaço inicial de 10 metros para sua operação de descarga, o qual se realizará por despejo. O processo de disposição deve ser realizado de forma escalonada até alcançar a altura do aterro.

#### **3.2.5.2 - Cobertura Diária**

É previsto manter protegido e isolado o aterro sanitário com polietileno de baixa densidade até o tanto que se disponha a cobertura definitiva. Com o polietileno se pretende limitar o ingresso de água da chuva e melhorar as condições paisagísticas. O local do projeto foi localizado tecnicamente, longe de centros povoados com o fim de prevenir moléstias na comunidade.

#### **3.2.5.3 - Sistema de Impermeabilização e Coletagem e Condução de Lixiviados**

Com a finalidade de garantir a não contaminação do subsolo e das águas subterrâneas por causa dos resíduos e do lixiviado involucrados no projeto, e atendendo

a normatividade vigente, se propõe uma estrutura de impermeabilização formada por argila e geo membrana que se instalará no fundo e taludes dos diques de contenção, para toda zona de aterramento.

O sistema de coleta e condução de lixiviados contempla os seguintes aspectos: construção do filtro de coleta de lixiviados longitudinal e em direção à descendente do fundo da trincheira.

#### 3.2.5.4 - Manejo de gases

Para evitar a acumulação de gás no interior do aterro e permitir sua evacuação de forma passiva através da construção de chaminé em tubos perfurados de 6'' tipo Polietileno envolto em material granular de proteção 1.0 m x 1,0 m de lado. É recomendável construir as chaminés naquelas zonas onde se estejam as cotas definitivas de projeto e onde a idade dos resíduos seja superior a 2 anos.

#### 3.2.5.5 - Sistema de Manejo de Águas Pluviais

Para o manejo de águas de chuvas se estabelece as seguintes estruturas: canal perimetral, canal central, canais de descole e estruturas de passagem (galerias).

#### 3.2.5.6 - Cobertura

A cobertura final far-se-á da capa de fechamento que se colocará uma vez que tenham logrado as cotas definitivas do projeto. Constituída por: uma capa de solo orgânico ou de descapote de 0.10 m, uma capa seladora de 0.30 m de espessura em argila e uma capa drenante em material granular de 0.10 m.

#### 3.2.5.7 - Poços de Monitoração

Com o objetivo de monitorar o estado da água subterrânea da zona do aterro, está prevista a construção de 7 poços de monitoração na área do projeto, os quais serão construídos ao lado das diferentes etapas de operação do projeto.

### 3.2.5.8 - Sistema de Tratamento de Lixiviados

O sistema de manejo de lixiviados previsto compreende sua coleta desde o fundo do aterro, e sua condução até dois pontos de controle localizados na parte baixa da área do projeto e dali até a planta de tratamento de lixiviados. O sistema de manejo consta dos seguintes componentes:

- Um sistema de coleta de lixiviados no fundo de cada trincheira (capa drenante e filtros de drenagem)
- Sistema de condução de lixiviados até o ponto de controle, conformado por canais recobertos de pedra e geo membrana.
- Um ponto de controle para o armazenamento temporal dos lixiviados no qual se prestará serviço para as primeiras seis trincheiras. Um segundo ponto de controle que se prestará serviço para o resto das trincheiras, no qual se construirá da forma posterior, quando entre em operação a trincheira sete.
- Sistema de tratamento de lixiviados, composto por dois reatores UASB.

Um umedecedor de plantas flotantes e um umedecedor de plantas emergentes. O tratamento por umedecedores combina processos físico-químicos como são a sedimentação, filtração, precipitação química e intercâmbio iônico que ajuda na remoção de partículas e sólidos livres, desta maneira as plantas removem substâncias por processos biológicos. O Nitrogênio é utilizado pelas algas e outras plantas para fixar e incorporar na planta. As substâncias voláteis são emitidas para a atmosfera na forma de gás enquanto outras substâncias são transformadas por processos microbiológicos e químicos no fundo dos umedecedores. O requerimento básico para a implementação desta tecnologia é a grande superfície do terreno necessário e a energia solar para garantir a qualidade do tratamento. Nestes sistemas são reportadas eficiências de remoção de 85 a 90% o que corresponde a DBO e 80% para DQO. Os umedecedores com altos tempos de retenção hidráulicos tem muito boa capacidade para remover diferentes classes de substâncias e suportar variações de carga.

Estes sistemas se constroem durante a adequação inicial do terreno e prévio no início da operação normal do aterro.

### **3.2.6 - Sistema de Tratamento de Águas Residuais Domésticas**

As águas residuais geradas na casinha administrativa são conduzidas ao poço séptico e campo de infiltração disposto para seu tratamento. O caudal médio típico por trabalhador utilizado para o projeto do sistema é de 100 a 150 l/Trabalhador-dia.

O sistema de tratamento de águas residuais domésticas consiste em um poço séptico e um campo de infiltração, este último está conformado por uma série de valas estreitas pouco profundas, cheias com um meio poroso empregado para distribuir com maior uniformidade o material. O efluente se aplica intermitentemente nos sistemas de infiltração o qual penetra o terreno através das superfícies laterais das valas.

### **3.2.7 - Exames Laboratoriais**

Para estabelecer um modelo matemático que represente o que de fato está acontecendo no interior do aterro sanitário, pensou-se analisar em laboratório o que fosse possível nas águas lixiviadas, com a pura intenção de matematizar e quantificar através de parâmetros ambientais, desta forma amostras e contra amostras foram encaminhadas através da Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade de Letícia Colômbia ao Instituto de Higiene Ambiental S.A.S estabelecido na cidade de Bogotá.

As amostras foram colhidas em 22 de dezembro de 2015 e submetidas a análises pelo método analítico em 08 de janeiro de 2016, tais amostras foram colhidas em seis pontos diferentes, assim especificados:

- 1º ponto: Saída do lixiviado antes do Reator UASB (águas da primeira lagoa, lagoa de recepção do lixiviado);
- 2º ponto: Saída do UASB antes da lagoa de tratamento com vegetais;
- 3º ponto: Saída do sistema (após a água sair da lagoa de tratamento com vegetais) antes do ponto de vertimento;
- 4º ponto: águas do igarapé acima do ponto de vertimento das águas;
- 5º ponto: ponto de diluição das águas da lagoa de tratamento com vegetais, com as águas do igarapé;
- 6º ponto: águas do igarapé abaixo do ponto de vertimento das águas.

O esquema apresenta na Figura 3.8 mostra os pontos da coleta de amostras e contra amostras:

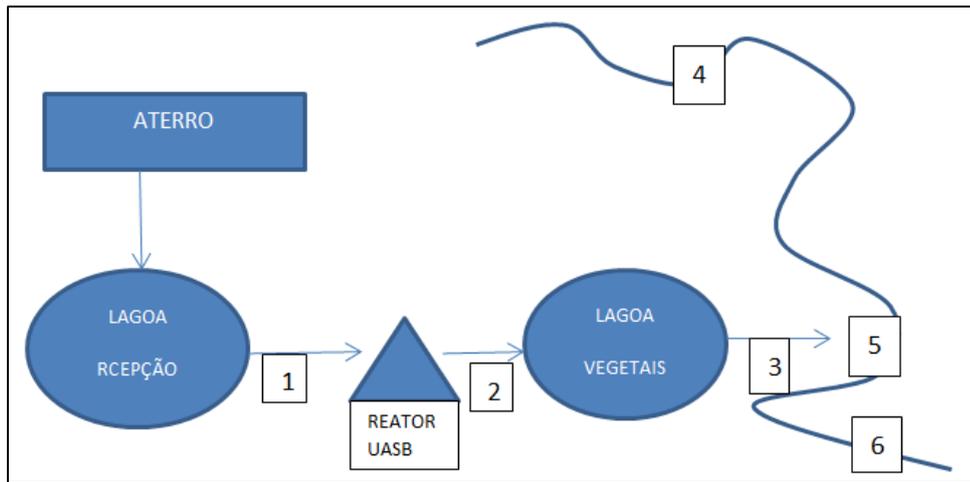


Figura 3.8 - Esquema amostras no aterro e igarapé.

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### **4.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ANÁLISE DE AMOSTRAS E CONTRA AMOSTRAS**

Buscando efetivamente contribuir de forma significativa com a municipalidade, foram pensadas formas que embase a discussão e ofereça valores que atendam a expectativa do desenvolvimento de uma política ambiental acertada e dinâmica, onde haja o interesse dos da sociedade geral em desenvolver políticas de preservação e proteção ambiental.

Oferecer alternativas politicamente corretas e socialmente adequadas que possam amenizar o impacto ambiental e garantam a sustentabilidade é um dos objetivos propostos neste trabalho. Para a amenização dos impactos foi feita a análise de lixiviados e águas superficiais no aterro sanitário da cidade de Letícia Colômbia, que é cidade gêmea com Tabatinga no lado brasileiro, em lagoas de absorção, lagoas de vegetais, em pontos antes e depois de reatores UASB e em cursos de águas que permeiam pela floresta e singram as florestas.

Também é importante relatar que as cidades brasileira e colombiana, possuem mesmo estilo de vida, população equiparada e, portanto, há de se compreender que os resultados aqui apresentados são peculiares as duas cidades. Em outras palavras os resíduos sólidos são formados por madeira, pedra, cerâmica, têxteis, metais, borracha, plástico, vidro, metal, papel, papelão, fração pastosa.

Dentre as diversas possibilidades foi escolhida a da descontaminação do meio ambiente, cujas análises são tabeladas a partir da coleta e análises de amostras colhidas em diversos pontos. A partir dos trabalhos de Chaveco (2015) é possível estabelecer equações que permitam atribuir números nos processos de descontaminação. Após a tabulação estabeleceremos a sentença matemática que permitirá aferir níveis de contaminação, eficiência e eficácia nos diversos valores aqui estabelecidos.

**Ponto 1: Aterro sanitário Prefeitura de Leticia Colômbia**

**Data de análise: 08.01.2016**

**Local: Saída de lixiviado do aterro sanitário para a primeira lagoa antes de passar ao reator UASB**

Tabela 4.1 - Ponto 1: Saída de lixiviado para a primeira lagoa antes de passar ao reator UASB.

PARÂMETRO	UNIDADES	RESULTADO	METODO ANALITICO
AZEITES E GRAXAS	mg/l DE A e G	31,00	SM 5520 B
ALCALINIDADE TOTAL	mg/l de $\text{CaCO}_3$	2119,23	SM 2320 B
ARSENIO(SUB)	mg/l de As	<0,010	SM 3114 B
CADMIO	mg/l de Cd	<0,01	SM 3111 B
COLIFORMES FECALIS	NMP/100ml	$2 \times 10^9$	SM 9223 B
COLIFORMES TOTAIS	NMP/100ml	$12 \times 10^9$	SM 9223 B
CONDUTIVIDADE	$\mu\text{S/cm}$	101,3	SM 2510 B
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENIO	mg/l de $\text{O}_2$	2370,7	SM 5210 B-4500-OG
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENIO	mg/l de $\text{O}_2$	4657,2	SM 5520 D
DUREZA TOTAL	mg/l de $\text{CaCO}_3$	15,03	SM 2340 C
FOSFATOS	mg/l de $\text{PO}_4^{3-}$	39,87	SM 4500 P D
FERRO	mg/l de Fe	11,15	SM 3111 B
MERCÚRIO(SUB)	mg/l de Hg	<0,002	SM 3112 B
NIQUEL	mg/l de Ni	0,24	SM 3111 B
NITRATOS	mg/l de $\text{NO}_3 - \text{N}$	48,02	SM 4500 NO3-B
NITRITOS	mg/l de $\text{NO}_2 - \text{N}$	0,344	SM 4500 NO2-B
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	mg/l de $\text{O}_2$	<0,010	SM 4500 -0 C
PH	unidades de PH	7,25	SM 4500-H+B
CHUMBO	mg/l de Pb	<0,010	SM 3111 B
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	mg/l de SST	414,3	SM 2540 D
SULFATOS	mg/l de $\text{SO}_4^{2-}$	212,19	SM 4500 S042-E
TEMPERATURA	$^\circ\text{C}$	19,8	SM 2550 B
TURBIDEZ	NTU	8,5	SM 2130 B
ZINCO	mg/l de Zn	3,54	SM 3111 B

Fonte: INSTITUTO DE HIGIENE AMBIENTAL S.A.S - BOGOTÁ-COLÔMBIA.

**Ponto 2: Aterro sanitário Prefeitura de Leticia Colômbia****Data de análise: 08.01.2016****Local: Saída do UASB antes da lagoa de tratamento com vegetais**

Tabela 4.2 - Ponto 2: Saída de lixiviado para a primeira lagoa antes de passar ao reator UASB.

PARÂMETRO	UNIDADES	RESULTADO	METODO ANALITICO
AZEITES E GRAXAS	mg/l DE A e G	<5,0	SM 5520 B
ALCALINIDADE TOTAL	mg/l de CaCO <sub>3</sub>	124,8	SM 2320 B
ARSENIO(SUB)	mg/l de As	<0,010	SM 3114 B
CADMIO	mg/l de Cd	<0,01	SM 3111 B
COLIFORMES FECAIS	NMP/100ml	12X10 <sup>9</sup>	SM 9223 B
COLIFORMES TOTAIS	NMP/100ml	88X10 <sup>9</sup>	SM 9223 B
CONDUTIVIDADE	µS/cm	196,7	SM 2510 B
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENIO	mg/l de O <sub>2</sub>	30,5	SM 5210 B-4500-OG
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENIO	mg/l de O <sub>2</sub>	65,42	SM 5520 D
DUREZA TOTAL	mg/l de CaCO <sub>3</sub>	<6,0	SM 2340 C
FOSFATOS	mg/l de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	1,83	SM 4500 P D
FERRO	mg/l de Fe	1,51	SM 3111 B
MERCÚRIO(SUB)	mg/l de Hg	<0,002	SM 3112 B
NIQUEL	mg/l de Ni	<0,10	SM 3111 B
NITRATOS	mg/l de NO <sub>3</sub> - N	3,53	SM 4500 NO3-B
NITRITOS	mg/l de NO <sub>2</sub> - N	0,134	SM 4500 NO2-B
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	mg/l de O <sub>2</sub>	5,62	SM 4500 -0 C
PH	unidades de PH	7,54	SM 4500-H+B
CHUMBO	mg/l de Pb	<0,10	SM 3111 B
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	mg/l de SST	<20,0	SM 2540 D
SULFATOS	mg/l de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<0,10	SM 4500 S042-E
TEMPERATURA	°C	20,1	SM 2550 B
TURBIDEZ	NTU	6,51	SM 2130 B
ZINCO	mg/l de Zn	0,13	SM 3111 B

Fonte: INSTITUTO DE HIGIENE AMBIENTAL S.A.S - BOGOTÁ-COLÔMBIA.

### Ponto 3: Aterro sanitário Prefeitura de Leticia Colômbia

Data de análise: 08.01.2016

Local: Saída do sistema (após a água sair da lagoa de tratamento com vegetais) antes do ponto de vertimento.

Tabela 4.3 - Ponto 3: Saída de lixiviado para a primeira lagoa antes de passar ao reator UASB.

PARÂMETRO	UNIDADES	RESULTADO	METODO ANALITICO
AZEITES E GRAXAS	mg/l DE A e G	<5,0	SM 5520 B
ALCALINIDADE TOTAL	mg/l de CaCO <sub>3</sub>	143,84	SM 2320 B
ARSENIO(SUB)	mg/l de As	<0,010	SM 3114 B
CADMIO	mg/l de Cd	<0,01	SM 3111 B
COLIFORMES FECAIS	NMP/100ml	12X10 <sup>9</sup>	SM 9223 B
COLIFORMES TOTAIS	NMP/100ml	88X10 <sup>9</sup>	SM 9223 B
CONDUTIVIDADE	µS/cm	151,7	SM 2510 B
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENIO	mg/l de O <sub>2</sub>	51,3	SM 5210 B-4500-OG
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENIO	mg/l de O <sub>2</sub>	139,7	SM 5520 D
DUREZA TOTAL	mg/l de CaCO <sub>3</sub>	<6,0	SM 2340 C
FOSFATOS	mg/l de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,88	SM 4500 P D
FERRO	mg/l de Fe	2,7	SM 3111 B
MERCÚRIO(SUB)	mg/l de Hg	<0,002	SM 3112 B
NIQUEL	mg/l de Ni	<0,10	SM 3111 B
NITRATOS	mg/l de NO <sub>3</sub> - N	2,72	SM 4500 NO3-B
NITRITOS	mg/l de NO <sub>2</sub> - N	0,024	SM 4500 NO2-B
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	mg/l de O <sub>2</sub>	7,94	SM 4500 -0 C
PH	unidades de PH	6,41	SM 4500-H+B
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	mg/l de SST	20	SM 2540 D
SULFATOS	mg/l de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<0,10	SM 4500 S042-E
TEMPERATURA	°C	20,3	SM 2550 B
TURBIDEZ	NTU	7,5	SM 2130 B
ZINCO	mg/l de Zn	0,05	SM 3111 B

Fonte: INSTITUTO DE HIGIENE AMBIENTAL S.A.S – BOGOTÁ-COLÔMBIA.

#### Ponto 4: Aterro sanitário Prefeitura de Leticia Colômbia

Data de análise: 08.01.2016

Local: Águas do igarapé acima do ponto de vertimento das águas.

Tabela 4.4 - Ponto 4: Águas do igarapé acima do ponto de vertimento das águas.

PARÂMETRO	UNIDADES	RESULTADO	METODO ANALITICO
CONDUTIVIDADE	µS/cm	36,20	SM 2510 B
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENIO	mg/l de $O_2$	8	SM 5210 B-4500-OG
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENIO	mg/l de $O_2$	<32,0	SM 5520 D
FOSFATOS	mg/l de $PO_4^{3-}$	<0,06	SM 4500 P D
NITRATOS	mg/l de $NO_3 - N$	1,29	SM 4500 NO3-B
NITRITOS	mg/l de $NO_2 - N$	0,01	SM 4500 NO2-B
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	mg/l de $O_2$	7,74	SM 4500 -0 C
PH	unidades de PH	6,40	SM 4500-H+B
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	mg/l de TDS	<50,0	SM 3111 B
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	mg/l de SST	20,7	SM 2540 D
TEMPERATURA	°C	19,8	SM 2550 B
TURBIDEZ	NTU	1,1	SM 2130 B

Fonte: INSTITUTO DE HIGIENE AMBIENTAL S.A.S - BOGOTÁ-COLÔMBIA.

#### Ponto 5: Aterro sanitário Prefeitura de Leticia Colômbia

Data de análise: 08.01.2016

Local: Ponto de diluição das águas da lagoa de tratamento com vegetais, com as águas do igarapé.

Tabela 4.5 - Ponto 5: Ponto de diluição das águas da lagoa de tratamento com vegetais, com as águas do igarapé.

PARÂMETRO	UNIDADES	RESULTADO	METODO ANALITICO
CONDUTIVIDADE	µS/cm	383,00	SM 2510 B
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENIO	mg/l de $O_2$	35,2	SM 5210 B-4500-OG
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENIO	mg/l de $O_2$	84,7	SM 5520 D
FOSFATOS	mg/l de $PO_4^{3-}$	0,06	SM 4500 P D
NITRATOS	mg/l de $NO_3 - N$	2,07	SM 4500 NO3-B
NITRITOS	mg/l de $NO_2 - N$	0,026	SM 4500 NO2-B
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	mg/l de $O_2$	7,15	SM 4500 -0 C
PH	unidades de PH	7,47	SM 4500-H+B
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	mg/l de TDS	277	SM 3111 B
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	mg/l de SST	<20,0	SM 2540 D
TEMPERATURA	°C	20,2	SM 2550 B
TURBIDEZ	NTU	1,8	SM 2130 B

Fonte: INSTITUTO DE HIGIENE AMBIENTAL S.A.S - BOGOTÁ-COLÔMBIA.

## Ponto 6: Aterro sanitário Prefeitura de Leticia Colômbia

Data de análise: 08.01.2016

Local: Águas do igarapé abaixo do ponto de vertimento das águas.

Tabela 4.6 - Ponto 6: águas do igarapé abaixo do ponto de vertimento das águas.

PARÂMETRO	UNIDADES	RESULTADO	METODO ANALITICO
CONDUTIVIDADE	$\mu\text{S/cm}$	75,40	SM 2510 B
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENIO	mg/l de $O_2$	10,4	SM 5210 B-4500-OG
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENIO	mg/l de $O_2$	<32,0	SM 5520 D
FOSFATOS	mg/l de $PO_4^{3-}$	<0,06	SM 4500 P D
NITRATOS	mg/l de $NO_3 - N$	0,97	SM 4500 NO3-B
NITRITOS	mg/l de $NO_2 - N$	<0,001	SM 4500 NO2-B
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	mg/l de $O_2$	6,51	SM 4500 -0 C
PH	unidades de PH	6,48	SM 4500-H+B
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	mg/l de TDS	<50,0	SM 3111 B
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	mg/l de SST	<20,0	SM 2540 D
TEMPERATURA	$^{\circ}\text{C}$	20,0	SM 2550 B
TURBIDEZ	NTU	1,7	SM 2130 B

Fonte: INSTITUTO DE HIGIENE AMBIENTAL S.A.S - BOGOTÁ-COLOMBIA.

A seguir são mostradas na Figura 4.1, o momento em que são coletadas nos pontos acima e abaixo do desague as amostras para os testes laboratoriais.



Figura 4.1 - Coleta de água para testes laboratoriais nas proximidades do aterro sanitário da cidade de Leticia-Colômbia.

Na Figura 4.2, pode ser visto fotos do aterro sanitário da cidade colombiana de Leticia, que começou a funcionar em 2014 e tem uma previsão de funcionamento para aproximadamente 30 anos.



Figura 4.2 - Aterro da cidade de Leticia Colômbia em pleno funcionamento.

#### 4.2 - METAIS PESADOS

Quando analisamos lixiviados ou chorume metal pesado é um dos elementos obrigatório, uma vez que é associado como uma substância tóxica, geralmente proveniente de um descarte inadequado de um rejeito no meio ambiente. Levando-se em consideração que a conceituação de metal pesado envolve química e meio ambiente, assuntos abordados no dia a dia nas escolas e na mídia, os metais pesados tornam-se um importante tema contextualizado.

Diversos pesquisadores e autores reportaram definições para metal pesado. DUFFUS (2002), em um relatório técnico apresentado à União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), relata os resultados de uma extensa revisão bibliográfica sobre as definições de metal pesado e suas propriedades.

Dentre os critérios de análise de toxicidade, o mais utilizado é a massa específica, propriedade muito utilizada para definir um metal pesado.

Existem argumentos que indicam a necessidade de uma articulação multi/interdisciplinar de conceitos para melhor descrever a atual compreensão dos metais pesados. Levam-se em consideração que os impactos ao ambiente e à saúde humana decorrentes do descarte de metais, fizeram com que fatores ambientais e toxicológicos fossem associados à definição de metal pesado.

Na busca de proteger humanos e o meio ambiente, a toxicologia ciência que estuda os efeitos nocivos das interações das substâncias com os seres vivos, constatou que cada metal pode vir a apresentar um efeito toxicológico específico sobre determinado ser vivo. Além disso, outros fatores, como biodisponibilidade e espécie química, influenciam na toxicidade de um elemento químico (VALLS e LORENZO, 2002).

BARRA *et al* (2000) afirma que um fator que afeta significativamente a toxicidade de um metal é sua espécie, que consiste na forma química na qual esse elemento se encontra. Em um estudo sobre os efeitos de um metal ao ambiente ou à saúde humana, a determinação de sua concentração total é um parâmetro importante, porém limitado, pois as propriedades variarão em função da forma química em que o elemento está presente. Na avaliação dos riscos que envolvem a presença de um determinado metal, é fundamental levar em consideração a forma de transporte e a biodisponibilidade, fatores que dependerão de sua espécie

BAIRD (2000) diz que em corpos d'água, a toxicidade de um metal varia em função do pH e dos teores de carbono dissolvidos e em suspensão, visto que os metais interagem com o carbono e seus compostos, formando complexos ou sendo adsorvidos.

BAIRD (2000) também afirma que a forma mais tóxica de um metal não é a livre, que quando este se encontra como cátion ou ligado a cadeias carbônicas tem maior toxicidade. Nos organismos, o principal mecanismo de ação tóxica dos metais decorre de sua afinidade pelo enxofre. Assim, quando presentes em suas formas catiônicas, os metais reagem com o radical sulfidril (-SH) presente na estrutura proteica das enzimas, alterando suas propriedades, o que pode resultar em consequências danosas ao metabolismo dos seres vivos.

O mercúrio é um bom exemplo. Sua principal espécie catiônica ( $Hg^{2+}$ ) está associada às partículas em suspensão que se depositarão em sedimentos nos corpos d'água. Nos sedimentos, micro-organismos convertem esse cátion em dimetilmercúrio,  $Hg(CH_3)_2$ , o qual, em função do pH do meio, é convertido em metilmercúrio,  $HgCH_3$ . Em função de sua lipossolubilidade em ambientes aquáticos, ao passar pelas brânquias

dos peixes, o metilmercúrio se difunde e acumula no tecido adiposo, em um fenômeno conhecido por bioconcentração. No interior do organismo, o metilmercúrio exercerá sua ação tóxica, interagindo com os grupos sulfidrila das enzimas.

Da mesma maneira que o mercúrio, outros metais pesados têm suas formas mais tóxicas quando ligados a grupamentos carbônicos. Um exemplo é o tetrametilchumbo,  $Pb(CH_3)_4$ , um composto orgânico que já foi muito usado como aditivo da gasolina, mas em função de sua elevada toxicidade, deixou de ser utilizado é o que afirma MOREIRA e MOREIRA (2004).

A presença de um metal em um corpo d'água pode afetar os seres que ali habitam de duas formas básicas: pode ser tóxico ao organismo ou pode ser bioacumulado, tendo seu efeito potencializado ao longo da cadeia alimentar.

Para BAIRD (2002) o evento marcante em termos de contaminação por metais pesados e que exemplifica a biomagnificação foi registrado na década de 1950 na Baía de Minamata (Japão). Nesse local, o contínuo descarte de resíduos contendo mercúrio contaminou os peixes e, em consequência, milhares de pessoas que se alimentavam desses peixes.

Os metais são encontrados em despejos de diferentes tipos de indústrias, como mineradoras, galvanoplastia, curtumes, lixões, aterros sanitários, manufaturas de produtos eletrônicos. Em relação aos metais, na Tabela 4.7, são apresentados os limites estabelecidos pela legislação brasileira para o descarte de efluentes e de potabilidade de água para consumo humano. Apesar dos efeitos tóxicos diferirem em relação às espécies de um metal, a legislação faz menção apenas à concentração total de cada metal.

Tabela 4.7 - Limites estabelecidos pela legislação brasileira para o descarte de efluentes e de potabilidade de água para consumo humano.

<b>Metal</b>	<b>Concentração (mg/L) para: Lançamento de efluente (1)</b>	<b>Concentração (mg/L) para: Potabilidade de água (2)</b>
Alumínio	-	0,2
Bário	5,0	0,7
Cádmio	0,2	0,005
Chumbo	0,5	0,01
Cobre	1,0	2,0
Cromo	0,5	0,05
Estanho	4,0	-

<b>Metal</b>	<b>Concentração (mg/L) para: Lançamento de efluente (1)</b>	<b>Concentração (mg/L) para: Potabilidade de água (2)</b>
Ferro	15,0	0,3
Manganês	1,0	0,1
Mercúrio	0,01	0,001
Níquel	2,0	-
Prata	0,1	-
Sódio	-	200,0
Zinco	5,0	5,0

Fonte: BAIRD (2002).

A seguir tabulamos os metais pesados presentes nas águas dos pontos das amostras cedidos pela Prefeitura da cidade de Letícia, vale lembrar que as autoridades ambientais buscaram compreender os processos de retenção e remoção das águas presentes na região do aterro sanitário, em suas lagoas, de recebimento e de vegetais, e logo após a análise em pontos diferentes no curso do igarapé que corre dentre a selva amazônica, que em dado momento recebe as águas que receberam tratamento ao longo das lagoas e do reator UASB. Vejamos agora na Tabela 4.8 os destaques do teor de metais analisados.

Tabela 4.8 - Resultado de metais pesados em corpo d'água.

Metal	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	EFLUENT E MG/L	AGUAS MG/L
CADMIO	<0,01	<0,01	<0,01	0,0	0,0	0,0	0,2	0,005
CHUMBO	<0,010	<0,10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,01
FERRO	11,15	<0,002	2,7	0,0	0,0	0,0	15,0	0,3
MERCÚRIO	<0,002	<0,10	<0,002	0,0	0,0	0,0	0,01	0,001
NIQUEL	0,24	3,53	<0,10	0,0	0,0	0,0	2,0	-

Fonte: INSTITUTO DE HIGIENE AMBIENTAL S.A.S – BOGOTÁ-COLÔMBIA.

Nota-se que dos cinco metais tabulados das águas dos efluentes às águas devolvidas para a natureza, Há um estado de alerta no ponto3, onde os índices de cádmio, ferro, mercúrio e níquel estão acima dos índices estabelecidos na legislação

brasileira para potabilidade. Neste caso é possível ajustar o modelo matemático para representar a equação das transformações ao longo das lagoas e reator.

#### 4.3 - DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO E DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO

Lixiviados são considerados efluentes altamente poluentes, por esta razão são necessários cuidados especiais quanto ao tratamento e a eliminação com segurança ambiental. Dentre outras formas de tratamento, DBO-Demanda Bioquímica de Oxigênio e DQO-Demanda Química de Oxigênio, são parâmetros utilizados para inferir indiretamente sobre o grau de poluição de um corpo d'água. Sabe-se que a matéria orgânica presente nos águas são as principais causadoras da poluição, devido ao consumo de oxigênio dissolvido que são utilizados nos processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. A DBO relaciona a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea. É uma indicação indireta, portanto, do carbono orgânico biodegradável. Por outro lado DQO mede o consumo de oxigênio ocorrido em função da oxidação química da matéria orgânica. A relação entre os dois parâmetros permite estabelecer os índices de matéria orgânica presente nas águas e a análise dessa relação determinar os níveis de poluição.

De maneira análoga aos metais, também tabulamos os resultados para DBO e DQO aferidas pelo Instituto de Higiene Ambiental S.A.S – Bogotá Colombia, fornecidos pela Alcaldia da cidade de Leticia-Colômbia, conforme dispomos a seguir:

Tabela 4.9 - Resultado DBO e DQO em corpo d'água.

	Unidades	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6
<b>DBO</b>	mg/l de O <sub>2</sub>	2370,7	30,5	51,3	8	35,2	10,4
<b>DQO</b>	mg/l de O <sub>2</sub>	4657,2	65,42	139,7	<32,0	84,7	<32,0

Fonte: INSTITUTO DE HIGIENE AMBIENTAL S.A.S – BOGOTÁ-COLÔMBIA.

Há muito que investigar sobre a demanda química de oxigênio e também demanda bioquímica de oxigênio. Sabe-se que a matéria orgânica presente na água absorve o oxigênio dissolvido o que diminui a vida matando peixes entre outros seres.

Nesse sentido, ao analisar os resultados do ponto 2, percebe-se a eficiência do reator UASB, que reduz consideravelmente os índices da demanda, aproximando-os do ponto 5, que é o ponto acima do desague das lagoas de tratamento. Compreender as reações a fundo é a tarefa da investigação constante. Neste trabalho, buscou-se compreender a eficiência do aterro acoplado aos processos de tratamento e por fim, estabelecer um modelo que represente o fenômeno da despoluição em cada ponto do processo e aguçar a disposição de continuar investigando e melhorando a saúde do ambiente.

#### 4.4 - MODELO PARA ELIMINAÇÃO DA POLUIÇÃO

Quando se deseja eliminar a poluição de determinados desfechos, que poderiam ser de forma líquida, sólida ou gasosa; deve-se pensar em como proceder para lograr nossos objetivos sem atingir o meio ambiente, pois não se deve eliminar uma forma de contaminante e introduzir outro que até poderia ser mais agressivo ainda. Em geral esses processos de despoluição são apresentados de forma combinada, pois se tem uma determinada matéria que está contaminada e se deseja enviar à natureza com a menor afetação possível para o meio.

Nessa direção existem experiências como a praticada na despoluição do rio Tietê em São Paulo onde por meio de determinadas plantas consegue-se eliminar os poluentes. Por outra parte, é comum trabalhar usando lagoas de oxidação para eliminação de contaminantes dos desfechos líquidos saídos da população, onde fazendo uso de substâncias químicas e em ocasiões produtos naturais se consegue despoluir em grandes quantidades a parte líquida, e com a retirada dos sólidos em geral são atingidos esses objetivos.

Apresentamos a seguir o caso de duas lagoas de oxidação, onde em cada uma delas é aplicado um procedimento de despoluição. Aqui se considera como o compartimento um a primeira lagoa; o compartimento dois é a segunda lagoa e o compartimento três está dado pela saída do material ao meio ambiente; esse procedimento está sendo usado na cidade de Leticia capital do estado do Amazonas colombiano. É bom que se perceba que no nosso modelo aparecerão os despoluentes que serão colocados em ambas as lagoas, além disso, se considera que não existe outro subministro de material contaminado a partir de esse momento inicial, assim temos que um possível modelo teria a seguinte forma:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -a_{12}x_1 - \alpha_1x_1 \\ \frac{dx_2}{dt} = a_{12}x_1 - a_{23}x_2 + a_{32}x_3 - \alpha_2x_2 \\ \frac{dx_3}{dt} = a_{23}x_2 - a_{32}x_3 \end{cases} \quad (4.1)$$

Aqui  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  representam os coeficientes de despoluição, então fica definido o problema de Cauchy, dado pelo sistema (4.1) com as condições iniciais,  $x_1(0) = N$ ,  $x_2(0) = 0$ ,  $x_3(0) = 0$ ; nesse caso se considera que no momento inicial toda a contaminação está concentrada na primeira lagoa. Se consideramos que  $X(t)$  representa a concentração total da poluição se teria que em um momento  $t$  qualquer, será valido o seguinte balance de massa:

$$X(t) = x_1(t) + x_2(t) + x_3(t) = N.$$

Com relação a variação da concentração de poluentes, fazendo uso das equações do sistema, tem-se,

$$\frac{dX}{dt} = \frac{dx_1}{dt} + \frac{dx_2}{dt} + \frac{dx_3}{dt} = -\alpha_1x_1 - \alpha_2x_2 < 0$$

Isso indica que o tratamento vai eliminando a concentração dos poluentes, e em dependência da efetividade do processo poderiam ser atingidos nossos objetivos.

**Exemplo:** Dado o seguinte sistema de compartimento, que modela a despoluição por meio do uso de duas lagoas de oxidação, determinar as soluções, e de conclusões do que acontecerá a partir de um tempo suficientemente grande:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = -x_1 \\ \frac{dx_2}{dt} = x_1 - 2x_2 + x_3 \\ \frac{dx_3}{dt} = x_2 - x_3 \end{cases}$$

A equação característica desse sistema tem a forma:

$$\begin{vmatrix} -1-\lambda & 0 & 0 \\ 1 & -2-\lambda & 1 \\ 0 & 1 & -1-\lambda \end{vmatrix} = 0 \Leftrightarrow (-1-\lambda)[(-2-\lambda)(-1-\lambda)-1] = 0$$

Assim os valores próprios são:

$$\lambda_1 = -1, \lambda_2 = \frac{-3 + \sqrt{5}}{2} \text{ e } \lambda_3 = \frac{-3 - \sqrt{5}}{2}$$

Nesse caso a solução do sistema é:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = C_1 h^{(1)} e^{\lambda_1 t} + C_2 h^{(2)} e^{\lambda_2 t} + C_3 h^{(3)} e^{\lambda_3 t} \quad (4.2)$$

Onde  $h^{(1)}$ ,  $h^{(2)}$  e  $h^{(3)}$  são os vetores próprios associados aos valores próprios  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  e  $\lambda_3$ . Pelo sinal de  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  e  $\lambda_3$ ; se deduz que quando  $t$  cresça suficientemente a poluição diminuirá consideravelmente, mas isso não vai ser assim sempre, pois pelo valor de  $\alpha_i$  ( $i=1,2$ ) se podem obter diferentes conclusões. Nesse caso tem-se que,  $\alpha_1 = 0$  e  $\alpha_2 = 1$ .

Determinemos os vetores próprios associados aos valores próprios do sistema, assim temos que para  $\lambda_1 = -1$ , se tem o seguinte sistema de equações para determinar o vetor próprio associado,

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{pmatrix} = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} 0 = 0 \\ h_1 - h_2 + h_3 = 0 \\ h_2 = 0 \end{cases}$$

Assim tem-se que,

$$h^{(1)} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}$$

Para  $\lambda_2 = \frac{-3 + \sqrt{5}}{2}$ , se tem que,

$$\begin{bmatrix} \frac{1-\sqrt{5}}{2} & 0 & 0 \\ 1 & \frac{-1-\sqrt{5}}{2} & 1 \\ 0 & 1 & \frac{1-\sqrt{5}}{2} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} h_4 \\ h_5 \\ h_6 \end{pmatrix} = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} h_4 = 0 \\ h_4 + \frac{-1-\sqrt{5}}{2} h_5 + h_6 = 0 \\ h_5 + \frac{1-\sqrt{5}}{2} h_6 = 0 \end{cases}$$

De aqui obtém-se o vetor,

$$h^{(2)} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 1 + \sqrt{5} \end{pmatrix}$$

Para  $\lambda_3 = \frac{-3 - \sqrt{5}}{2}$ , se tem que,

$$\begin{bmatrix} \frac{1 + \sqrt{5}}{2} & 0 & 0 \\ 1 & \frac{-1 + \sqrt{5}}{2} & 1 \\ 0 & 1 & \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} h_7 \\ h_8 \\ h_9 \end{pmatrix} = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} h_7 = 0 \\ h_8 + \frac{-1 + \sqrt{5}}{2} h_8 + h_9 = 0 \\ h_8 + \frac{1 - \sqrt{5}}{2} h_9 = 0 \end{cases}$$

Daqui obtém-se o vetor,

$$h^{(3)} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 1 - \sqrt{5} \end{pmatrix}$$

De (4.2) se deduz que a solução geral do sistema é,

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = C_1 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix} e^{-t} + C_2 \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 1 + \sqrt{5} \end{pmatrix} e^{\frac{-3 + \sqrt{5}}{2}t} + C_3 \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 1 - \sqrt{5} \end{pmatrix} e^{\frac{-3 - \sqrt{5}}{2}t}$$

Por tanto concluindo-se que,

$$\begin{cases} x_1 = C_1 e^{-t} \\ x_2 = 2C_2 e^{\frac{-3 + \sqrt{5}}{2}t} + 2C_3 e^{\frac{-3 - \sqrt{5}}{2}t} \\ x_3 = -C_1 e^{-t} + (1 + \sqrt{5})C_2 e^{\frac{-3 + \sqrt{5}}{2}t} + (1 - \sqrt{5})C_3 e^{\frac{-3 - \sqrt{5}}{2}t} \end{cases}$$

Essa solução confirma o que tínhamos falado antes com relação a eliminação da poluição, pois a solução nesse caso diminui com o tempo.

#### 4.5 - EDUCAÇÃO CIENTIFICA-SUSTENTABILIDADE, UMA FORMA DE CONSCIENTIZAR

A partir da realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano - *United Nations Conference on the Human Environment* (UNCHE), em junho de 1972 na cidade de Estocolmo, o mundo passou a ouvir e disseminar a

palavra sustentabilidade, cuja origem latina “*sustentare*” significa sustentar, favorecer, conservar. No entanto outro sentido ou sentimento vem sendo dado à sustentabilidade, qual seja, tem sido a insônia de muita gente em todo planeta e não é para menos, os efeitos do desequilíbrio afloram em todos os lugares possíveis e imagináveis, assustam e trazem desesperança. Diversos setores, empresas, governos, educandários, sociedade civil organizada tem discutido com profundidade o assunto.

FIORILLO (2012, pg.22) nos chama a atenção para o momento em que vivemos uma situação caótica e alarmante impulsionado pelo avanço científico e tecnológico, que viabilizou e estimulou novas classes de consumo e novos mercados, o que na maioria das vezes ocorreu sem que fosse estruturado ou pensado mecanismos de preservação ou recuperação do meio ambiente, não só para melhorar a qualidade de vida das gerações presentes, mas principalmente, com o intuito de possibilitar a existência digna das futuras gerações.

A sustentabilidade está relacionada com a capacidade que um grupo de pessoas possui de se manter em um determinado ambiente sem lhe causar danos e tem em seu bojo o comprometimento de preservar os meios naturais garantindo o futuro do ambiente e das espécies, principalmente da espécie humana. Pensando em melhores soluções para a preservação da humanidade de maneira inteligente e comprometida, a discussão chega ao Brasil através da Rio 92. E quase 25 anos após os debates permeiam por diversos setores entre os quais as escolas.

Relatam-se as atividades desenvolvidas por alunos e professores da Escola Municipal Professor Ambrosio Bemerguy, como mostra a Figura 4.3, na cidade de Tabatinga no Estado do Amazonas. Trata-se de uma escola da rede municipal do Ensino Fundamental, que a partir da discussão de projetos a serem desenvolvidos como atividade suporte, escolheu trabalhar a sustentabilidade, mostrando os perigos, efeitos, atos, ações, reações, entre outras situações que procuraremos abordar, tal projeto foi escolhido pelo Ministério do Meio Ambiente para ser incentivado com recursos que incentivam a pesquisa e o conhecimento.

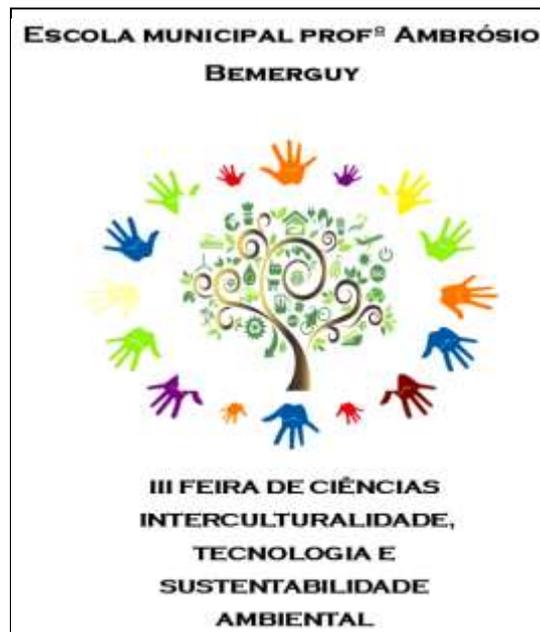


Figura 4.3 - Folder de Escola Municipal aborda Educação Ambiental.

O aspecto cultural da educação ambiental engloba a diversidade de cultura e suas posições, para tanto os agentes envolvidos necessitam esclarecimentos, incentivos ao processo participativo, compreender a dimensão do problema de maneira que venham se posicionar quanto a medidas e diretrizes tomadas pela esfera governamental ou por quem de direito.

Não é novidade para ninguém que a perpetuação da raça humana, entre outros fatores não menos importante, depende da conservação do ambiente, dos recursos naturais, dos oceanos, rios, lagos, florestas, matas, igarapés.

A Lei 11.445 de 5 de janeiro de 2007, que dispõe das diretrizes nacionais para o saneamento básico precisa ser observada e efetivada com vistas a reorganização de espaços, entretanto para a melhor vivência, coerência e execução, deve sair da normatização, da retórica e do verboso, partindo para a cientificidade, o discurso sóbrio e comedido, que culmina com o argumento lógico precisa estar embasado no saber.

Trazer a discussão para a escola significa segundo DEMO (2010), ultrapassar o instrucionismo ao mesmo tempo em que desenvolve habilidades científicas nos educadores, além de focar no ambiente escolar a educação científica, pois neste espaço são armados ambientes adequados de manejo da linguagem e experimentação, cujo objetivo é o de trabalhar com os alunos situações na qual o olhar científico se torne claro e conveniente, pois dessa maneira os desafios a serem enfrentados/resolvidos são reconstruídos num espaço que reflete a vida real e pessoal.

Sabe-se que a Amazônia se caracteriza por apresentar territorialidade estratégica e diferenciada, de forma particular quando se relaciona as populações tradicionais e a cultura. O vasto ambiente intacto impõe reflexões acerca do uso e proteção da natureza. Também é verdade que o mundo tem suas atenções voltadas para a região, haja vista sua condição imponente e o patrimônio econômico, biológico e cultural que ostenta. Por essa razão encontrar um conjunto de procedimentos que se constitua num modelo ecologicamente sustentável tem sido o sonho de estudiosos, administradores, governos.

Quanto ao desenvolvimento da consciência ambiental PINHEIRO (2012), aponta para a necessidade do compartilhamento de informações na sociedade, segundo o autor a informação trará a conscientização que apontará para a necessidade de preservar e conservar os ecossistemas e a biodiversidade. Ainda indica que o empoderamento social rural e urbano, quando aliado ao fortalecimento da consciência ambiental é de extrema importância para as relações entre o ser humano e o ambiente. O que está por traz desse pensamento é a possibilidade de transformar os moradores da Amazônia em guardiões desse imenso patrimônio, qual seja agentes de preservação e conservação dos recursos naturais e de uso sustentável.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais/Apresentação dos Temas Transversais, Secretaria de Educação Fundamental-Ministério da Educação (2000, pg.33), traz a seguinte contribuição:

“A vida cresceu e se desenvolveu na terra como uma trama, uma grande rede de seres interligados, interdependentes. Essa rede entrelaça de modo intenso e envolve conjunto de seres vivos e elementos físicos. Para cada ser vivo que habita o planeta existe um espaço ao seu redor com todos os outros elementos e seres vivos que com ele interagem, por meio de relações de troca de energia: esse conjunto de elementos, seres e relações constituem o seu meio ambiente. Explicado dessa forma pode parecer que, ao se tratar de meio ambiente, se está falando somente de aspectos físicos e biológicos. Ao contrário o ser humano faz parte do meio ambiente e as relações que são estabelecidas – relações sociais, econômicas e culturais – também fazem parte desse meio e, portanto, são objetos da área ambiental. Ao longo da história o homem transformou-se pela modificação do meio ambiente, criou cultura, estabeleceu relações econômicas, modos de comunicação com a natureza e com os outros. Mas é preciso refletir sobre como devem ser essas relações socioeconômicas e ambientais, para se tomar decisões adequadas a cada passo, na direção das metas desejada por todos: o crescimento cultural, a qualidade de vida e o equilíbrio ambiental.”

É exatamente no meio das relações de troca de energia e no conjunto de elementos, que registramos o envolvimento da massa estudantil e educadores que procuram entender/transmitir a ideia da sustentabilidade e dessa maneira envolver a temática que vai propiciar a participação e a corresponsabilidade pela vida coletiva e solidária.

A “autoridade do argumento” é uma das contribuições de DEMO (2010), quando faz o trocadilho com “argumento da autoridade”, certamente se refere ao conhecimento científico que alçou voo na história ocidental, ao se contrapor a teologia e filosofia, bem como em áreas que se estruturam em torno de discursos alheios e/ou superiores. Esse passo coincidiu com a reforma protestante, que ao reagir frente ao papa pelas questões religiosas, abre espaços para novos modos de pensar e compreender, nisto iremos reafirmar a ciência, onde não vale argumentar sem a devida fundamentação lógica e experimental. A partir de então qualquer argumentação precede a fundamentação lógica, crédula, sem excessos e exageros, que não crer em aparências e tudo faz para delinear trabalhos diferentes, promissores e sem receitas prontas.

SIMONE MESSINA (2010) no trabalho titulado *Alfabetização Ecológica: discussão de aspectos filosóficos e sociológicos na educação ambiental*, faz as seguintes considerações:

“A civilização humana e sua cultura consumista, impulsionada nos últimos anos com o advento da tecnologia, tem levado o planeta a uma devastação de seus ecossistemas fundamentais e, conseqüentemente, a uma crise nos diversos setores da sociedade, como, econômico, social, educacional e por que não filosófico.”

Chamamos a atenção para os termos “devastação” e “crise” por se complementarem. Não há devastação sem crise e vice-versa, no entanto o mundo só veio entender isso há muito pouco tempo. O quadro se agrava quando o foco é a cultura consumista impulsionada pelos avanços científicos e tecnológicos. Na verdade a educação ambiental deve focar a reeducação ambiental, ou o SOS ser humano, pois quando analisamos trechos da carta dos índios da América aos chefes “brancos” passamos compreender um pouco da destruição que campeia e anuncia um desfecho trágico, não tão distante, eminente, se não for combatido pelos agentes da sustentabilidade a crescente onda de desequilíbrio que já atua em nosso meio.

Amarildo GONZALEZ *et al.* (2011) traz sua contribuição quando fala da escola como instituição que faz ensino formal em qualquer nível de escolarização, neste tempo de globalização, neste trabalho seus autores dirigem o olhar para duas direções. Na primeira direção aborda as diferentes múltiplas entradas do mundo exterior na sala de aula, mostra o quanto eram enclausuradas as escolas da época de nossos avós, em relação às escolas de hoje, que são expostas as interferências do mundo externo, e neste caso, a escola era referência na comunidade pelo conhecimento que detinha, também mostra o perfil desse aluno, condescendente, oriundos de ambientes familiares estáveis,

sem o acesso a informação dos dias atuais. Na outra direção, os autores mostram o quanto essa sala de aula se exterioriza, atualmente de maneira diferenciada, foca no tamanho das informações que são trazidas pelos alunos à sala de aula, que dependendo da formação do professor, chegam a superá-lo, esses alunos navegam na internet, possuem televisão à cabo, são oriundos de família muitas vezes muito bem informadas, o que na maioria das vezes faz o professor se sentir menor na escola.

Sobre a avalanche de informações que detém nossos atuais alunos, Antonio CACHAPUZ (2004) adverte para o entendimento que se tem do que se vê, na verdade Cachapuz expressa a preocupação da escola poder contribuir positivamente, quando o mundo exterior a invade, quando diz:

“Foi preciso a avalanche de informação dos mais diversos tipos e pelos mais diversos meios com que somos confrontados para se perceber melhor que a informação não é senão uma condição necessária do conhecimento. Muitos alunos criam falsas expectativas sobre a aparente facilidade da sua própria aprendizagem. Porventura a mais perversa é de que a construção do (seu) conhecimento é tão fácil como aceder, hoje em dia, à informação por meio do simples pressionar de uma tecla.”

De fato a velocidade das informações força a mudança da escola, aprender exige esforço, perseverança e empenho. Aprender ciências implica romper com o senso comum, romper barreiras, analisar e até quebrar paradigmas, notadamente há uma inversão do fluxo do conhecimento, se antes o sentido era da escola para a comunidade, hoje é o mundo exterior que invade a escola. Assim é possível dizer que a escola está sendo mudada pelas atuais circunstâncias.

A contribuição de CHASSOT *apud* AMARILDO GONZALEZ *et al.* (2011, pag.18) para o ensino da ciência na escola também é relevante, pois Chassot faz a análise do ensino nos anos de 1980 e 1990, onde o ensino era centrado quase que exclusivamente na necessidade de fazer com que os alunos adquirissem conhecimentos científicos, onde a transmissão massiva de conteúdos era o que importava, era preciso que os alunos se tornassem familiarizados com as teorias, com os conceitos e com os processos científicos. Lembra Chassot que o aluno competente era aquele que sabia as classificações botânicas, famílias zoológicas, configurações eletrônicas de elementos químicos, quantidade grande de fórmulas físicas guardadas até o tempo da prova e depois desejada mente esquecidas. Por fim recomenda que haja uma adesão cada vez maior das novas perspectivas e apela para que seja posto em ação a continuada prática de fazermos com que a ciência seja imediatamente entendida por todos, pelo fato de fazer parte do mundo e do dia a dia.

A abordagem feita por NUSDEO (2012) foca a sustentabilidade e sua relação com a questão da equidade, define o sustentável como um desenvolvimento que permite satisfazer nossas necessidades atuais, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer a suas, na verdade explica sustentável em seu surgimento, como expressão notoriamente vaga, qual seja termo consensual que permitia acomodar as posições e as mais diversas expectativas dos diferentes países e das múltiplas correntes intelectuais. A autora também refere-se a Conferencia de Estocolmo de 1972, como aquela cujos debates seguia a linha malthusiana, para melhor explicitar, apontavam consequências catastróficas para o crescimento populacional e o aumento dos recursos naturais em decorrência do crescimento econômico.

FURTADO (2000) quando cita a problemática do desenvolvimento e do subdesenvolvimento, destaca as diferenças estruturais entre países desenvolvidos e subdesenvolvidos quanto ao impacto e aos diferenciais acarretados pela nova forma de explorar o ambiente aliado a nova iniciativa que incide na industrialização e na política de desenvolvimento das estruturas econômicas e sociais, porque a desigualdade na apropriação os recursos entre países e entre grupos dentro dos países são conflitantes.

PINHEIRO (2012) fala de políticas públicas e o desenvolvimento da sustentabilidade municipal, mostra a articulação entre as esferas administrativas por meio de sua estrutura operacional, econômico-financeiro e de seu capital intelectual, nessa abordagem ele mostra o entrosamento da sociedade civil e o poder público, para melhor solucionar as questões inerentes ao desenvolvimento, qual seja é apontada a necessidade de uma metodologia de intervenção e macroplanejamento, que oferecerão um diagnóstico da realidade local para só então propor a política de sustentabilidade municipal.

Na Figura 4.4, a seguir são mostrados alguns trabalhos desenvolvidos durante a Feira da Escola Municipal Prof. Ambrosio Bemerguy, como inicio de uma conscientização que deve ser permanente.



Figura 4.4 - Trabalhos mostrados na feira da sustentabilidade.

#### 4.6 - IMPLANTAÇÃO DA LOGÍSTICA REVERSA

Basicamente, a estruturação do sistema da logística reversa, independentemente do serviço público de limpeza urbana e do manejo de resíduos sólidos, esta é atribuída aos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos que geram resíduos especiais pós-consumo, que estão elencados no art.33 da Lei 12.305/2010 (SANTOS, 2012).

Dentre as medidas a serem adotadas para este fim, destacam-se a implantação do procedimento de compra de produtos ou embalagens usados, a disponibilização de postos de entrega de resíduos reutilizáveis e recicláveis e a atuação em parceria com associações de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis.

Alguns instrumentos de implantação e de operacionalização dos sistemas de logística reversa foram elencados no art.15, do Decreto/Lei 7404/2010, que regulamenta a Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, tais como: os acordos setoriais, regulamentos expedidos pelo poder público e termos de compromisso. De acordo com o art. 30 do Dec. 7.404/2010, a logística reversa poderá ser implantada diretamente por regulamento, veiculado por decreto editado pelo Poder Executivo. O Comitê Orientador deverá avaliar a viabilidade técnica e econômica da logística reversa, precedida de consulta pública.

Para que a logística reversa tenha sucesso é importante analisar alguns aspectos. LACERDA (2003), afirma que é importante que haja bons controles de entrada, para que saibam qual a destinação apropriada dos materiais coletados, se será para revenda, reciclagem ou recondicionamento. Além disso, é importante que haja padronização e mapeamento de processos, mantendo assim a qualidade nos serviços, tempo para conclusão do processo e por fim uma rede de logística muito bem planejada.

Diante disto, destaca-se a necessidade, para as cidades vizinhas de Tabatinga (AM/Brasil) e Letícia (AM/Colômbia), de um modelo de logística reversa que seja ambientalmente adequado para promover o manejo dos resíduos sólidos e a melhoria no padrão de vida e de saúde da população, nos aspectos ambientais, econômicos e estéticos do município.

Sob o ponto de vista econômico, a produção exagerada de resíduos e a disposição final inadequada, sem projetos e sem critérios, representam um desperdício de materiais, recursos naturais e financeiros, sem levar em consideração o planeta. Com a funcionalidade da logística reversa dos resíduos, obtém-se a intenção de promover o reaproveitamento, reintegração e reciclagem dos resíduos e assim, diminuir o consumo de matérias-primas e de recursos naturais.

Segundo SILVA *et al.* (2015), os produtos que retornam ao ciclo produtivo, através da logística reversa, voltam aos clientes de forma a serem reaproveitados, garantindo portanto, ganhos econômicos a todos os atores da cadeia produtiva. A compreensão da necessidade do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos propiciou a elaboração de políticas que consideram: reduzir, reutilizar e reciclar, formando um slogan de grande eficácia pedagógica.

Nesse sentido, alguns pesquisadores investigam a contribuição da logística reversa no gerenciamento de resíduos sólidos. POHLEN e FARRIS (1992) analisaram a reciclagem da cadeia de plásticos e propuseram uma estrutura otimizada para o canal reverso, além de discutir as principais questões que afetam os canais reversos para reciclagem. SOUZA *et al.* (2006) analisaram o sistema de logística reversa da empresa Novelis na reciclagem das latas de alumínio, onde, além de alcançar resultados econômicos com padrões sustentáveis de desenvolvimento, reduziram desperdícios e resíduos para obter ganho através da prevenção da poluição, desenvolve projetos de caráter social voltados para a educação ambiental, que geram emprego e renda para um setor da sociedade.

CRUZ e BALLISTA (2006) referem-se ao papel da logística reversa na gestão eficaz dos resíduos sólidos, como forma de satisfazer necessidades da sociedade na perspectiva socioambiental, sem perder de vista a eficiência, evitando desperdícios e o mau uso dos recursos.

Para a coleta dos resíduos sólidos destaca-se a obrigatoriedade da coleta seletiva nos municípios e a erradicação dos lixões, que devem ser transformados em aterro sanitário, com os devidos tratamentos. No entanto, deve-se depositar apenas os resíduos sem qualquer possibilidade de reaproveitamento. Portanto, antes de decidir sobre um método adequado de eliminação do resíduo, é essencial conhecer sua composição, os possíveis perigos e as precauções a serem tomadas, além da definição de procedimento para a gestão dos fluxos dos resíduos (ALHUMOUD, 2005).

Possivelmente será exigida responsabilidade compartilhada sobre o ciclo de vida dos produtos, sendo que o governo, indústria, comércio e a população devem ser responsáveis pelo destino dos materiais, cada um em uma etapa. Essas e outras atividades a serem realizadas poderão ser viabilizadas com a aplicação adequada da logística reversa, ferramenta fundamental para gestão dos resíduos sólidos.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E SUGESTÕES

#### 5.1 - CONCLUSÕES

A construção de um aterro sanitário é assunto recorrente entre universitários, educadores de saúde, educadores sociais, entidades que visam o bem estar e governos. O mais importante é que são respondidas perguntas tais como: Por que fazer uma dissertação focada na problemática ambiental? Ou quais as transposições entre a problemática do lixo e a vida em comunidade? Que solução pode pensar a curto, médio e longo prazo? Quais as principais medidas tomadas no Brasil? Onde a ciência entra em tudo isto?

Foi prazeroso encontrar as principais respostas para essas e outras perguntas. Interpretar com o auxílio de dados das Prefeituras das cidades gêmeas de Tabatinga no Brasil e Letícia na Colômbia, os quantitativos de material descarregados em séries históricas e também apoiar-se na estatística para entender a origem dos materiais que formam o grande lixão, sistema de coleta, sazonalidade, frequência, equipamentos, locais de aglomeração, pessoal envolvido, grau de formação do pessoal e processos de aperfeiçoamento.

Quanto ao tipo de resíduos foram classificados quanto a origem e quanto à periculosidade e foi possível entender que nas cidades em que foi realizado o levantamento não há lixo de origem industrial, detectando lixos domiciliares, comerciais e da área da saúde e quanto à periculosidade os lixos são químicos e radioativos, verificando-se que não há lixo radioativo, mas é necessário ter muita atenção ao lixo químico, de diante da falta de informação e às vezes à falta de medidas e cuidados necessários, podem apresentar um iminente perigo às pessoas e ao ambiente.

Quanto aos lixões foi possível entendê-los como grandes áreas expostas sem controle de acesso, sem controle de constituição de resíduos, sem controle de lançamento, compactação, onde não há sistemas de impermeabilização de base, de cobertura, de drenagem de gases e de drenagem de percolados. Pelo contrário, os aterros sanitários apresentam sistemas de impermeabilização de base, cobertura, drenagem e tratamento de gases e percolados.

No aterro sanitário da Cidade de Letícia-Colômbia o que faz um bom diferencial é o reator UASB, uma espécie de biorreator que em muito contribuiu para o tratamento do chorume e percolados provenientes das células de compactação, uma vez que permitem o monitoramento e intervenção no processo de biodegradação através do controle de umidade da pilha de resíduos, do ajuste de PH e do controle da atividade bacteriana.

A escolha do local para o aterro deve ter em conta aspectos técnicos, socioeconômicos e sociais.

Como aspectos técnicos devem ser observados: área total disponível, uso e ocupação do solo, topografia e relevo da área, regime de ventos da região, descrição do subsolo, profundidade do lençol freático, disponibilidade de material de cobertura, distância de cursos d'água relevantes, distância ao centro de coleta, distância de núcleo residencial urbano, distância de aeroportos, meio alternativo de transporte de RSU, sistema de tratamento de percolado, vida útil do aterro, condições de acesso.

Quanto aos aspectos econômicos observam-se: custo de aquisição de terreno, custo de investimento em construção e infraestrutura, custo com operação e manutenção do sistema de captação e controle de gás, custo com a manutenção do sistema de drenagem, custo com tratamento do líquido percolado, custo com transporte dos resíduos sólidos urbanos, custo com descomissionamento e reuso da área, custo com segurança da área, custo de deposição de resíduos, possibilidade de obtenção de recursos para implantação.

Em relação aos aspectos sociais são elencados: geração de empregos, coleta seletiva de recicláveis, facilidade de acesso ao local de disposição, instrução e treinamento, plano de ação emergencial, distância de núcleos urbanos de baixa renda, inexistência de problemas com a comunidade local.

Por fim é possível observar as principais características de uma célula de deposição, sendo:

- Área da base : ~ 30.000 m<sup>2</sup> (150 m x 220 m);
- Altura Máxima de Pilha: 40,31 m;
- Capacidade Total de Deposição : 1.080.000 m<sup>3</sup>;
- Projeção de Utilização;
- Aterro local boa compactação: 27 anos;
- Aterro local má compactação: 20 anos;

- Aterro regional boa compactação: 20 anos;
- Aterro regional má compactação: 15 anos.

## 5.2 – SUGESTÕES

Os estudos abaixo são colocados como sugestões para a continuação da pesquisa em outras etapas:

- Continuar o estudo sobre a sustentabilidade, lixões e aterros sanitários, a importância da saúde do ambiente, o impacto sobre a comunidade, a proteção de mananciais, entre outros;

- Levantar os aspectos sociais e econômicos da reciclagem, compostagem, logística reversa e incentivar a implantação desses serviços como alternativas financeiras;

- Estudar e produzir em escala piloto o biogás, desenvolvendo sistemas eficientes de captação, drenagem e transporte de biogás, alternativas de comércio do biogás e possibilidades no crédito do carbono (protocolo de Kioto);

- Estudar o mecanismo de estabilidade das fases nos diversos itens contaminantes presentes no chorume, nas águas das lagoas, de maneira que seja possível medir séries históricas que contribuirão para a manutenção da estabilidade ambiental. Isso será possível, também, testando o modelo matemático aqui estabelecido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Agregado para concreto Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508: Ensaio de Peso Específico dos Grãos**. Rio de Janeiro, 1984.

ALHUMOUD, J. M. **Municipal Solid Waste Recycling in the Gulf Co-operation Council States**. In: Resources, Conservation and Recycling, v.45, n. 2, pp. 142–158, 2005.

AZEVEDO, S. S.; BATISTA, C. S. A.; ALVES, C. J. *et al.* **Ocorrência de anticorpos contra *Brucella abortus* em cães errantes da cidade de Patos**. Estado da Paraíba, Brasil. Arq. Inst. Biol., v.70, p.499-500, 2003.

BAIRD, C. Química ambiental. Trad. M.A.L. Recio e L.C.M. Carrera. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARATA, M. M. de L. *et al.* **A gestão ambiental no setor público: uma questão de relevância social e econômica**. Ciênc. saúde coletiva. 2007.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 2.ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

BARRA, C.M. *et al.* **Especiação de arsênio – uma revisão**. Química Nova, v. 23, n. 1, p.58-70, 2000.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceito básico de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC / USP, 1999.

CACHAPUZ, A. **O ensino das ciências para a excelência da Aprendizagem**. In: CARVALHO, A. **Novas Metodologias da Educação**. Porto: Porto Editora, 1995.

CARVALHO, M. do C. B. **Alguns apontamentos para o debate**. In: RICO, E. de M.; RAICHELIS, R. **Gestão Social – uma questão em debate**. São Paulo: Educ/IEE/PUCSP, 1999.

CHAMY, R.; ROSENKRANZ, F.; SOLER, L. **Biodegradação e Biorremediação de Sistemas poluídas - Novos Avanços e Tecnologias**. ISBN 978-953-51-2238-8, 176 páginas, Editora: InTech, 2015.

CHASSOT, A. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. Ijuí: Ed. da Unijui, 2000.

CHAVECO, A. I. R. **Cálculo com Fatos Históricos: funções de várias variáveis**. 1ª edição. Curitiba-PR. CRV, 2015.

COSTA, L. E. B.; COSTA, S. K.; REGO, N. A. C.; SILVA JUNIOR, M. F.. **Gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos domiciliares e perfil socioeconômico no município de Salinas, Minas Gerais**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v.3, n.2, pp.73-90, 2012.

CRUZ, M. M. C., BALLISTA, B. R. **Logística Reversa dos estabelecimentos de Saúde da Grande Vitória**. Em Anais XIII Simpósio de Engenharia de Produção- XIII SIMPEP, 2012.

WALLACE, D. R. **Pesticidas ambientais e metais pesados**. Centro de Oklahoma State University de Ciências da Saúde, Departamento de Farmacologia, Tulsa, Oklahoma, EUA. Editora: InTech, 2015.

DEMO, P. **Educação e Alfabetização Científica** 1. ed. Campinas, SP: Papirus, 2010.

DIXON, N., JONES, D.R.V. **Engineering properties of municipal solid waste**. Geotextiles and Geomembranes Journal. V. 23 (2005), pp: 205 – 233, 2005.

DIXON, N., LANGER U. **Development of a MSW classification system for the evaluation of mechanical properties**. Waste Management Journal. V. 26 (2006), pp: 220 – 232, 2006.

DUFFUS, J.H. **HEAVY METALS - A mean-ingless term?** Pure and Applied Chemistry. v. 74, n.5, p. 793-807, 2002.

FERRI, G. **O princípio do desenvolvimento sustentável e a logística reversa na política nacional de resíduos sólidos (Lei 12.305/2010)**. Revista dos Tribunais, RT, v.912, pp. 95, 2011.

FIORILLO, C. A. P. **Curso de Direito Ambiental Brasileiro** . 13ed., rev., atual e ampl. São Paulo: Editora Saraiva, 2012.

FUNGAROLI, A. A. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Drexel, em Filadélfia, Pa, 2007.

FURTADO, C. **O fator político na formação nacional**. Estudos Avançados, v. 14, n.40. São Paulo: Edusp, p.7-11, 2000.

GERALDO, V. **Aterro Sanitário, seminário sobre aterro sanitário**. São Paulo: CETESB, 1981.

GODECKE, M. V., CHAVES, I. R., NAIME, R. H. **Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil: O Caso de Canos**. Revista Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 7, n. 7, pp. 1430-1439. 2012.

GONÇALVES-DIAS, S. L. F., TEODÓSIO, A. S. S. **Estrutura da cadeia reversa: "caminhos" e "descaminhos" da embalagem PET**. Revista Produção, v. 16, n. 3, pp.429-441, 2006.

GRISOLIA, M.; NAPOLEONI, Q.; TANCREDI. G. **Contribution to a technical classification of MSW**. Proceedings of the 5th Sardinia International Landfill Symposium, S. Margherita Di Pula, Cagliari. Vol. II; pp: 703–710, 1995. implantação e operação. São Paulo: CETESB, 1981.

GUTBERLET, J. **Informal and cooperative recycling as a poverty eradication strategy**. Geography Compass. 2015.

HERRERA, V. E.; TEIXEIRA, M. A.; BARBOSA, D. H.; LOPES, L. O. **A logística reversa como fonte de vantagem competitiva no segmento de máquinas e equipamentos agrícolas: estudo de caso da empresa X**. Anais do XIII SIMPEP - Simpósio de Engenharia de Produção ,2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cuidando do lixo**. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 2 jan. 2015.

JUCÁ, J.F.T. **Destinação Final dos Resíduos Sólidos no Brasil: Situação Atual e Perspectivas**. Painel 2 do 10 °SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Braga, Portugal, 2002.

KALENATIC, D.; MÉNDES, L. H. M.; VALBUENA, K. V. M; RODRÍGUEZ, L. J. **G. Metodología de planeación logística basada en gestión de proyectos y dinámica de sistemas en empresas prestadoras de servicios.** Revista Facultad de Ingeniería, v. 3, n.58, pp. 208-218. 2011.

KNOCHENMUS, G., WOJNAROWICZ, M., Van Impe. **Stability of Municipal Solid Waste.** In: Proc. Of the Third International Congress o Environmental Geotechnics, Lisboa, Portugal, Sêco e Pinto (ed.), Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 006x, pp. 977-1000, 1998.

KRIKKE, H. **Recovery strategies and reverse logistics network design.** Holanda, BETA – Institute for Business Engineering and Technology Application, 2006.

KUMAR S, MALHOTRA R, KUMAR D. **Antidiabetic and free radicals scavenging potential of Euphorbia hirta flower extract.** Indian journal of pharmaceutical sciences, 2010.

LACERDA, L. **Logística Reversa: uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais.** Figueiredo, K. F.; Fleury, P. F.; Wanke, P. (Org.). Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: planejamento do fluxo de produtos e dos recursos. São Paulo: Atla, 2003.

AGE, D., LIMA, J., RAPUCCI, P., SCHLÜTER, M. R. **Logística Reversa de Resíduos Sólidos Domésticos: Dimensão de Contentor de Reciclagem na Coleta da RMC.** Em Revista Jovens Pesquisadores, v. 12, n. 1, pp. 23-66, 2015.

LEITE, P. R. **Logística Reversa: meio ambiente e competitividade.** 2. ed, São Paulo: Pearson Prentice Hall , 2009.

LIMA,L. M. Q. **Lixo Tratamento e Biorremediação.** 3aed. Hemus. São Paulo, 1995.

LIU, C. N., CHEN, R. H., CHEN, K. S. **Unsaturated consolidation theory for the Luz, F.X.R.** Aterro sanitário: características, limitações, Hemus, São Paulo, 2009.

MANASSERO, M., VAN IMPE, W. F. E BOUZZA, A. **Waste Disposal and Containment.** Second International Congress on Environmental Geotechnics, State of the Art Reports, 1996. prediction of long-term municipal solid waste landfill settlement. Waste Management & Research Journal, Vol. 24, N° 1, pp: 80 -91, 2006.

MARCHI, C.M.D.F.. **Gestão de resíduos sólidos: um caso nos pequenos e médios municípios baianos.** Encontro do ENANPAD, Salvador, 2006.

MESSINA, S. da R.; RICHTER, L. **Alfabetização Ecológica: discussão de aspectos filosóficos e sociológicos na Educação Ambiental.** In: IV Simpósio Internacional e VII Fórum Nacional de Educação. Santa Maria: UFSM, 2010.

MOREIRA, F. R. E; MOREIRA, J. C. **A importância da análise de especificação do chumbo em plasma para avaliação dos riscos à saúde.** Química Nova , v. 27, n. 2,p. 251-260, 2004.

NUSDEO, A. M. O. **Pagamento dos serviços ambientais.** São Paulo: Atlas, 2012.

PICININ, C. T.; KOVALESKI, J. L.; RAIMUNDI, C. V. **Gestão do conhecimento e inovação: um enfoque logístico.** Revista Eletrônica FAFIT-FACIC, v. 1, n. 1, pp. 17-29, 2010.

PINHEIRO, W. M. **Políticas públicas e sustentabilidade na Amazônia.** Manaus: Valer, 2012.

POHLEN, L., FARRIS, M. **Reverse logistics in plastics recycling.** International Journal of Physical Distribution and Logistic Management, v.13, p. 60-77, 1992.

PORTEUS, M. H., BRICE; A.E.J.; BULFONE, A.; USDIN, T.B.. **Analysis of multistage production systems.** Handbooks in Operations Research and Management Science. Volume 4, 1993.

REBELLÓN , L. F. M. **Gestão de Resíduos - Uma Visão Integrada ISBN 978-953-51-0795-8.** Editora: InTech, 2015.

ROSSÉS, G. F., SCCOTT, C. R.C., OLIVEIRA, J. H. R., SILVA, A. F., ENDE, M. V., REISDORFER, V. K. **A Perspectiva dos Sistemas de Logística Direta e Logística Reversa: O Caso de uma Companhia no Ramo Industrial de Bebidas.** Revista Eletrônica Sistemas & Gestão, v. 10, n. 1, pp. 30-40, 2015.

SANTOS, J. G. **A Logística Reversa como Ferramenta para a Sustentabilidade: Um Estudo Sobre a Importância das Cooperativas de Reciclagem na Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos.** Revista REUNA, v.17, n. 2, pp. 81-96, 2012.

SILVA, R. R., RODRIGUES, F. T. R. L. **Análise do Ciclo De Vida e da Logística Reversa como Ferramentas de Gestão Sustentável: O Caso das Embalagens Pet.** Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, v. 7, n. 13, pp. 44-58, 2015.

SIMÕES, G. F.; CAMPOS, T. M. P. **A coupled mechanical and biological model to estimate settlements in solid waste landfills.** In: 4 International Symposium on Environmental Geotechnics, 2002, Rio de Janeiro. Environmental Geotechnics. Rotterdam: A.A. Balkema, 2002. v. 1, pp: 283-288, 2002.

SOLER, C.P.A.; DE PAZ, M.; NUÑEZ, M. **The microbiological quality of milk produced in the Balearic Islands.** Internacional Dairy Journal , v.5, p.69-74, 1995.

SOUZA M. M. C. **Produtos Orgânicos.** ZYLBERSZTAJN, D. e NEVES, M. F. Economia & Gestão dos Negócios Agroalimentares: indústria de alimentos, indústria de insumos, produção agropecuária, distribuição. São Paulo: Pioneira, 2000.

SOUZA, M. T. S, VASCONCELOS, M. W., PEREIRA, R. DA S. **A contribuição da logística reversa na adequação da Política Nacional de Resíduos Sólidos: um estudo de caso no setor de embalagem.** In: Anais do IV Simpósio de Gestão e Estratégia em Negócios, 2014.

SOWERS, G. F. **Settlement of waste disposalfills.** In: Eighth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering's, v.2, parte 2, Moscow-URSS: 207-210, 1973.

SILVERN, S.; YOUNG, S. **Environmental Change and Sustainability.** Publishing Process Manager Viktorija Zgela. Technical Editor InTech DTP team. First published May, 2013.

TIBBEN-LEMBKE, R. S.; ROGERS, D.S. **Differences between forward and reverse logistics in a retail environment.** Special Feature – Reverse Logistics. Supply Chain Management: An International Journal, vol. 7, n.5, p.271-282, 2002.

VALLS, M. E LORENZO, V. **Exploiting the genetic and biochemical capacities of bacteria for remediation of heavy metal pollution.** FEMS Microbiology Reviews, v.26, p. 327-338, 2002.

WANKE, P. F. **Determinants of scale efficiency in the brazilian third-party logistics industry from 2001 to 2009.** BAR – Brazilian Administration Review, v. 9, n.1, pp. 66-87, 2012.

WINDHAM-BELLORD, K. A., SOUZA, P. B. **O caminho de volta: Responsabilidade Compartilhada e Logística Reversa.** Revista de direito ambiental. v. 63, n.1, pp. 181, 2011.

YU, XIAO-YING. **Eliminação Municipal E Resíduos Industriais.** ISBN 978-953-51-0501-5, Editora: InTech, 2012.

ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. F. A. **Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. As quatro forças da natureza: água, terra, fogo e ar.** Revista Bons Fluidos, n. 49, p.30-35, 2003.