

## 12. INCINERAÇÃO

As informações apresentadas neste capítulo, referentes à incineração, resultam de informações selecionadas do capítulo 5 do Livro Tratamento e Biorremediação, de Luiz Mário Queiroz Lima (1995).

A incineração por método rudimentar é uma prática muito antiga relacionada ao destino final de RS, e as cinzas eram espalhadas no solo. Nos anos 70 do século XX o processo de incineração passou a ser estudado de forma mais racional, quando passou a buscar-se formas eficazes de aproveitamento da energia liberada pela queima dos resíduos, e consequente economia de derivados do petróleo.

### 12.1. HISTÓRICO

Alfred Fryer, em 1874, projetou e construiu um dos primeiros incineradores para queima de lixo urbano, na cidade de Nottingham, Inglaterra. O sistema Fryer, como ficou conhecido, era rudimentar e de operação extremamente simples: os resíduos eram dispostos manualmente no incinerador e incinerados com o uso de carvão. Cinzas e escórias eram removidas após a queima, que era realizada de forma intermitente.

A partir do início do século XX os incineradores passaram a ser mais usados como forma de destino final de RSU (resíduos sólidos urbanos). Na América do Norte, por exemplo, já em 1920, havia cerca de duzentas plantas em funcionamento. Na mesma época a Europa já contava com mais de trezentos incineradores municipais instalados. No Brasil o primeiro incinerador foi instalado em Manaus, pelos ingleses, em 1896, e permaneceu operante até 1958, quando foi desativado por problemas relacionados a sua manutenção, e porque a sua capacidade (60 t /dia) já era insuficiente.

A partir da década de 50 do século XX os incineradores passaram a ser progressivamente automatizados, chegando os mesmos a serem controlados por computadores. A partir dos anos 70 do século passado deu-se preferência por sistemas de incineração que possibilitassem o aproveitamento da energia liberada pela queima dos resíduos. Entretanto, no final da década passada, no final do século XX, começou a haver restrições à incineração em alguns países mais desenvolvidos, como ocorre em alguns estados dos Estados Unidos.

### 12.2. DEFINIÇÃO

A incineração vem a ser um processo de redução de volume e peso do lixo através de combustão controlada. Os subprodutos gerados são, geralmente, gases como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), gás inerte oriundo do ar usado como fonte de oxigênio proveniente do ar em excesso que não consegue ser completamente queimado, água, cinza e escórias que se constituem de materiais ferrosos e inertes como vidros, pedras, etc.

Em caso de combustão incompleta pode formar-se o monóxido de carbono (CO) e particulados que consistem em carbono finamente dividido lançado à atmosfera como fuligem ou negro de fumo. Quando a combustão é realizada a altas temperaturas pode haver dissociação de nitrogênio, surgindo ainda compostos resultantes da combinação deste com o oxigênio, como NO e N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

O rendimento da combustão de RS está fundamentado em dois princípios básicos:

- regular a quantidade de ar de forma a manter a mistura ar-combustível nos níveis normais exigidos no projeto;
- transferir o máximo de calor gerado na combustão para o material a ser incinerado.

### 12.3. CLASSIFICAÇÃO

Os processos de incineração da combustão de lixo podem ser classificados em dois tipos: estáticos e dinâmicos.

Incineradores estáticos ou de batelada: são de funcionamento intermitente, e em geral são de fácil operação e de tecnologia muito simples. O processo envolve quatro estágios principais:

- alimentação do forno;
- combustão dos resíduos;
- resfriamento e tratamento dos gases e produtos da combustão;
- emissão dos gases e escórias.

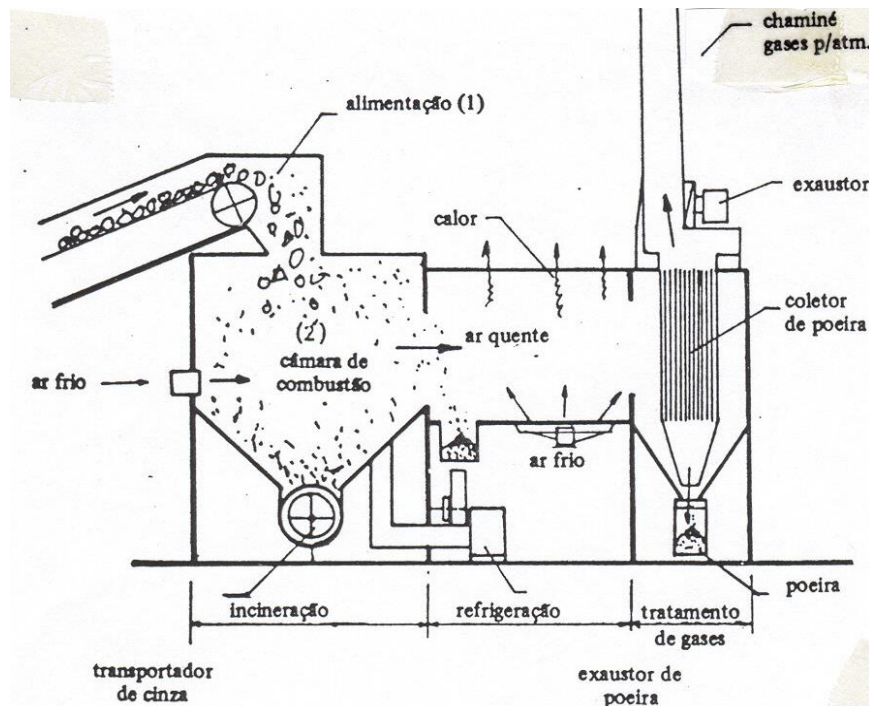
Os incineradores estáticos são mais adequados para pequenos estabelecimentos onde a produção de lixo é limitada pelas etapas de produção do sistema gerador de resíduos.

Incineradores dinâmicos ou contínuos: caracterizam-se por seu funcionamento direto. Em geral são mais complexos e sua operação requer maiores atenções. O processo envolve seis estágios:

- alimentação do forno;
- secagem do lixo;
- combustão dos resíduos;
- resfriamento dos gases e outros produtos da combustão;
- filtragem e tratamento dos gases da combustão;
- emissão dos gases e escórias;

### 12.4. METODOLOGIA

Os incineradores em batelada, conforme definição anterior, apresentam tecnologia simples, e sua metodologia de incineração consiste em dispor os resíduos diretamente na câmara de combustão (**figura 12.1**), processando-se a queima com o uso de combustíveis líquidos ou gasosos.



**Figura 12.1:** Diagrama do incinerador de batelada (Lima, 1995).

A câmara de combustão é provida dos seguintes elementos: um dispositivo de alimentação, um queimador de óleo ou gás; grade superior e inferior e transportador de cinza. A fumaça, juntamente com os componentes voláteis, é repassada para a câmara de resfriamento por ação conjunta do calor gerado e do insuflamento do ar necessário à combustão. No estágio final da incineração a cinza é precipitada gravimetricamente em dispositivos próprios, de onde é removida posteriormente. Ainda neste estágio final os gases da combustão são forçados a passar por trocadores de calor onde se resfriam. Alguns incineradores apresentam sistemas de lavagem dos gases onde os particulados e o  $\text{CO}_2$  são removidos. Este tipo de incinerador é freqüentemente empregado em indústrias, hospitais, aeroportos, etc.

Os incineradores dinâmicos ou contínuos têm em geral grande capacidade, e os modelos mais recentes podem incinerar até 3.000 t de lixo por dia. Entretanto, são mais complexos que os incineradores de batelada e exigem uma série de equipamentos auxiliares.

A **figura 12.2** representa o perfil típico de um sistema de incineração contínuo. Como se vê na referida figura, o sistema consiste de seis estágios principais, que são abordados em continuação.

*Estágio 1:* os resíduos são dispostos no fosso de recepção que pode ser construído em concreto, alvenaria ou de estrutura metálica; em seguida, por ação de uma caçamba, eles são introduzidos na câmara de secagem;

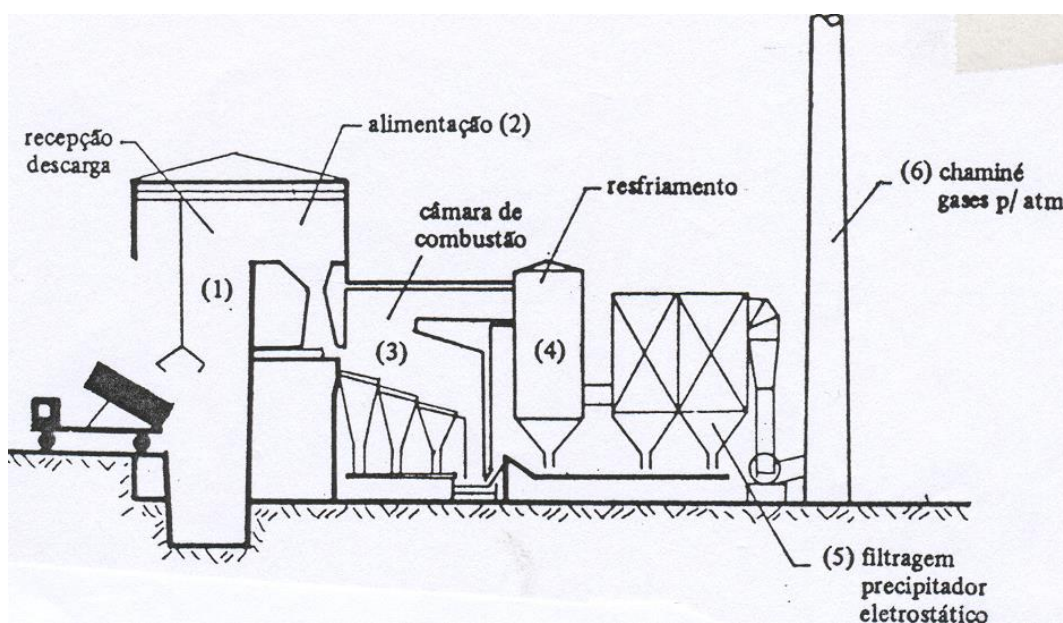
*Estágio 2:* neste ocorre a secagem, onde o lixo perde umidade, melhorando seu poder calorífico;

*Estágio 3:* é onde ocorre a combustão, onde os resíduos são incinerados à medida que descem pela grelha, que se constitui num dos dispositivos mais importantes da incineração. Ainda nesse estágio o ar necessário à combustão ingressa pela zona inferior da grelha, por meio de dispositivos mecânicos. Isto provoca o turbilhonamento dos gases, indispensável para a realização da queima completa;

*Estágio 4:* os gases resultantes da combustão são arrastados até o trocador de calor, onde ocorre o seu resfriamento;

*Estágio 5:* os gases oriundos do estágio 4, já resfriados, são filtrados em dispositivos especiais, tais como precipitadores eletrostáticos, coletores gravitacionais, ciclones, etc.

*Estágio 6:* vem a ser o estágio final da combustão. Consiste no lançamento dos gases na atmosfera, realizado por meio de dispositivos insufladores que forçam os gases através da chaminé. Esta deve ser bem dimensionada para permitir uma boa tiragem e dispersão dos gases sem causar inconvenientes às áreas circunvizinhas. No dimensionamento da chaminé devem ser considerados alguns aspectos principais, como a formação da pluma de gases, que consiste basicamente de vapores e particulados, sua associação às eventuais inversões térmicas ou em situações especiais de ventos com baixa velocidade e alta umidade relativa do ar. Também deve ser considerada a possibilidade de exalação de odores característicos do próprio lixo incinerado. A cinza e as escórias devem ter destino sanitário adequado. As partes metálicas, por exemplo, podem ser separadas magneticamente, pensadas e comercializadas no próprio estabelecimento. A cinza, por ser inerte, pode ser usada como material de cobertura em aterros sanitários ou servir como elemento neutralizador do pH de solos agrícolas, além de fornecer alguns nutrientes minerais importantes como o  $K_2O$ ,  $CaO$ , e  $P_2O_5$ .



**Figura 12.2:** Diagrama de um incinerador contínuo (Lima, 1995).

### 12.4.1 Conceitos teóricos da incineração

O conceito teórico da incineração consiste de uma reação química entre o combustível e o comburente. Entretanto, para que este conceito seja válido, se faz necessário considerar o lixo como um combustível, e isso somente é possível quando seus componentes liberam energia térmica à medida que são queimados. Esta energia química latente, quando liberada em forma de calor, pode ser denominada de calor de combustão.

Os produtos da combustão são na maioria gases como SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl e materiais particulados. O lixo contém pouco enxofre, e em sua combustão os compostos formados (SO<sub>x</sub>) normalmente são precipitados junto com as escórias e as cinzas.

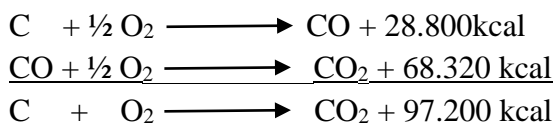
A seguir são apresentados alguns conceitos teóricos e algumas equações básicas da combustão do lixo.

*Temperatura de ignição:* é a temperatura necessária, para o combustível e para o oxigênio, para que se inicie o processo de combustão.

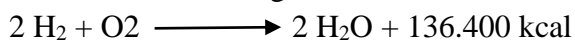
*Temperatura de inflamação:* é a temperatura na qual o lixo começa a queimar.

*Equações de reação:* os estudos analíticos da combustão e o projeto de incineradores dependem do conhecimento prévio das proporções com que os componentes combustíveis reagem com o oxigênio. Estes dados são fundamentais na composição elementar do lixo e nas equações das reações químicas mostradas a seguir.

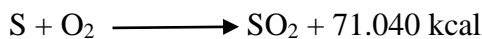
Combustão do carbono:



Combustão do hidrogênio:



Combustão do enxofre:



A CESP –Companhia Energética de São Paulo, utilizou como parâmetro no dimensionamento dos equipamentos da usina termelétrica que incinera RS a seguinte composição química elementar para os RS de São Paulo (capital):

C/47,8%   H<sub>2</sub>/7,60%   O<sub>2</sub>/42,7%   N<sub>2</sub>/1,60%   S/0,30%

*Ar necessário à combustão:* Os dados acima permitem calcular, com o emprego das equações de reação, a quantidade de ar necessária e os produtos decorrentes da combustão. A **tabela**

**12.1** mostra os resultados analíticos encontrados pela CESP nos ensaios de combustão do lixo residencial de São Paulo.

**Tabela 12.1:** Oxigênio necessário para a incineração de 1 kg de resíduos.

Elemento	Fator-peso	Oxigênio necessário (kg)
Carbono	0,478	1,275
Hidrogênio	0,076	0,610
Enxofre	0,003	0,003
Nitrogênio	Inerte	-
Oxigênio exterior	O <sub>2</sub> (0,427)	- 0,427
<b>Total</b>		<b>1,461</b>

Na tabela anterior pode-se observar que a combustão de 1 kg de lixo necessita de 1,461 kg de oxigênio. Sendo esta quantidade de oxigênio extraída do ar natural, e considerando a composição do ar (em peso) equivalente a 23,2% de O<sub>2</sub> e 76,8% de N<sub>2</sub>, o valor teórico de ar natural a ser consumido na combustão de 1 kg de resíduos 6,297 kg.

Entretanto, no lixo brasileiro a parcela combustível varia em torno de 40%. Assim, o valor real deve ser ajustado de acordo com o percentual referido:

$$6,297 \text{ kg ar/kg RS} \times 0,40 = 2,519 \text{ kg de ar/kg RS}$$

O valor acima é a quantidade de ar natural ajustada para a queima de 1 kg de lixo in natura. Mas para um excesso de ar de 100% a quantidade real de ar deve ser:

$$2,519 \text{ kg de ar/kg RS} \times 2,00 = 5,038 \text{ kg de ar/kg RS}$$

*Produtos da combustão:* Os produtos da combustão do lixo são CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>(exterior).

*Controles da combustão:* Além das relações essencialmente teóricas, existem três fatores de suma importância na combustão ou incineração dos resíduos. Esses elementos são temperatura, tempo de permanência e turbulência. A temperatura na câmara de combustão deve ser suficientemente alta (800 a 1000°C) para permitir a queima completa dos resíduos, assim como a oxidação dos gases liberados. A turbulência é indispensável na combustão pelas vantagens que oferece ao processo. Por exemplo, a turbulência provocada aumenta a área de contato das partículas com o oxigênio necessário, elevando a eficiência de queima. A turbulência é obtida artificialmente por injeção de ar em alta pressão em locais estratégicos da câmara de combustão.

#### **12.4.2. Dispositivos da incineração**

Os equipamentos e dispositivos apropriados à incineração de RS são comentados a seguir, nos itens **12.4.2.1** a **12.4.2.6**:

#### 12.4.2.1. Dispositivos de recebimento de lixo: são balanças, portas e fossas.

*Balanças:* visam ao controle da quantidade de resíduos destinada a incineração.

*Portas:* consistem de aberturas ou locais de despejo providos ou não de vedações, por onde os resíduos são introduzidos no sistema. Mesmo que as aberturas sejam livres, prevalece a denominação de porta. As portas têm dimensões básicas de 8m x 5m (largura x altura). As portas estão orientadas para o pátio de manobras, e localizam-se ao longo de uma das laterais da fossa.

*Fossas:* As fossas são dispositivos construídos em concreto armado ou em chapas de aço carbono e servem para estocar e acondicionar os resíduos que chegam até a usina.

Usualmente as fossas são projetadas com capacidade nominal duas a três vezes maior que a capacidade total do sistema, para que cumpram a função de reserva ou espaço de segurança.

#### 12.4.2.2. Dispositivos de extração

A remoção do lixo da fossa e a respectiva alimentação da câmara de combustão é feita por meio de guindastes hidráulicos, caçambas ou esteiras transportadoras. Estes dispositivos são operados à distância e apresentam relativa eficiência.

#### 12.4.2.3. Dispositivos de queima

Os dispositivos de queima são os que participam diretamente da combustão dos resíduos e dividem-se em câmara de secagem, câmara de combustão, grelhas, alimentadores de ar e queimadores.

*Câmara de secagem:* Também é denominada de ante-câmara de combustão, destinando-se a reduzir a quantidade de água presente no lixo, melhorando seu poder calorífico e favorecendo o processo de combustão. Geralmente a câmara de secagem serve como um dispositivo de alimentação e, devido a seu contato e proximidade com a câmara de combustão, absorve parte do calor gerado secando os resíduos. A câmara de secagem é provida de uma gaveta com êmbolo que gradualmente empurra os resíduos para dentro da câmara.

*Câmara de combustão:* é onde ocorre a incineração. Em geral, a câmara é construída com tijolos refratários, revestida com isolamento ou totalmente irradiada. Alguns incineradores, como por exemplo os rotativos, têm duas câmaras, sendo uma de combustão e outra de pós-combustão. As câmaras rotativas são construídas em aço-carbono, com paredes espessas e revestidas internamente com material refratário a base de sílica-luminosa.

*Grelhas:* são dos dispositivos mais importantes na incineração, já que delas depende a eficiência do processo.

*Alimentadores de ar:* vem a ser o conjunto de tubulações, válvulas e ventiladores que fornecem o ar necessário à combustão.

*Queimadores:* constituem-se de dispositivos de partida do processo de combustão. Os queimadores de óleo, por exemplo, promovem a atomização do óleo combustível, com turbulência no interior da câmara de combustão, permitindo uma mistura homogênea ar-óleo-resíduos.

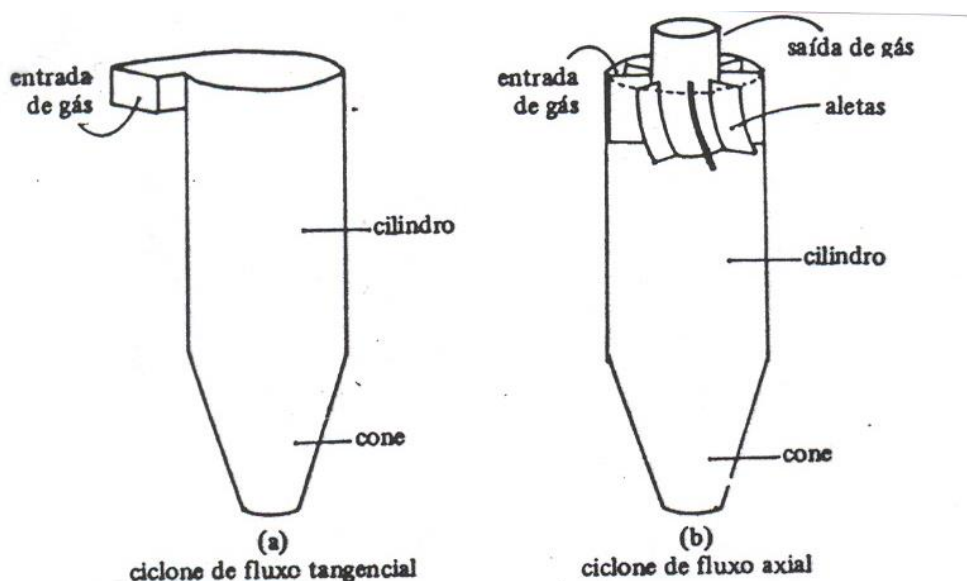
#### 12.4.2.4. Dispositivos de recuperação de energia

Quase todos os sistemas modernos de incineração dispõem de dispositivos de recuperação de calor. Geralmente os equipamentos destinados à recuperação de calor são denominados caldeiras. Existem inúmeros tipos de caldeiras, porém as mais frequentemente utilizadas em incineradores de lixo são as de tubos de água. Na caldeira o vapor é gerado em função da troca de calor com os gases inflamados do processo de combustão. O vapor pode ser usado diretamente ou transformado em energia elétrica por meio de instalações especiais, como as turbinas.

#### 12.4.2.5. Dispositivos de filtragem e tratamento dos gases

Os equipamentos adotados no controle da poluição atmosférica são diversos. A escolha e classificação dos mesmos dependem de fatores particulares determinados em estudos prévios. A prática recomenda a instalação de ciclones, precipitadores eletrostáticos e torres de lavagem de gases.

*Ciclones:* são dispositivos simples e fundamentados na ação gravitacional, na força inercial, na força centrífuga e na viscosidade dos gases. Em termos comerciais, dois tipos de ciclones são frequentemente preferidos: tangencial e axial, como na **figura 12.3**:



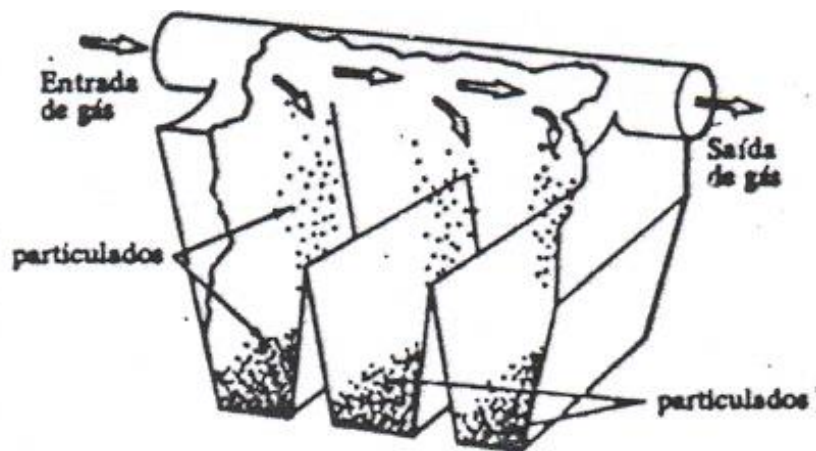
**Figura 12.3:** a) ciclone de fluxo tangencial; b) ciclone de fluxo axial (Lima, 1995).



A eficiência dos coletores mecânicos depende também do tamanho da partícula lançada no fluxo de ar. Os bons aparelhos garantem 80 a 99% de eficiência.

Outro tipo de coletor mecânico bastante utilizado em incineradores de lixo é a câmara gravitacional mostrada na **figura 12.4**.

Para incineradores de grande porte recomenda-se a instalação de precipitadores eletrostáticos devido à sua alta eficiência. A eficiência de captação de um precipitador eletrostático depende de muitos fatores, como: dimensão das partículas, composição física e química dos gases, temperatura de operação, resistência elétrica das partículas, poder de aderência da cinza, umidade dos gases e conteúdo de SO etc.



**Figura 12.4:** Câmara gravitacional.

Os precipitadores eletrostáticos baseiam-se no princípio de que um campo eletricamente carregado atrai corpos eletrostáticos. Existem basicamente dois tipos de precipitadores: *one-stage* e *two-stage*.

#### 12.4.2.6. Dispositivos de tiragem dos gases

O lançamento dos gases na atmosfera em incineradores de lixo é feito por aspiração, por meio de chaminés e ventiladores que aspiram os gases no interior do sistema. O tipo de chaminé mais empregado para este fim é o *multiflue*, que consiste de um duto de aço principal, envolvido externamente por uma carcaça de concreto, contendo em seu interior outros dutos menores que servem para aumentar a velocidade do fluxo.

### 12.5. MATERIAIS INDESEJÁVEIS NOS PROCESSOS DE INCINERAÇÃO

Em instalações rudimentares de incineração, especialmente na incineração a céu aberto que ocorre em lixões, diversos resíduos não separados adequadamente podem originar contaminação significativa. Como exemplo pode-se referir as pilhas usadas em equipamentos

eletrônicos, do tipo que ainda contém metais pesados (Cd, Hg), as baterias que são ricas em Pb, plásticos diversos que quando incinerados formam dioxinas.

Ressalte-se que desde a última década do século XX os incineradores já dispõem de tecnologia capaz de reter 99,999 % de metais e dioxinas. Isto permite a sua instalação nas proximidades dos centros geradores de resíduos, nas grandes cidades europeias.

## 13. COMPOSTAGEM

Neste capítulo abordaremos o conceito do processo de compostagem, os fatores que intervêm no processo, as fases do mesmo, aspectos epidemiológicos e parasitológicos, distintos processos para promover a compostagem e as vantagens e desvantagens da compostagem.

### 13.1. CONCEITO

A compostagem é um processo biológico de transformação da matéria orgânica crua em substâncias húmicas, estabilizadas, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem. Veja na figura abaixo o processo de compostagem realizado pelo DMLU em Porto Alegre.



**Figura 13.1:** Leira no pátio de compostagem de resíduos de poda, na Lomba do Pinheiro, DMLU – Porto Alegre.

Saiba que já há alguns anos o DMLU está impedido de compostar RSU, realizando a compostagem apenas de resíduos de poda e de alguns resíduos da CEASA (Companhia Estadual de Silos e Armazéns). *Qual a razão para este impedimento ?*

A empresa ADUBARE (Veranópolis-RS), de propriedade de um ex-aluno de disciplina IPH-026, realiza a compostagem de resíduos específicos, tais como:

- bagaço de prensagem de uvas pela indústria vitivinicultora;
- bagaço de laranja de indústrias de sucos;
- restos de aviários (pintos mortos e ovos podres);
- lodo de estações de tratamento de água;
- indústrias alimentícias;
- bagaço de prensagem de uvas e laranjas.

As **figuras 13.2 a 13.07** apresentam as instalações da empresa ADUBARE, em Veranópolis-RS.



**Figura 13.2:** Pátio de compostagem coberto.



**Figura 13.3:** Atividade de peneiramento do composto.



**Figura 13.4:** Processo de carregamento para uso agrícola do composto.



**Figura 13.5:** Controle da temperatura nas leiras de compostagem



**Figura 13.6:** Visita técnica da turma IPH-026, nas dependências da horta que aprovisiona o refeitório.



**Figura 13.7:** Aporte de resíduos de vitivinicultura e bagaço de sucos cítricos.

A ADUBARE conta com 12.000 m<sup>2</sup> de área coberta, e licença de operação para processamento de 147.000 t/ano de resíduos. Você pode conhecer a empresa em

[www.adubare.com.br](http://www.adubare.com.br). Na régua de navegação do site, é recomendável acionar as opções “produtos” e “serviços”.

*Substâncias húmicas ou húmus*: alguns componentes da matéria orgânica são utilizados pelos micro-organismos para formação de seus tecidos, outros são volatilizados e outros são transformados biologicamente em uma substância escura, uniforme, com consistência amanteigada e aspecto de massa amorfa, rica de partículas coloidais, proporcionando a esse novo material formado propriedades físicas, químicas e físico-químicas inteiramente diferentes da matéria-prima original. A essa substância dá-se a denominação de húmus.

A rapidez da decomposição se dá de acordo com a característica de cada material. Se a decomposição se dá em meio aeróbio, haverá consumo de  $O_2$ , e formação de gás carbônico e amônia, sendo a última liberada na atmosfera quando a matéria prima é muito rica em nitrogênio (baixa relação carbono/nitrogênio); é o caso da decomposição de resíduos animais, feita sem se juntar partes de plantas ricas em carbono; fatalmente haverá perda de nitrogênio. Como o metabolismo dos microrganismos é exotérmico, haverá despreendimento de calor, o qual se acumulará quando se tratar de um monte onde se procede à compostagem do material, uma vez que essa massa é um bom isolante térmico; como consequência, a temperatura se eleva, podendo atingir 70 a 80 °C. Com o prosseguimento do processo, e o desaparecimento dos materiais de fácil decomposição, a fermentação vai se tornando menos intensa, até desaparecer, quando o material é considerado estabilizado ou humificado. A **figura 13.8** apresenta o processo de reviramento de uma leira, quando o DMLU ainda compostava resíduos sólidos orgânicos domésticos. Na referida figura, observa-se o vapor que se desprende ao ser exposto o centro da leira, onde a temperatura é elevada.



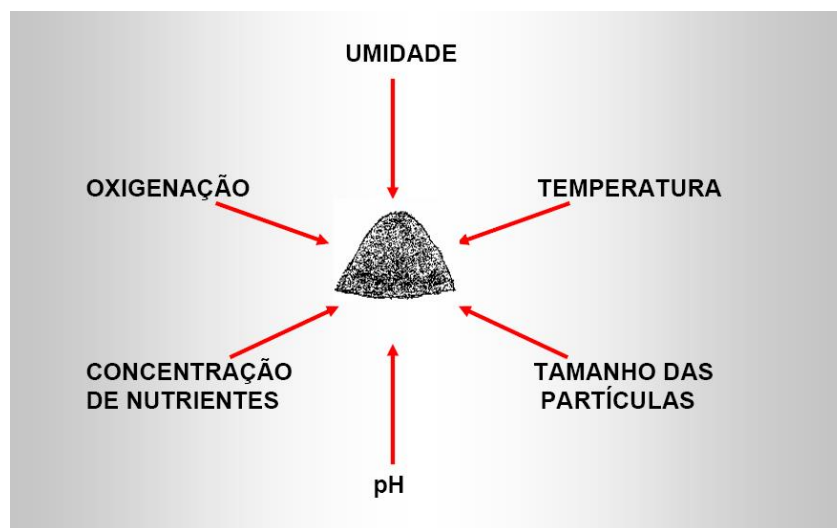
**Figura 13.8:** Processo de reviramento de leira no pátio de compostagem da Lomba do Pinheiro, do DMLU – Porto Alegre.

O valor de comercialização de composto, em Porto Alegre, em 2017, era:

- R\$ 5,00 a bolsa de 5 kg;
- R\$ 3,00 a bolsa de 2 kg.

### 13.2. FATORES INTERVENIENTES NO PROCESSO

Diversos fatores afetam a cinética do processo de compostagem: os microorganismos, a umidade, a temperatura, a relação C/N, o tamanho das partículas, o pH e a oxigenação. Estes fatores são comentados nos **itens 13.2.1 à 13.2.7**. A figura abaixo representa alguns destes fatores.



**Figura 13.9:** alguns dos fatores que afetam o processo de compostagem.

#### 13.2.1. Microrganismos

A transformação da matéria orgânica crua biodegradável, ao estado de matéria orgânica humificada, é um processo microbiológico operado principalmente por bactérias, fungos e actinomicetos. Durante a compostagem, há uma sucessão de predominância de microrganismos; é que, conforme a influência de determinados fatores, como a substância química da matéria prima que está sendo digerida com maior intensidade, a umidade, a aeração, o O<sub>2</sub>, o pH e a relação C/N, determinados microrganismos multiplicam-se mais rapidamente, predominando no meio em compostagem.

No início da decomposição de restos orgânicos, na fase mesófila, predominam bactérias e fungos mesófilos produtores de ácidos; a seguir, com a elevação da temperatura caminhando para a fase termófila, a população dominante será de actinomicetos, bactérias e fungos termotolerantes. Esta elevação de temperatura e consequente alteração da flora microbiana é influenciada, em grande parte, pelo aumento da disponibilidade de oxigênio; as pilhas de composto mais intensamente revolvidas no início do processo devem alcançar temperaturas elevadas, até 75 °C, enquanto as menos arejadas não chegam a ultrapassar 55 a 60 °C . Bactérias formadoras de esporos se desenvolverão em temperaturas acima de 70 °C. Passada a

fase termófila, o composto vai perdendo calor e retornando à fase mesófila, porém com outra composição química, já que açúcares e amido já devem ter sido consumidos; fungos e bactérias caracteristicamente mesófilos reaparecem (esta fase é mais longa). O processo termina com a fase criófila, quando a temperatura se aproxima ou é igual a ambiente. Nesta fase final em que a temperatura diminui, podem ser encontrados no composto protozoários, nematóides, formigas, miriápodes, vermes e insetos os mais diversos.

Resíduos vegetais pobres em microrganismos podem ser degradados, agregando-se como inóculo esterco de animais, lixo cru, lodo de esgoto, e outros materiais com fermentação espontânea, dispensando o uso de culturas puras de laboratório. Os indivíduos indígenas rapidamente multiplicam-se, sobrepondo-se aos de culturas puras mais exigentes, em termos de nutrientes, energia, reações do meio, etc.

*As bactérias são muito importantes na degradação de matéria orgânica, principalmente na fase inicial de decomposição, quando ocorrem elevados teores de umidade. Nesta fase atuam especialmente as *Bacillus subtilis* e as *Pseudomonas fluorescens*. As *Rhizobium*, por serem fixadoras de nitrogênio, são grandes aliadas na agricultura.*

Com bom arejamento da pilha de compostagem, os fungos, bactérias e actinomicetos reproduzem-se de forma muito significativa. Normalmente, ocorre:

- Bactérias mesófilas (início) → bactérias termófilas (45 - 55°C);
- Fungos (10º - 15º dia) → actinomicetos (na fase terminal do processo).

Fungos e actinomicetos são os menos exigentes em termos de umidade do meio de cultura; localizam-se na capa mais ressecada que envolve a pilha, a uma espessura de 10 - 15 cm, podendo ser vistos a olho nu. As duas figuras que seguem apresentam fungos no processo de decomposição resíduos alimentares.



**Figura 13.10:** fungos atuando em pão envelhecido.



**Figura 13.11:** processo de laranja em decomposição.

Os actinomicetos (ou actinobactérias) são filamentosos, muito similares aos fungos. Ocorrem nos solos, cumprindo importante função biológica. Alguns geram antibióticos, entre os quais a estreptomicina, descoberta em 1943 a partir da actinobactéria *Streptomyces griseus*. A estreptomicina, combinada com quimioterapia, revelou-se de grande valor na luta contra a tuberculose. Alguns anos após, já em 1952, o estadunidense Waksman, recebeu o prêmio Nobel por sua descoberta, de grande relevância para a medicina.

As bactérias desempenham seu principal papel na fase termófila, decompondo açúcares, amidos, proteínas e outros compostos orgânicos de fácil digestão. Já, os fungos e actinomicetos são os principais responsáveis pela degradação do material celulósico. Para preservar a boa atividade destes, não se deve, no final do processo, efetuar revolvimentos, que levariam para o interior da pilha, as camadas mais ricas em fungos e actinomicetos.

As bactérias exercem as seguintes funções:

- Decomposição da matéria orgânica animal ou vegetal;
- Aumento da disponibilidade de nutrientes;
- Agregação de partículas no solo;
- Fixação do nitrogênio.

Os actinomicetos são organismos intermediários entre as bactérias e os fungos (unicelulares), apenas menores que as bactérias. O pH afeta muito a sua atuação; não se tem desenvolvido culturas em baixas faixas de pH. Seu papel é pouco conhecido nas transformações do solo. São maus competidores, razão pela qual aparecem no meio quando escasseiam bactérias e fungos.

Dentre as funções exercidas pelos actinomicetos, podem ser referidas:

- Decomposição dos resíduos resistentes de animais ou vegetais;
- Formação do húmus;
- Decomposição em alta temperatura de adubação verde, feno, composto, etc.;
- Fixação do nitrogênio.

Os fungos são de grande interesse para a microbiologia associada à decomposição de resíduos, sendo largamente pesquisados por microbiologistas. São heterotróficos, que se nutrem de matéria orgânica inanimada ou até mesmo de hospedeiros vivos. São capazes de decompor resíduos complexos de plantas e animais, reduzindo-os a formas mais simples; por esta razão são denominados de *saprófitos*. Os fungos exercem uma atividade que muito contribui para a fertilidade dos solos.

Os fungos são organismos filamentosos, heterotróficos (sinônimo: *alotróficos*). Este termo indica que não são capazes de gerar seu próprio alimento por fixação de dióxido de carbono, alimentando-se então de outros compostos orgânicos ou inorgânicos.



Os fungos se desenvolvem em faixas baixas de pH, e também em altas (2 - 9). Não predominam na acidez por competição, mas pela falta de concorrência (ausência de bactérias e actinomicetos).

Os fungos exercem as seguintes funções:

- Decomposição dos resíduos resistentes de animais ou vegetais;
- Formação do húmus;
- Decomposição em alta temperatura de adubação verde, feno, composto, etc.;
- Fixação do nitrogênio.

### 13.2.2. Umidade

Na compostagem, a umidade é um fator extremamente importante, talvez o de maior relevância, pois os microrganismos não vivem na ausência da água. Deve-se buscar o equilíbrio entre a umidade e a aeração. Com a saturação de uma massa orgânica, todos os espaços serão tomados pela água; desidratando-se essa massa, todos os espaços serão tomados pelo ar.

A matéria orgânica a ser compostada deve ter umidade ótima de 50 %, entre um mínimo de 40 % e um máximo de 60 %. Materiais fibrosos podem iniciar o processo com umidades de 60 %. O lodo de esgoto, a borra de café oriunda da fabricação do café solúvel, substâncias de fina granulometria apresentam tendência a se compactar, necessitando que a umidade inicial seja inferior a 60 %. Caso não haja essa possibilidade, será necessário incorporar agentes, como serragem de madeira, para tornar a massa menos densa.

Em termos práticos, a redução/adequação da umidade pode ser conseguida iniciando-se o revolvimento no 3º dia, repetindo até o 10º ou 12º dia, conforme o seguinte esquema:

- Umidade entre 60-70 %: revolver cada 2 dias, 4 a 5 vezes;
- Umidade entre 40-60 %: revolver cada 3 dias, 3 a 4 vezes;
- Umidade < 40 %, requer irrigação, a não ser que o processo esteja no seu final.

A irrigação é feita só nos revolvimentos, com chuveiros de crivos finos. Assim, evita-se o lixiviado e formação de caminhos preferenciais para a água. Para irrigar as leiras adota-se o equipamento apresentado na figura seguinte: uma esterqueira acoplada à um trator. Na parte posterior da esterqueira há um bico aspersor, que pulveriza água com o equipamento em marcha.



**Figura 13.12:** Conjunto trator e esterqueira, adotado para irrigação das leiras na Usina de Compostagem da Lomba do Pinheiro, do DMLU – Porto Alegre.

### 13.2.3. Temperatura

O metabolismo dos organismos que atuam na compostagem é exotérmico. Na fermentação aeróbia, desenvolve-se um rápido aquecimento do material em compostagem, com a multiplicação da massa microbiana.

Quando o volume é pequeno, o calor se dissipa e o material não se aquece. Daí a necessidade de trabalhar em pilhas, que fazem com que a temperatura alcance valores elevados, até cerca de 80°C. As altas temperaturas são desejáveis porque destroem ervas daninhas e organismos patogênicos, que não resistem a 50-60°C por certo tempo. As faixas de temperatura que definem determinados grupos de organismos podem ser classificadas como consta na tabela seguinte:

**Tabela 13.1:** Grupos de microorganismos, por temperatura, no processo de compostagem.

Grupo de microorganismos	Temperatura mínima (°C)	Temperatura ótima (°C)
Criófilos	-	-
Mesófilos	15-25	25-40
Termófilos	25-45	50-55

A compostagem deve ocorrer nas faixas mesófilas e termófilas, pois isso acelera o processo. A faixa ideal é a que vai de 50 a 70 °C, considerando-se ótima a de 60°C. Há autores que preferem 50 a 60 °C.

As pilhas apresentam diferentes temperaturas da parte mais interna a mais externa; a temperatura ambiente não tem grande importância. Montada a pilha, ela alcança 40 – 50°C em 2 dias, podendo atingir 60 – 70 °C em 15 dias, dentro de condições favoráveis.

O desenvolvimento da temperatura relaciona-se a vários fatores: materiais ricos em proteínas, com relação C/N baixa, aquecem-se rapidamente; materiais moídos e mais homogêneos

formam montes com melhor distribuição e menor perda de calor; montes com materiais grosseiros, com boa aeração, alcançam altas temperaturas, mas perdem calor facilmente.

O controle da temperatura pode ser feito com o abaixamento da altura da pilha. Uma pilha com 1,5 m de altura, 70 °C, reduzida para 0,60 m, baixou em 3 horas para 65 °C. Reconstruída após 3 dias, em 24 horas o composto aqueceu-se novamente, voltando a 70 °C.

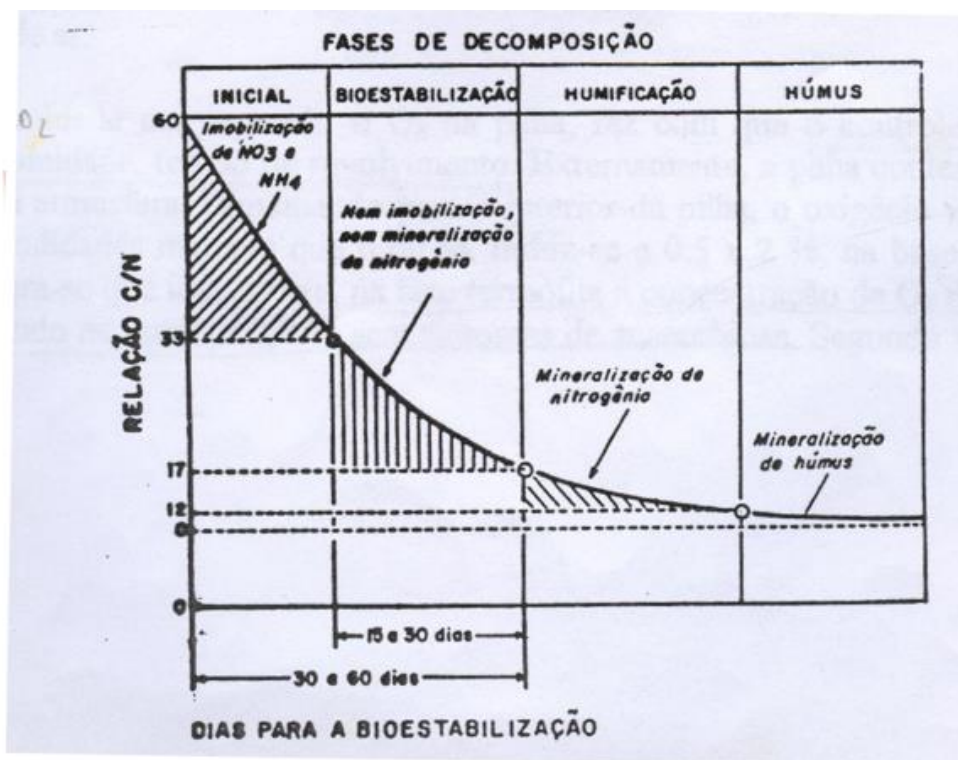
O revolvimento não evita que de 6 a 12 horas após haja a recuperação do calor.

#### **13.2.4. Relação carbono/nitrogênio**

Os microrganismos absorvem os elementos C e N em uma proporção de 30:1. Dez partes do C são incorporadas ao protoplasma e 20 eliminadas como gás (CO<sub>2</sub>); o nitrogênio é assimilado na proporção 10:1; daí a razão pela qual o húmus, produto da ação dos microrganismos, tem C/N na proporção 10:1.

Quando a relação C/N superar a 60:1, por exemplo, os microrganismos utilizam o nitrogênio mineral do solo ou dos organismos que morrem (NO<sub>3</sub> e NH<sub>3</sub>) transformando-o em nitrogênio orgânico. Diz-se que os microrganismos “emprestam” o nitrogênio e quando o excesso de carbono for eliminado, o material estará sendo mineralizado, ou seja, o nitrogênio orgânico insolúvel volta a ser mineralizado, solúvel.

Na figura seguinte, vê-se que para uma relação C/N de 60/1, levar-se-ia 30-60 dias para bioestabilizar a matéria orgânica; vê-se também que entre 33:1 e 60:1, o nitrogênio solúvel será transformado em orgânico, não solúvel, ficando imobilizado (por exemplo, na forma de C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NO<sub>2</sub>, tecido celular). Se a relação for 33, a matéria orgânica crua atingirá a bioestabilização em 15 a 30 dias; entre as relações 33 e 17, quando se está processando a bioestabilização, não haverá imobilização do nitrogênio mineral do solo, mas também não estará se dando o processo de mineralização (devolução do N “emprestado”), o que se dará efetivamente a partir de 17:1. Assim, ao se aplicar ao solo uma matéria orgânica com elevada relação C/N, pode-se produzir deficiências que podem até matar as plantas.



**Figura 13.13:** Variação da relação C/N durante o processo de compostagem.

**Obs:** na segunda ordenada “0” representada, leia-se “10”.

Quando ocorre o caso oposto, acontecem elevadas perdas de N na forma amoniacal, principalmente quando dos revolvimentos do material.

**Tabela 13.2:** Nitrogênio retido no composto conforme a relação C/N inicial do resíduo.

Relação C/N inicial	N final base seca (%)	N retido (%)
20	1,44	61,2
22	1,63	85,2
30	1,21	99,9
75	1,32	99,9
76	0,86	108,0

### 13.2.5. Tamanho da partícula

As dimensões ideais para a compostagem são da ordem de 1 a 5 cm. Se as partículas forem muito finas (ou emplastadas, como uvas esmagadas nas vinícolas), deve-se mesclar material sólido de sustentação (incorporação de vazios); se muito grossas, as partículas devem ser trituradas antes da montagem das leiras. No pátio de compostagem do DMLU adota-se um triturador, para transformar galhos de árvores em cavacos, para posterior destinação às leiras. O referido equipamento pode ser observado na figura seguinte.



**Figura 13.14:** Triturador para resíduos de poda, no pátio de compostagem do DMLU, em Porto Alegre.

### 13.2.6. pH

A compostagem aeróbia provoca a elevação do pH. Nos primeiros dias de compostagem, o composto pode tornar-se mais ácido, ainda devido à formação de ácidos minerais; estes logo desaparecem, dando lugar aos ácidos orgânicos, que vão reagindo com as bases liberadas da matéria orgânica, neutralizando e transformando o meio em alcalino.

### 13.2.7. Oxigenação

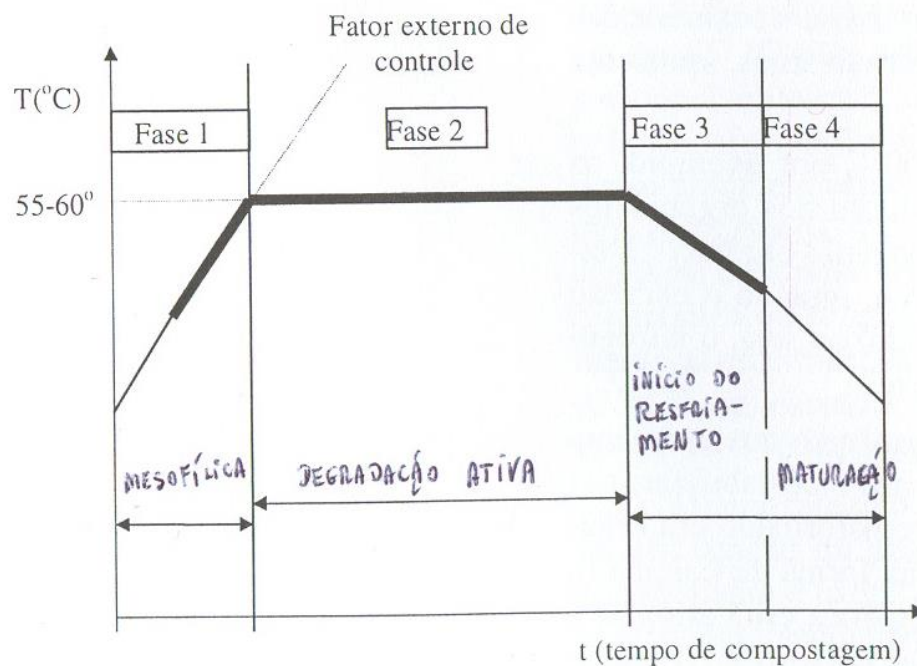
A compostagem deve ser realizada em ambiente aeróbio. Além de mais rápida e melhor conduzida, não produz mau cheiro nem proliferação de moscas. A aeração pode ocorrer por revolvimento manual ou por meios mecânicos, com insuflamento de ar.

A dificuldade em se medir o teor de oxigênio nos gases no interior da leira, faz com que o controle se realize pela temperatura, umidade, tempo de revolvimento. Externamente, a pilha contém 18 a 20 % de  $O_2$ , próximo a concentração normal na atmosfera; caminhando para o interior da pilha, o oxigênio vai baixando, até que em profundidades maiores que 0,60 m, reduz-se a 0,5 a 2 %, na base e no centro da pilha. Considera-se que idealmente, na fase termófila a concentração de  $O_2$  deva ser de 5 %, já se encontrando no entanto 0,5 % sem sintomas de anaerobiose.

Segundo a bibliografia, as necessidades de oxigênio são da ordem daquela que determina 0,3 a 0,6  $m^3/ar$  por  $kg.SSV(MO).dia$ .

## 13.3. FASES DA COMPOSTAGEM

O processo de compostagem apresenta quatro fases distintas quanto a evolução da temperatura. Os mesmos são apresentados na figura que segue.



**Figura 13.15:** Fases da compostagem durante processamento de material orgânico (Bidone e Povinelli, 1999).

Na figura acima, cada uma das quatro fases tem as seguintes durações:

*Fase 1:* de 12 horas até alguns dias;

*Fase 2:* note-se que ao se atingir 55-60 °C há um fator externo de controle da temperatura, que pode ser através de:

- reviramento (tombamento) da leira, com ou sem humidificação;
- aeração mecânica intermitente.

Esta fase 2 de degradação ativa tem a duração de 60 a 90 dias ao adotar-se o método tradicional (windrow), e duração de apenas 30 dias ao adotar-se o método de leiras estáticas aeradas;

*Fase 3:* ocorre aqui o início do resfriamento, processo que dura de 3 a 5 dias;

*Fase 4:* maturação com formação de ácidos húmicos (30-60 dias).

#### 13.4. ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS E PARASITOLÓGICOS

A compostagem é um processo desenvolvido por uma colônia diversificada de microrganismos. Nesta população, há organismos patogênicos de origem animal e humana. A compostagem elimina esses microrganismos patogênicos.

Relativamente a parasitas, trabalhos desenvolvidos recentemente com o húmus proveniente da usina de compostagem da CETESB em Novo Horizonte/SP, mostram que o composto produzido é praticamente isento de parasitas, podendo ser utilizado sem riscos como corretivo de solo e em qualquer tipo de cultura.

Os mecanismos que influenciam a eliminação de organismos patogênicos e parasitas são:

- Fim de substrato;
- Fatores antibióticos;
- Tempo de exposição a alta temperatura.

Dentre os mecanismos referidos, a temperatura é o fator mais importante. Como há variação de temperatura em dada seção de uma leira, é necessário monitorar o produto final. Este monitoramento é realizado por meio da análise microbiológica de organismos indicadores, para expressar a sobrevivência dos patogênicos. Estes organismos indicam:

- Perigo de contaminação pelo material analisado;
- A eficiência do processo;
- O estado de degradação alcançado.

O organismo indicador mais utilizado é a bactéria *Escherichia coli*. O composto é considerado seguro do ponto de vista sanitário quando apresentar concentrações de *Escherichia coli* inferiores a  $1,0 \cdot 10^2$  NMP/g.

Do ponto de vista parasitológico, o método utilizado para avaliação é o da sedimentação espontânea, de Pons e Janer, que propõe a visualização e identificação de parasitas com a utilização de microscópio.

### 13.5. TIPOS DE PROCESSOS DE COMPOSTAGEM

De uso mais difundido no Brasil, destacam-se atualmente três tipos de processos de compostagem:

- Processo Dano;
- Processo Windrow;
- Processo das Leiras Estáticas Aeradas.

No Rio Grande do Sul adota-se o processo Windrow em quase todas as instalações, exceto na empresa ADUBARE (Veranópolis-RS), que adota o processo de leiras estáticas. Até recentemente as mesmas eram aeradas por insuflamento de ar por ponteiras, mas devido ao dispêndio de energia elétrica, atualmente se procede a reviramentos periódicos.

A usina Dano de compostagem é normalmente formada por quatro blocos distintos: recepção, triagem, peneiramento e descarga do composto cru.

As vezes são introduzidas alterações sobre o esquema básico mencionado, como no caso de usinas construídas em terrenos muito inclinados, que admitem a eliminação da correia transportadora e elevadora entre a recepção e a triagem, permitindo um edifício único para essas duas operações.

Além dos blocos mencionados, todas as usinas de compostagem pelo método acelerado possuem balança rodoviária na entrada, para controle do recebimento de resíduos e da saída de composto e de outros produtos e rejeitos.

No edifício de recepção, o resíduo encaminhado pelos veículos de coleta é descarregado em fossos de concreto, pelo fundo dos quais corre em seu sentido longitudinal um transportador de placas de aço articuladas fixadas a duas correntes de acionamento. Essas fossas podem estar dispostas no sentido de descarga dos veículos coletores ou em ângulo reto, de acordo com o espaço disponível.

Quando os RS são descarregados em sentido transversal ao movimento da esteira transportadora, há condições para dois ou três veículos descarregarem ao mesmo tempo, porém isso torna a instalação com dimensões maiores no sentido da sua largura, exigindo uma maior área construída.

No edifício de triagem, o resíduo proveniente do fosso de recepção, através de correia transportadora inclinada, é transferido para outra correia horizontal, chamada mesa de catação (**Figura 13.16**). Nessa mesa de catação ou de triagem, são separados manualmente materiais reaproveitáveis, tais como: papelão, garrafas, cacos de vidro, plástico, trapos, alumínio, cobre, chumbo, ossos, etc., de acordo com as condições locais de mercado que justifiquem a sua triagem e comercialização. Esses materiais são lançados em tremonhas especiais, uma para cada tipo de material. No final dessa mesa de catação o resíduo passa sobre um extrator magnético provido de uma transportadora transversal, de borracha, munido de taliscas, para a retirada do material ferroso.



**Figura 13.16:** Mesa de catação do DMLU, na Estação de Transbordo do DMLU, Porto Alegre.



A mesa de catação das usinas brasileiras pelo processo Dano tem sua correia transportadora com velocidade por demais elevada, pois a velocidade deve estar próxima de 0,2 m/s para dar tempo ao operário de reconhecer os produtos a serem separados e executar a triagem.

Os extratores magnéticos das usinas Dano brasileiras são de pequena potência, da ordem de 4 kw, e instalados de forma a apresentar baixo rendimento. A localização ideal é sobre correia transportadora no mesmo sentido, no ponto de queda livre dos resíduos, ao final da mesa de triagem.

Nessas instalações dificilmente o extrator magnético consegue retirar mais de 25 % do material ferroso contido nos resíduos.

O bioestabilizador é um cilindro metálico horizontal com diâmetro interno de 3,5 m de comprimento padrão de 28 m, que originalmente gira 0,85 rotações por minuto durante o dia e a um terço dessa rotação à noite. A tendência é somente utilizar a rotação diurna, continuamente, a fim de aumentar a capacidade de tratamento, melhorar a homogeneização do produto e melhor triturar a matéria orgânica contida. As usinas estão aumentando essa rotação para 2 rpm com grande sucesso, apesar de exigir uma manutenção mais a miúdo pelo maior desgaste, pois com essa alteração um bioestabilizador fornecido para tratar 50 t/dia pode passar a triturar 200 t/dia, deixando de ser um digestor pela redução do tempo de retenção. As usinas de São Paulo que adotaram esse expediente passaram de usinas de método acelerado para usinas de método natural, e por falta de pátio não produzem composto, e sim um pré-composto, para cura em outro local.

Originalmente, a introdução de ar nos biodigestores se efetuava através de seis caixas, doze no caso dos biodigestores importados de Brasília, contando cada um com 8 válvulas; a tendência é eliminar as caixas com válvulas por um sistema de introdução de ar num ponto único, localizado no centro da tampa de saída.

Na tampa de saída existe uma porta corrediça setorial, que controla a descarga do material. Quando a rotação do biodigestor é aumentada, torna-se necessário reduzir a abertura da porta, para não esvaziá-lo completamente de imediato.

A parte final do tambor, no lado de descarga, é toda furada ao seu redor, com furos de 7,5 cm de diâmetro, agindo como peneira rotativa, porém com a finalidade de promover uma descarga razoavelmente homogênea durante a volta do tambor e não somente quando a porta setorial estiver no ponto baixo, não agindo, portanto, como separador de material de acordo com sua granulometria. Esse recurso é utilizado por ser relativamente pequena a largura de abertura da descarga em relação à circunferência do tambor, da ordem de 10 %.

Nas novas instalações, essa peneira é utilizada para separar as peças maiores, aliviando, assim, a peneira rotativa que vem a seguir. As peneiras rotativas estavam recebendo todo o material que atravessa o biodigestor, sobrecarregando-as.

A peneira que recebe, por meio de um transportador decorreia inclinado, o material descarregado pelo biodigestor, originalmente vibratória, com 4,0 m de comprimento por 1,0 m de largura, passou ou está passando a ser rotativa, com 8,0 m de comprimento por 1,4 m de diâmetro e com a rotação de 6 rpm e uma inclinação de cinco graus.

O material que não atravessa a peneira é considerado rejeito, podendo sofrer uma segunda triagem, e é levado para o aterro sanitário ou incinerado no local para fornecimento de calor para a secagem do composto.

O material que atravessou os furos da peneira era levado ao quarto bloco, onde um separador balístico retirava as partículas duras pequenas, com cacos de vidro ou porcelana, pedras, moedas, etc. Porém, está sendo desativado com a introdução de peneira rotativa com furos de 25 mm. Devido ao elevado teor de umidade encontrado em nosso resíduo doméstico, junto com o material duro também passa pelo separador gravimétrico matéria orgânica de pequena granulometria, razão pela qual era vendido como composto de segunda, a fim de ser aplicado em fundo de cova por ocasião do plantio das árvores, como meio drenante.

O composto cru é levado ao pátio de cura, a fim de sofrer a complementação da degradação da matéria orgânica, pelo prazo mínimo de 60 dias, em leiras de 1,50 a 1,80 m.

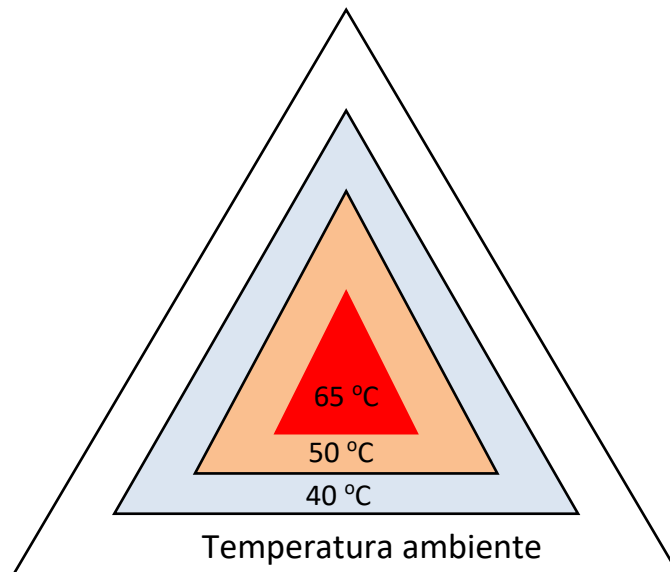
As usinas com reviramento tipo “windrow” e as com leiras estáticas aceleradas são as mais adequadas às comunidades de pequeno e médio porte, em função de exigirem menores valores de investimentos em sua implantação e dispenderem menores custos em sua operação.

A confecção das pilhas ou leiras apresenta similitude, sendo a diferença fundamental entre ambas, a forma de injeção de ar na massa de resíduos e por decorrência, a maneira de como é introduzido o oxigênio no material em compostagem.

Tanto as leiras tipo “windrow” como as estáticas aceleradas, são construídas com alturas que variam de 1,50 a 1,80 m, com larguras de 2,50 a 4,50 m. A sua forma pode ser piramidal em cunha, ou tronco-piramidal, de acordo com as condições pluviométricas locais. Se, dependendo das condições climáticas, for necessária a manutenção de maior umidade nas leiras, a opção deve recair na forma tronco-piramidal. Nas leiras tipo “windrow” com reviramento manual ou mecânico, a sistemática de revolvimento oportunizará em cada revolvimento, a reposição da umidade adequada ao desenvolvimento do processo. Nas estáticas aceleradas, há que se realizar um controle mais rigoroso sobre a massa em compostagem, com extração periódica de amostras com a análise de sua umidade, e sua reposição, se necessário.

O controle de temperatura nas leiras tipo “windrow” é realizado concomitantemente pelas operações de revolvimento e reposição de umidade. A proteção das leiras contra as intempéries é conseguida com a colocação de uma camada externa de material humificado, que funciona também como filtro para gases fétidos.

O tempo de compostagem nas leiras “windrow” é da ordem de 60 - 90 dias, mais 45 - 60 dias para a humificação. A figura abaixo mostra a seção de uma leira com reviramento tipo “windrow”, com as temperaturas ideais que deveriam ocorrer durante o processo.



**Figura 13.17:** Perfil de uma leira, com representação de temperaturas.

Nas leiras estáticas aceleradas, a compostagem é realizada com o insuflamento de “ar forçado” na massa em degradação. Com isto, necessita de equipamentos de controle, bem como de dispositivos adequados à perfeita difusão do ar na leira. Isto pode ser conseguido com o uso de tubos de PVC DN 150, com furos de 1/2” a 1” a cada 10 cm. Um soprador de ar de 0,5 HP, “soprando” 2 minutos a cada 30 minutos, garante a degradação de 30 t de matéria orgânica.

Nestas leiras, dado o insuflamento mecânico de ar, a degradação ocorre em menor tempo, sendo esta uma das grandes vantagens do processo sobre o tipo “windrow”. A eliminação de patogênicos da massa ocorre em 15 dias; em 30 dias, a estabilização; em 45 - 60 dias, o material estará humificado.

A figura seguinte apresenta o processo de formação da base de uma leira estática aerada. O acionamento da aeração é comandado por um termostato que aciona a aeração ao atingir-se temperatura pré-determinada, geralmente de 65 °C. Geralmente a cada meia hora a ventilação funciona de 2 a 3 minutos.



**Figura 13.18:** Montagem da base de leira estática aerada, observando-se a instalação do termostato que aciona a aeração.

### 13.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA COMPOSTAGEM

A compostagem apresenta as seguintes vantagens:

- . Rápida degradação da matéria orgânica;
- . Matéria prima para fertilizantes;
- . Condicionador de solos;
- . Fonte de macro e micronutrientes.

Como desvantagem do processo de compostagem, cabe referir que a mesma não dispensa o aterro sanitário para disposição de rejeitos. Isto nos convida às atenções que seguem:

- Maximizar iniciativas de reuso e reciclagem;
- Desenvolver novos materiais;
- Rever hábitos de consumo.

As três iniciativas acima serão abordadas em um próximo capítulo desta disciplina.

## 14. VERMICOMPOSTAGEM

O conteúdo deste capítulo tem como fonte o livro *Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos* (Bidone e Povinelli, 1999). O primeiro dos autores foi o primeiro professor do IPH a atuar com ênfase em resíduos sólidos. O segundo, de reconhecida atuação em âmbito nacional, foi seu orientador no curso de doutorado, na EESC-USP.

### 14.1. CONCEITO

A vermicompostagem é um processo no qual se utilizam as minhocas para digerir a matéria orgânica, provocando sua degradação, melhorando o arejamento e a drenagem do material em fase de maturação.

As minhocas são vermes, daí o processo tomar o nome em inglês de vermicomposting, originando em português o neologismo vermicompostagem; em nosso meio há os que preferem a denominação vermicultura.

A vermicompostagem é um processo de dois estágios. Primeiro, a matéria orgânica é compostada de acordo com os padrões normais, em função da variante de processo utilizada, com redução de microrganismos patogênicos e retorno à condição de temperatura ambiente. Após a estabilização da temperatura, o material compostado é transferido para leitos rasos, para não se aquecer demasiadamente e não se compactar, pois os materiais de granulometria fina tem essa tendência. Faz-se então a inoculação das minhocas, e 60 a 90 dias após, obtém-se o vermicomposto, com aumento de macro e micronutrientes e a formação de um húmus mais estável.

À semelhança da compostagem, a vermicompostagem depende de algumas condições que devem possibilitar a ação das minhocas. O processo de compostagem, que desejavelmente deve preceder a vermicompostagem, tem a relação C/N ideal entre 26 e 35. A vermicompostagem atua com rendimento ótimo sobre um composto com relação C/N 10 a 12, produzindo um vermicomposto com relação C/N igual a 5, ou seja, o vermicomposto é mais rico em nitrogênio que o composto. Cabe destacar que as minhocas podem atuar sobre resíduo orgânico fresco, com relação C/N elevada, de forma mais lenta, desde que resíduos não ultrapassem 2 mm e que os canteiros sejam baixos para que a temperatura não se eleve pela digestão aeróbia. A experiência da CETESB, em Novo Horizonte SP, vermicompostando material compostado convencionalmente, sugere que as minhocas atuam bem em relações C/N da ordem de 10, resultando no vermicomposto uma relação C/N em torno de 5.

As minhocas preferem esterco a outros alimentos, porém engolem toda matéria orgânica desde que não seja muito ácida e não tenha cheiro pronunciado, o que permite inferir-se que as mesmas atuam em ampla faixa de pH.

As minhocas só podem ser introduzidas no material a ser vermicompostado quando a temperatura deste estiver entre 20 e 28 °C (morno ao tato); do contrário, elas fugirão ou morrerão. Isto se consegue com a construção de pilhas baixas, com no máximo 0,30m.

A umidade abiótica do material a ser vermicompostado deve situar-se na faixa de 70-75%.

As pilhas devem ser também protegidas contra os inimigos naturais das minhocas: pássaros, sanguessugas terrestres, formigas e centopéias.

#### 14.2. A MINHOCA, PARTÍCIPE PRINCIPAL DA VERMICOMPOSTAGEM

As minhocas são vermes segmentados, do tipo *Anelida*, compostas de divisões chamadas metâmeros, muito semelhantes a anéis, razão pela qual são chamados anelídeos. São parcamente dotadas de órgãos dos sentidos não ouvem, possuem olfato muito fraco e não tem olhos. Sofrem, no entanto, de fotofobia, tem aversão à luz ultravioleta que lhes é fatal. A radiação solar constitui-se num sério e letal perigo, pois que as desseca rapidamente; a umidade é imprescindível para a sua sobrevivência. Possuem o sentido do tato bem desenvolvido.



**Figura 14.1:** Minhoca, observando-se o clitelo próximo da extremidade superior.

Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/9891513/>

As minhocas pertencem à classe dos *oligochaetas*, do grego *oligo* = pouco e *chaeta* = cerda, espinho. As cerdas das minhocas são úteis no processo de locomoção. Através das cerdas, podem exsudar um líquido quando excitadas ou quando encontram terra seca. São animais hermafroditas, pois possuem os dois aparelhos reprodutores feminino e masculino em um mesmo indivíduo; todavia, as minhocas não se auto fecundam. Para haver fecundação, é preciso que dois vermes se justaponham realizando, numa cópula recíproca, a permuta de sêmen.

São pecilotermos (sangue frio), tais como peixes e anfíbios. A temperatura do seu corpo acompanha a do meio ambiente. Recolhem o oxigênio pela pele e liberam o dióxido de carbono; transferem, por isso, uma sensação de frio ao serem tocadas.

### 14.3. O AMBIENTE NATURAL

O habitat natural ideal para as minhocas é, em geral, aquele apresentado pelos solos úmidos, porosos, fofos, nitrogenados, ligeiramente alcalinos, que contenham reservas de nutrientes formados pela decomposição de vegetais ou de outros materiais. Bastam-lhes 3 mg/l de O<sub>2</sub> para que vivam e proliferem. Preferem temperaturas entre 12 e 25 °C. Em solos encharcados, fogem para a superfície, não pela presença excessiva de água, mas pela falta de oxigênio; o CO<sub>2</sub> liberado não consegue dissipar-se no exterior devido à camada líquida que o retém. A aeração do meio ambiente, a porosidade do solo, a estabilidade da temperatura nas faixas ideais, são fatores complementares que participam da proliferação desse anelídeos.

### 14.4. ANATOMIA E DA REPRODUÇÃO DAS MINHOCAS

As minhocas são animais segmentados, com um número de segmentos que aumenta com a sua idade. A boca das minhocas localiza-se no primeiro segmento anterior, e é semelhante a uma mini-tromba, denominada prostômio. É um lóbulo carnoso, expansível e em contínua movimentação. O ânus localiza-se no último segmento e apresenta a forma de fenda vertical.

Na superfície externa do corpo das minhocas, encontram-se vários orifícios: orifícios genitais masculinos, orifícios genitais femininos, orifícios das espermatecas e poros dorsais. Em cada segmento, observa-se pontos claros, que vistos com lente de aumento, aparecem constituídos por uma série de pequenos espinhos amarelados e voltados para trás são as cerdas. Estas estruturas auxiliam na locomoção, na retração ou extensão dos anéis, empurrando uma parte do corpo do animal para frente a arrastando cada parte para junto da anterior. Servem também de apoio de elementos de fixação no ato do acasalamento. As cerdas são em número de oito (4 pares), para cada um dos anéis, do segundo até o penúltimo.

Entre os anéis 32 e 37, apresentam uma formação distinta, de coloração branco-amarelada, chamada clitelo, responsável pela formação de um invólucro que contém ovos fertilizados, denominado casulo.

O processo de formação do casulo inicia-se 48 horas depois da copulação, normalmente praticada por dois exemplares de mesmo tamanho, colocados em posição (sentido) contrário, de tal forma que seus clitelos coincidam com os anéis entre 7 e 12 do parceiro, ventre a ventre, ocorrendo a transferência de esperma de um verme para o outro.

O casulo é formado por uma camada mucosa produzida sobre o clitelo que, exposta ao ar, endurece paulatinamente. O animal, retraindo-se, faz com que essa camada se desloque para diante. No seu interior são depositados aproximadamente 20 óvulos pelo oviduto que se abre na região do próprio clitelo. Quando o anel ou camada passa pelas espermatecas, recebe espermatozóides que irão fecundar os óvulos. O interior do casulo é preenchido por substância albuminóide, da qual se nutrem os embriões.

Os casulos são expelidos por uma contração do animal. Dada a sua elasticidade e viscosidade, fecha-se hermeticamente ao se separar do corpo, ficando depositado no solo. Em poucos dias

duas a três semanas eclodem os ovos; de cada casulo, contendo de 10 a 20 ovos, desenvolvem-se duas a três larvas, em média. A minhoca recém-nascida apresenta cor branca e comprimento aproximado de 1 mm. Após alguns dias de vida adquire a cor natural da espécie. Cresce rapidamente e atinge a maturidade sexual em 30 dias, sob condições favoráveis. Dependendo da espécie, são produzidos de três a mais de 50 casulos por minhoca/ano.

A *Eisenia foetida*, verme mais comumente adotado na vermicompostagem, fornece um casulo a cada cinco dias, quando em cativeiro.

Relativamente à anatomia interna das minhocas, ressalta-se que as mesmas são dotadas de cérebro, cinco corações, papo, moela e intestinos. O aparelho digestivo destaca-se das demais estruturas; trata-se de um tubo que se estende desde a boca até o ânus, possuindo várias dilatações no seu trajeto. Destacam-se então a faringe, onde o alimento recebe saliva que contém muco para facilitar o deslocamento, e enzima que ataca proteínas; a moela, onde o alimento já amolecido é triturado pela ação da sua forte musculatura e dura cutícula; intestino propriamente dito, onde ocorre a presença de vários fermentos digestivos.

O sangue das minhocas é vermelho (contém hemoglobina).

Os rins são substituídos por um complexo e perfeito sistema de nefrídios, pelos quais são eliminados os excessos de amônia, ureia, creatina e demais substâncias descartáveis. A umidade necessária à sobrevivência do animal é perfeitamente controlada e vigiada pelo complexo nefrídio.

Outro aspecto interessante desses vermes está relacionado com a sua capacidade de regeneração orgânica. Sabe-se que se seccionadas entre o anel seis ou nove incluindo a boca e certa região do cérebro elas podem recompor essa áreas segmentais.

Embora certos autores definam como tempo de vida das minhocas períodos de um a dois anos, outros a consideram um animal imperecível, devido jamais ter sido registrada a morte de uma minhoca por envelhecimento.

#### 14.5. FASES DA VERMICOMPOSTAGEM

O conteúdo deste **item 14.5** tem como fonte Bidone e Povinelli (1999), exceto quando citada referência.

As minhocas ingerem aproximadamente o equivalente ao seu peso por dia. Um critério empírico bastante adotado é distribuir sobre a leira um número absoluto de indivíduos por metro quadrado. Este número vem da experiência e pode ser encontrado em referências constantes de trabalhos com substratos similares.

Para períodos de vermicompostagem de 60-90 dias, observa-se que o máximo número de minhocas ocorre entre 2 a 5 semanas do inoculo, mantendo-se o número de indivíduos de 2 a 7 semanas, presença de 90% de 8 a 9 semanas e queda para 40% de animais após 10 semanas



de processamento. Minhocas morrem em meios que contêm quase que só seus excrementos. Assim, na medida em que se atinge a humificação, o número de indivíduos decresce.

Em 2017 o valor de uma bolsa de 1,5 kg de húmus de minhoca, em supermercados de Porto Alegre, era de R\$ 6,90.

A figura que segue apresenta bolsas de húmus, produto que aumenta a fertilidade dos solos.



**Figura 14.2:** bolsa de húmus para comercialização.

Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/9891513/>

#### 14.6. ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS E PARASITOLÓGICOS

O conteúdo deste **item 14.6** tem como fonte Bidone e Povinelli (1999).

O substrato a ser processado na vermicompostagem deve passar por uma prévia compostagem aeróbia, na qual a temperatura elevada que se desenvolve assegura uma garantia sanitária do material que será submetido às minhocas, pela erradicação de patógenos.

Em instalações de vermicompostagem bem conduzidas, que usam resíduos sólidos urbanos, não se encontra ovos, cistos ou parasitas de organismo humano viáveis após o processamento, ainda que as populações de coliformes fecais pouco sejam reduzidas pela ação das minhocas. Pode-se afirmar que o vermicomposto produzido a partir da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos é sanitariamente seguro.

#### 14.7. UNIDADES EMPREGADAS NA VERMICOMPOSTAGEM

O conteúdo deste **item 14.7** tem como fonte Bidone e Povinelli (1999).

A vermicompostagem pode ser desenvolvida visando pesquisa, ou visando produção em escala industrial. Em ambos os casos, o objetivo pode ser a produção de minhocas ou de vermicomposto. Para fins de pesquisa podem ser utilizados recipientes de dimensões

reduzidas. Já em escala industrial as leiras são montadas em amplos pátios levemente inclinados, não precisando de revestimento especial. Os canteiros tem 1,50m de largura e comprimento bastante variável, objetivando dar facilidades para o trabalho a ser desenvolvido. A altura do substrato é adotada como 0,30m. As laterais dos canteiros são em paredes de alvenaria ou até mesmo de tábuas escoradas por estacas de madeira. Assim as minhocas ficam protegidas de predadores. A proteção das leiras contra insolação e evaporação é obtida pela cobertura das mesmas com *sombril*, uma espécie de tela que também protege as minhocas da ação predadora de pássaros. A **figura 14.3** apresenta uma cobertura com *sombril*.



**Figura 14.3:** O *sombril* proporciona sombreamento com um baixo custo.

Fonte: <http://www.toldos.srv.br>

#### 14.8. INÓCULO COM MINHOCAS / CONDUÇÃO DO PROCESSO

O conteúdo deste **item 14.8** tem como fonte Bidone e Povinelli (1999).

Montadas as leiras, procede-se ao inóculo com as minhocas, operação que deve ser feita pela manhã e em dia ensolarado. Devido a sua fotofobia os indivíduos rapidamente penetrarão na leira. O inóculo pode ser feito de duas formas, a saber:

- número absoluto de minhocas adultas por metro quadrado de leira;
- peso de minhocas adultas relacionado ao peso de substrato colocado nas leiras e no tempo estabelecido para o desenvolvimento do processo.

Na primeira situação acima adota-se de 1.500 a 2.500 minhocas/m<sup>2</sup> de superfície. Este é um critério que assume uma altura de substrato de 0,30m. Assim, a humificação ocorre entre 45 e 60 dias, sempre que o resíduo seja facilmente degradável e a minhoca seja a *Eisenia foetida*.

Um controle mais efetivo sobre os tempos de processamento são obtidos quando se adota um peso de vermes relacionado ao peso de substrato encaminhado para vermicompostagem. Cada

minhoca ingere seu peso por dia. Assim, fixando como 60 dias o tempo de processamento, basta inocular o meio a ser humificado com 1/60 de minhocas em peso.

A umidade ótima abiótica para o substrato a vermicompostar é de 60%-80%, assegurada por rega com água de boa qualidade. Em se adotando água tratada esta deve ficar em repouso em recipiente aberto, com área considerável, para volatilização do cloro residual.

Amostragens a cada 15 dias nas leiras para avaliar concentrações de carbono e nitrogênio permitem estimar o estágio de humificação. Quando a relação C/N estiver entre 10:1 e 5:1 o substrato está atingindo ou atingiu a estabilização biológica.

#### 14.9. USOS DO VERMICOMPOSTO

O conteúdo deste **item 14.9** tem como fonte Bidone e Povinelli (1999).

O principal uso do vermicomposto é na agricultura, como corretivo e fertilizante de solos. A sua característica orgânica traz os seguintes benefícios para o solo:

- é um produto natural;
- pode ser usado em qualquer cultura;
- evita ou reduz o uso de fertilizantes químicos;
- melhora a porosidade e aeração do solo, tem grande capacidade de absorção de umidade e disponibiliza macro e micronutrientes para as plantas;
- favorece a proliferação de microrganismos de solos;
- aumenta a CTC (capacidade de troca de cátions);
- por possuir reação alcalina, eleva o pH do solo, corrigindo a acidez.

**Saiba mais:** Pelo link abaixo você pode acessar artigo da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias) que trata do processo de vermicompostagem.

[https://issuu.com/organicsnet/docs/minhocultura\\_ou\\_vermicompostagem](https://issuu.com/organicsnet/docs/minhocultura_ou_vermicompostagem)

## 15. RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

Consideram-se resíduos sólidos industriais os efluentes resultantes do processamento industrial, inclusive alguns líquidos que não podem ser tratados por métodos convencionais e que, por suas propriedades, não podem ser lançados em redes de esgoto ou em cursos de água. A diversidade dos processos industriais implica em que, para classificar os resíduos, adotem-se os critérios referidos Capítulo 2 do Módulo 1 das notas de aula. Assim, os resíduos podem ser perigosos (classe I) ou não perigosos (classe II). Os dito não perigosos dividem-se em dois subgrupos: não-inertes (classe II A) e inertes (classe II B). A referida classificação de resíduos sólidos é a que segue a ABNT 10004/2004, devendo-se destacar que a quase totalidade da bibliografia hoje disponível já está desatualizada quanto a esta classificação recentemente proposta. Pela classificação que vigia até 2004, os resíduos eram classificados em classes I, II ou III, respectivamente: perigosos, não inertes e inertes.

### 15.1. RESÍDUOS PERIGOSOS, NÃO-INERTES E INERTES

Segundo a classificação apresentada a partir dos aspectos referidos no Capítulo 2 das notas de aula, define-se entre a periculosidade ou não de um determinado resíduo sólido industrial, ou de seu enquadramento como material não inerte ou inerte.

### 15.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA

Uma vez classificado um resíduo industrial em Classe I, II A ou II B, é importante proceder a caracterização física e química do mesmo. Assim, torna-se possível o estabelecimento das diretrizes que norteiam a elaboração dos programas institucionais de minimização, as operações de acondicionamento, coleta e transporte, a definição das técnicas de tratamento e a disposição final mais adequada ao material em questão. Os ensaios de lixiviação e solubilização são instrumentos que permitem a classificação, mas não exploram circunstâncias que, embora complementares, assumem definitiva importância, principalmente quando se está planejando como tratar determinado resíduo.

### 15.3. GERENCIAMENTO E MINIMIZAÇÃO

Em um programa de minimização de resíduos, dois aspectos principais devem ser analisados:

- redução de resíduos na fonte geradora;
- reciclagem de resíduos.

Na primeira hipótese, os objetivos podem ser alcançados em um primeiro momento mediante a substituição e purificação de matérias primas.

No caso da reciclagem, bons resultados têm sido obtidos em experiências com resíduos sólidos de origem doméstica. O reaproveitamento de matéria orgânica como corretivo de

solos, o reuso de papéis evitando o corte de árvores, a reciclagem de recipientes de alumínio como matéria-prima para fabricação de produtos diversos são exemplos clássicos. No tocante a reciclagem de latas de alumínio, o Brasil é o país que mais recicla estas embalagens.

#### 15.4. ACONDICIONAMENTO, COLETA E TRANSPORTE

O acondicionamento e coleta dos resíduos sólidos industriais devem ser feitos em recipientes de material compatível com os resíduos. A área de armazenagem deve atender a Portaria Minter nº 124, de 20/08/80, e a normatização brasileira.

No Brasil o meio de transporte externo mais usual é o transporte rodoviário, que envolve maiores riscos, e por isto possui alguns instrumentos legais voltados à normatização de atividades específicas de armazenamento e transporte. De forma não exaustiva, podem ser referidas:

- NBR 12335:1992. Armazenamento de resíduos sólidos perigosos – Procedimento.
- NBR 7500:2017 – Versão corrigida:2017. Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos.
- NBR 7.501:2011. Transporte terrestre de produtos perigosos – Terminologia.
- NBR 7503:2017. Transporte terrestre de produtos perigosos – Ficha de emergência e envelope para o transporte – Características, dimensões e preenchimento.

**Convite:** Conheça a NBR 7503:2017, acima referida. Clique no link abaixo e informe seu e-mail, para acesso a versão de visualização.

[www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/35704/nbr7503-transporte-terrestre-de-produtos-perigosos-ficha-de-emergencia-e-envelope-para-o-transporte-caracteristicas-dimensoes-e-preenchimento](http://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/35704/nbr7503-transporte-terrestre-de-produtos-perigosos-ficha-de-emergencia-e-envelope-para-o-transporte-caracteristicas-dimensoes-e-preenchimento)

#### 15.5. TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL

As principais técnicas de tratamento de resíduos sólidos industriais utilizadas na atualidade, são os aterros industriais, os sistemas de landfarming/landspreading e a estabilização/solidificação.

*Aterros industriais:* destinam-se ao recebimento de resíduos industriais, sendo unidades similares aos aterros sanitários, porém com elementos adicionais de proteção ambiental.

*Landfarming:* neste método de tratamento, o substrato orgânico do resíduo é degradado biologicamente na camada superior do solo (camada reativa) e a parte inorgânica é fixada nesta camada por meio de princípios adsorptivos e quelantes. É um processo aberto, sem impermeabilização superior ou de fundo. É mantido um controle das concentrações de metais pesados e outros parâmetros, a fim de que não sejam atingidas concentrações que inviabilizem a persistência da cobertura vegetal.

*Landspreading*: assemelha-se ao *landfarming*, mas sendo uma área de sacrifício, onde não é mantida cobertura vegetal, pelo simples fato de que as concentrações de contaminantes a inviabiliza. É mantida entretanto uma atividade biológica no solo, que atua na degradação dos resíduos. No *landspreading* é executada uma impermeabilização de fundo das células, não havendo impermeabilização ou cobertura na parte superior. As figuras abaixo apresentam dois *landspreadings*.



**Figura 15.1:** Landspreading europeu, na Dinamarca.



**Figura 15.2:** Lanspreading do SITEL, Sistema Integrado de Tratamento de Efluentes Líquidos do III Polo Petroquímico de Triunfo. Foi a segunda unidade deste tipo a ser implantada no Brasil.

*Estabilização e solidificação (encapsulamento)*: A estabilização é um processo de pré-tratamento que induz trocas químicas no constituinte de um resíduo, transformando-o em formas menos solúveis e menos tóxicas por meio de reações químicas que fixam elementos ou compostos tóxicos em polímeros impermeáveis ou em cristais estáveis. Já a solidificação (*ou encapsulamento*) é um processo de pré-tratamento que produz uma massa sólida monolítica de um resíduo, melhorando sua integridade estrutural e suas características físicas, permitindo que o material possa ser facilmente manuseado e transportado. A estabilização/solidificação não é uma forma de tratamento recomendada para resíduos que tenham mais de 10 a 20% de constituintes orgânicos, já que estes interferem nos processos físicos e químicos importantes para manter agregados os resíduos.

Cabe referir o acidente com o Césio 137 em Goiânia-Go, em setembro de 1987. Você pode conhecer as causas deste acidente, a sua repercussão, os danos e as medidas de remediação acessando o link <http://www.educacaopublica.rj.gov.br/biblioteca/quimica/0018.html> (obs: este conteúdo é apenas informativo, não sendo cobrado em provas)

## 15.6. TRATAMENTO CONSORCIADO

Sempre que possível e seguro, os aterros sanitários convencionais podem e devem ser utilizados para disposição de resíduos sólidos industriais não-perigosos, em quantidade limitada. Esta disposição conjunta deve ser realizada dentro de uma filosofia de diluição e dispersão, para não provocar alterações significativas nas características dos líquidos percolados dos aterros.

### 15.7. BANCO DE RESÍDUOS

Banco de resíduos ou bolsa de resíduos é um instrumento que tem por objetivo principal favorecer as trocas e permitir a valorização de resíduos particulares, complementando os circuitos tradicionais existentes na recuperação de resíduos entre produtores e consumidores.

Existem muitos “Bancos de Resíduos”. Alguns, para que você acesse o conteúdo exigem que você se cadastre. O link abaixo permite que você explore a forma como os resíduos são disponibilizados por doação ou por comercialização:

[www.bolsaderecicla.org.br](http://www.bolsaderecicla.org.br)

## 16. MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS

As técnicas para minimizar resíduos devem ser adotadas nas pranchas dos designers, nas pesquisas vinculadas a novos materiais, nos parques industriais, nos estabelecimentos comerciais e, acredite, também nos ambientes domésticos.

A figura que segue nos convida à uma reflexão sobre a importância desta meta a perseguir: *Minimizar Resíduos!*

**Obs:** Esta figura foi adaptada para apresentação na forma de objeto virtual interativo. Acesse-a no AVASAN / Aulas EAD / *As duas Pirâmides*.

Atente para o fato de que esta figura não é acessável por celulares...Interaja com a figura, e para cada degrau das pirâmides, reflita sobre:

**I** - Exemplos que você já conheça;

**II** - Como você segue (ou não...) os princípios que a figura nos apresenta;

**III** - O que você pode fazer na sua casa, na universidade, nas ruas, e futuramente em seu local de trabalho para contribuir na universalização dos princípios que a figura nos convida a praticar.

**Figura 16.1:** As duas pirâmides... O hoje e o amanhã.

### 16.1. INTRODUÇÃO

A problemática associada aos resíduos se desenvolveu em três etapas:

**Etapa 1:** Eliminação de resíduos (*waste disposal*), a partir da primeira metade dos anos 60 do século XX.

**Etapa 2:** Gestão dos resíduos (*waste management*), a princípio dos anos 70 do século XX.

**Etapa 3:** Redução de resíduos (*waste reduction*), com duas fases:

- Redução sob o ponto de vista do processo, pelas tecnologias limpas, na segunda metade dos anos 70;
- Redução sob o ponto de vista do produto, no fim dos anos 80.

A problemática ambiental pode ser enfrentada de duas formas:

- Prevenindo a formação de contaminantes na origem;
- Eliminando os contaminantes uma vez gerados.

Parece óbvio que é melhor evitar a geração de resíduos, ou seja, a contaminação na origem, que produzi-los e ter que tratá-los, frequentemente com custos muito elevados. E isto pode ser feito de várias formas:



Do ponto de vista do *produto*: reformando o produto, ou seja, eliminando dele os componentes contaminantes.

Do ponto de vista da *fabricação*:

- modificando o processo de produção e os equipamentos para que os resíduos sejam minimizados;
- recuperando, reciclando e reutilizando os resíduos industriais, já que estes podem constituir em nova matéria prima em vez de ser tratados como contaminantes.

O tratamento de efluentes e resíduos sólidos é necessário em muitos casos, mas não deve ser considerado como um fim. O objetivo que deve ser perseguido é a *conservação de recursos*.

## 16.2. ESTRATÉGIA ATUAL DA CEE NA GESTÃO DE RESÍDUOS

A tripla finalidade da política ambiental da CEE está refletida na Ata Única Europeia e consiste em:

- Preservar, proteger e melhorar a qualidade do meio ambiente;
- Contribuir para a saúde das pessoas;
- Garantir uma utilização prudente e racional dos recursos naturais.

A Comissão Europeia adotou uma estratégia para a gestão de resíduos, fixando prioridades que deverão considerar-se para que se atinjam objetivos fixados. Estas prioridades se articulam sobre cinco eixos:

- Prevenção de geração de resíduos, pela promoção de novas tecnologias limpas;
- Revalorização;
- Otimização da eliminação final; Normas aplicáveis às descargas de rejeitos;
- Regulamentação mais restrita do transporte de resíduos perigosos;
- Acelerar as reações curativas, especialmente para a recuperação de locais contaminados.

## 16.3. DEFINIÇÕES

Em 1979 a Comissão Econômica para a Europa definiu as tecnologias limpas ou tecnologias com minimização de resíduos, como:

“O método de fabricar produtos nos quais as matérias primas e a energia são utilizadas na forma mais racional e integrada no ciclo matérias primas-produção-consumo-recursos materiais secundários, de modo que o impacto sobre o normal funcionamento do ambiente seja mínimo”.

Com base então na definição da Comissão Econômica para Europa pode-se dizer que uma tecnologia limpa é: um processo de fabricação ou uma tecnologia integrada no processo de

produção, concebido para reduzir, durante o tempo do processo, a geração de resíduos contaminantes.

As técnicas de minimização de resíduos são aquelas que conduzem à prevenção da contaminação na indústria, gerando menor quantidade de contaminantes, quer seja por emitir uma menor carga dos mesmos, ou por emitir contaminantes menos prejudiciais.

#### 16.4. CARACTERÍSTICAS DAS TÉCNICAS DE MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS

##### a) Tecnologias limpas

Especialistas dão à tecnologia limpa o seguinte enfoque:

- Uma tecnologia limpa é, em primeiro lugar, aquela que permite *diminuir a contaminação produzida em comparação com o processo que substitui*. Trata-se pois de um processo de *fabricação que utiliza as matérias primas de uma forma mais otimizada e que gera menos resíduos*.
- A característica que distingue as tecnologias limpas das tecnologias de tratamento curativo é o feito de que o tratamento não é exterior ao processo, senão que está integrado nele.

Portanto estas tecnologias previnem a contaminação nas fontes de produção, enquanto que os tratamentos clássicos se aplicam ao final da cadeia de produção ou em uma etapa intermediária, mas sempre depois de descargas.

##### b) Minimização de resíduos

As técnicas de minimização de resíduos incluem as tecnologias limpas e, além disso, uma série de atuações que tendem a:

- reduzir a quantidade ou a periculosidade dos resíduos gerados;
- reduzir a necessidade de tratamento;
- conservar recursos

#### 16.5. MÉTODOS DE MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS

Basicamente deve ser estudada a tecnologia usada por cada indústria em particular, para conhecer se é a adequada e se é previsto o problema de produção de contaminação. Devem ser feitas recomendações oportunas para a utilização de tecnologias limpas e buscar soluções para a reutilização dos recursos recuperáveis. E isto se aplica tanto a novos projetos, como a indústrias já instaladas.

Os objetivos da minimização de resíduos podem ser realizados de duas formas:

- concebendo novos processos produtivos ou modificando os existentes, de modo que os resíduos gerados sejam mínimos;
- reutilizando ou reciclando resíduos.

As preocupações operativas podem classificar-se em quatro grupos:

- gestão de inventário de matérias primas;
- modificação dos processos de produção e câmbios de equipamentos;
- redução de volume;
- recuperação e reutilização.

As três primeiras baseiam-se na redução na origem, enquanto que a última baseia-se em transformar os resíduos industriais em um produto que possa ser utilizado novamente.

### **16.5.1. Gestão de Inventário de Matérias Primas**

Desde o ponto de vista de fornecimento e armazenagem de matérias primas existem dois métodos para minimizar os resíduos, para os quais é necessário implantar um processo de gestão e controle adequado:

1º) *Redução da quantidade de matérias primas perigosas usadas no processo:* Para tanto deve-se revisar todas as matérias primas adquiridas, de modo que a referida aquisição seja aprovada pelo responsável da gestão de inventário. Esta técnica é aplicável tanto a processos em produção como a novos processos.

2º) *Redução do estoque de matérias primas:* Deve assegurar-se que apenas se adquira a quantidade necessária, já que o excesso de matérias primas vencidas deve ser eliminado, constituindo as vezes um resíduo tóxico e perigoso. Os custos de eliminação são geralmente maiores que os de aquisição. O controle de inventário é uma técnica de minimização que pode ser aplicada de forma barata e fácil em qualquer tipo de indústria. É o objetivo de buscar o *estoque zero*.

### **16.5.2. Modificação dos processos de produção**

Os processos de produção podem ser modificados de modo que se consiga redução na geração de materiais residuais, e um câmbio de matérias primas que aumente a eficácia da redução.

A técnica da modificação dos processos de produção pode dividir-se em:

- melhoria dos procedimentos operacionais;
- melhoria na manutenção de equipamentos;
- cambio de matérias primas;
- modificação dos equipamentos de processo (tecnologias limpas)

*Melhoria dos Procedimentos Operacionais:* para aplicar esta técnica é necessário um elevado conhecimento dos processos de produção. No caso de novos processos em andamento deve-se realizar uma revisão dos procedimentos habituais. Dentro de operações se incluem todas as fases de produção, desde a entrada de matérias primas, até o armazenamento de produto acabado e expedição dos mesmos.

*Melhoria na Manutenção de Equipamentos:* um programa de manutenção que incida nos aspectos preventivos e corretivos pode reduzir a geração de resíduos causada por falhas nos equipamentos. Para que um programa de manutenção seja efetivo, deve-se desenvolver e seguir cada operação do processo produtivo, com especial atenção nos pontos de fuga. A informação necessária é:

- listado de equipamentos e localização em planta;
- tempo de operação;
- operações críticas do processo;
- conhecimento dos problemas dos equipamentos;
- manuais de manutenção do provedor;
- criar uma base de dados com o histórico de consertos nos equipamentos.

*Cambio de matérias primas:* sempre que possível deve-se proceder à substituição de materiais perigosos, por materiais menos ou nada perigosos. A reformulação de um produto, para que em sua elaboração sejam empregados menos materiais perigosos, reduzirá a geração de resíduos perigosos tanto na produção como em sua eliminação após o uso.

A reformulação de produtos é uma das técnicas mais difíceis da redução de resíduos, mas uma das mais efetivas. **A tabela 16.1** apresenta exemplos clássicos.

**Tabela 16.1:** Exemplos de substituição de matérias primas.

<b>Indústria</b>	<b>Técnica</b>
Tintas	Eliminação do cádmio dos pigmentos
Águas de processo	Uso de ozônio, em lugar de biocidas em torres de refrigeração
Artes gráficas	Uso de tintas com base água, em lugar de base dissolvente
Pintura	Uso de tintas com base água, em lugar de base dissolvente
Têxtil	Redução de fósforo na água residual, pela redução do uso de fostatos

*Modificação dos equipamentos de processo (tecnologias limpas):* a geração de materiais residuais pode ser reduzida significativamente mediante a instalação de equipamentos mais eficazes ou modificando o equipamento existente. O aumento da eficácia diminui a quantidade de produtos residuais ou fora de especificação e aumenta a produtividade, com o que se poderiam autofinanciar.

As modificações de equipamentos ou sua instalação requerem uma alta compreensão do processo produtivo e da geração de resíduos, podendo ser um método de redução de resíduos muito oneroso. Entretanto existem algumas pequenas variações dos equipamentos que podem ser fonte de importantes reduções.

Ao fazer o balanço econômico das modificações do processo muitas vezes é cometido o esquecimento de incluir o custo associado às operações de re-processamento ou de eliminação de materiais fora de especificação (inversão + mão de obra + materiais + gestão de resíduos), e outros fatores mais difíceis de quantificar, como por exemplo, a segurança dos operários.

### 16.5.3. Redução de volume

As técnicas usadas para atingir a redução de volume são a segregação de fontes, e a concentração de resíduos (recuperação).

*Segregação de fontes:* inclui aquelas técnicas que permitem a separação desde a origem dos distintos fluxos de resíduos heterogêneos gerados por um processo ou conjunto de processos de uma atividade industrial. Assim é facilitada a revalorização tanto para a reciclagem como para a recirculação, diminuindo o volume, e consequentemente os custos do tratamento.

É necessário prevenir a mescla de diferentes tipos de resíduos, especialmente daqueles que se destinem à revalorização e aos que devam sofrer um tratamento específico.

A segregação frequentemente necessita investimentos suplementares, mas tem certas vantagens, tais como:

- é mais fácil revalorizar produtos homogêneos;
- elimina riscos de formação de misturas perigosas;
- possibilita menor custo de tratamento por diminuição das quantidades a tratar.

*Concentração de resíduos (recuperação):* outra técnica de redução de volume é a concentração de resíduos, eliminando a parte não perigosa, de forma que seja mais fácil recuperar aos materiais que possam ter um valor econômico. Um bom exemplo é a recuperação de metais dos lodos desidratados na indústria da galvanização. Os métodos de concentração incluem: filtração, ultra-filtração, osmose inversa, congelamento-evaporação, filtros prensa, secagem por calor, compactação, etc...

Os resíduos podem ser recuperados em planta (*on-site*) ou fora dela (*off-site*).

### 16.5.4. Reciclagem e reutilização

Uma vez gerado um resíduo, a melhor maneira de evitar seu impacto negativo sobre o meio ambiente é voltar a utilizá-lo, reintegrando-o desta maneira no circuito econômico. Esta técnica permite diminuir os custos de matérias primas e proporcionar receita pela venda de resíduos. A eficácia é função da capacidade de segregação. Em ambos os casos o material residual perde sua condição estrita de resíduo, convertendo-se em um subproduto industrial suscetível de aproveitamento.

*Reciclagem* vem a ser o aproveitamento total ou parcial dos resíduos industriais para sua reutilização no próprio processo.

*Reutilização* consiste no aproveitamento parcial ou total de um resíduo industrial para sua nova utilização em um processo distinto, na mesma planta ou fora dela (bolsa de resíduos).

Existe também a possibilidade de reutilização de resíduos pouco contaminados, em processos que não requeiram materiais com muita pureza. Muitas vezes a reutilização e a reciclagem requerem um condicionamento prévio dos materiais residuais, que por sua vez pode gerar resíduos, sendo este o principal inconveniente destes sistemas. Em todo caso são conservados recursos, que é um dos objetivos propostos.

## 17. RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE

A base do conteúdo deste capítulo é o livro Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos, de Bidone e Povinelli, 1999. Foi feita uma atualização com relação às normas vigentes de maior relevância, posto que todas sofreram atualizações posteriores ao ano 1999.

### 17.1. CONCEITO

RSS são os resíduos gerados nas farmácias, clínicas veterinárias, laboratórios, postos de saúde, hospitais e clínicas médicas, entre outros.

### 17.2. NORMATIZAÇÃO

A NBR 10.004 enquadra os RSS como resíduos Classe I – Perigosos, normatizando os procedimentos relativos aos mesmos através três normas a seguir referidas.

#### **NBR 12.807/2013 – Resíduos de Serviço de Saúde – Terminologia**

<http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-12.807-Residuos-de-Servi%C3%A7os-de-sa%C3%BAde.pdf>

Esta norma de três páginas apresenta termos técnicos a serem utilizados por profissionais que gerem e que se envolvam com estes resíduos. *Seu conteúdo não é cobrado nas provas desta disciplina.* Visualize-a sem custo no link acima.

#### **NBR 12.808/2016 – Resíduos de Serviço de Saúde – Classificação**

[www.scribd.com/doc/50486731/ABNT-NBR-12808-Residuos-De-Servicos-De-Saude](http://www.scribd.com/doc/50486731/ABNT-NBR-12808-Residuos-De-Servicos-De-Saude)

Esta norma de duas páginas classifica os RSS com relação aos riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública. *Seu conteúdo não é cobrado em provas de nossa disciplina.* Visualize-a sem custo no link acima.

#### **NBR-12.809/2013 – Manuseio de resíduos de serviços de saúde intraestabelecimento**

<https://www.target.com.br/pesquisa/resultado.aspx?pp=16&c=39398>

Esta norma prescreve procedimentos para garantir higiene e segurança no processamento interno de resíduos infectantes, especiais e comuns, nos serviços de saúde. *Seu conteúdo não é cobrado em provas de nossa disciplina.* A mesma pode ser visualizada ou adquirida no link acima.

Atualmente é aceito que os RSS representam risco potencial em três níveis:

- à saúde de quem manipula os RSS;
- contribuem para casos de infecção hospitalar, quando seu gerenciamento não é adequado;
- impactam o meio ambiente: a disposição inadequada contamina solo e mananciais de água superficiais e subterrâneos.

### 17.3. GERAÇÃO E CUIDADOS

A geração de RSS varia muito de um país para outro. No Canadá registra-se 11,4 kg/leito.dia; EUA 5,0 a 8,0 kg/leito.dia; Reino Unido 1,5 a 2,5 kg/leito.dia. Estudos do fim da década de 70 realizados em São Paulo indicaram 1,19 a 3,77 kg/leito.dia. Medidas cautelares devem ser adotadas para evitar o contato direto e indireto com os RSS.

### 17.4. CLASSIFICAÇÃO DOS RSS

No Brasil, até o início do século XXI, os RSS eram manejados da mesma forma que os resíduos domiciliares e públicos, ou seja, sua coleta, transporte, tratamento e local de despejo eram feitos em conjunto. Mas no dia 7 de setembro de 2004 entrou em vigor a Resolução 306 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), onde estão definidas as classificações dos RSS e qual o devido gerenciamento a ser dado para cada grupo.

- **Grupo A:** dentro deste grupo são encontrados resíduos que possivelmente possuem agentes biológicos, desta maneira, apresentando riscos de causar infecções. Divide-se em 5 subgrupos (A1, A2, A3, A4 e A5), baseados nas diferenças entre os tipos de RSS que possuem estes agentes.
- **Grupo B:** nestes resíduos estão presentes substâncias químicas que, possivelmente, conferem risco à saúde pública ou ao meio ambiente.
- **Grupo C:** englobam materiais oriundos de atividades humanas que possuem radio-nuclídeos em quantidades acima dos limites aceitáveis segundo as normas do CNEN.
- **Grupo D:** neste grupo estão presentes os resíduos que não apresentam risco químico, biológico e nem radioativo para a saúde dos seres vivos, muito menos ao meio ambiente, como por exemplo, papel de uso sanitário, fraldas, restos alimentares de paciente, entre outros.
- **Grupo E:** grupo onde estão os materiais perfuro-cortantes ou escarificantes.

### 17.5. ACONDICIONAMENTO, COLETA E TRANSPORTE

NBR-9191/2008; Sacos plásticos para acondicionamento de lixo – Requisitos e Métodos de Ensaio. A mesma pode ser visualizada no link:



[www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/40185/nbr9191-sacos-plasticos-para-acondicionamento-de-lixo-requisitos-e-metodos-de-ensaio](http://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/40185/nbr9191-sacos-plasticos-para-acondicionamento-de-lixo-requisitos-e-metodos-de-ensaio)

A NBR-12.809/2013 (*vide item 17.2*) estabelece os procedimentos necessários ao gerenciamento intraestabelecimento de RSS, que por seus riscos biológicos e químicos, exigem formas de manejo específicos, a fim de garantir condições de higiene, segurança e proteção à saúde e ao meio ambiente, os RSS podem ser acondicionados em dois tipos de sacos plásticos:

- Sacos classe I, quando os RSS forem comuns ou institucionais, e neste caso os sacos podem ser de qualquer cor;
- Sacos classe II, para os RSS infectantes e especiais. Nessa hipótese, devem ter cor branca e leitosa e em cada saco deve constar a identificação do fabricante.

O acondicionamento de perfuro-cortantes e infectantes deve ser realizado em recipientes apropriados, projetados de forma a resistir à perfuração.

Os veículos que fazem a coleta e o transporte para fora das dependências hospitalares devem ser de cor branca, com superfícies internas lisas e cantos arredondados e perfeitamente estanques, dotados de ventilação adequada. Sempre que a capacidade de carga do veículo for superior a uma tonelada, a descarga deve ser mecânica. Se inferior a uma tonelada, a descarga pode ser mecânica ou manual. No veículo deve constar o nome da municipalidade e da empresa coletora, com endereço desta, e a especificação dos resíduos que são transportados.

## 17.6. REJEITOS RADIOATIVOS DOS RSS

A classificação dos rejeitos radioativos no Brasil segue a das recomendações da AIEA (Agência Internacional de Energia Atômica) e é apresentada na norma experimental da Comissão Nacional de Energia Atômica (CNEN) sobre rejeitos radioativos.

## 17.7. TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL

De acordo com a Resolução nº 005 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), o tratamento e disposição final dos RSS devem ser realizados pelos processos de esterilização a vapor (autoclavagem) ou por incineração. Sendo autoclavados os RSS podem ser dispostos em aterros sanitários. A incineração propicia uma redução volumétrica de 90%, podendo a escória ser direcionada a aterros sanitários.