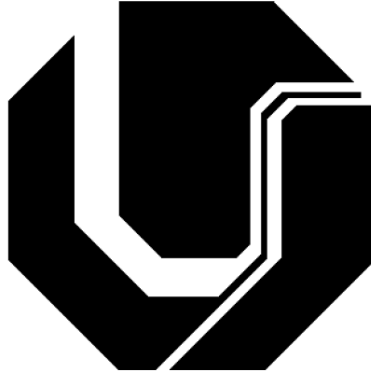


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



TRATAMENTO DE RESÍDUOS

LAYSE CAIXETA FERREIRA

UBERLÂNDIA – MG
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

TRATAMENTO DE RESÍDUOS

LAYSE CAIXETA FERREIRA

Monografia de graduação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina de Projeto de Graduação do curso de Engenharia Química.

UBERLÂNDIA – MG

2017

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA MONOGRAFIA DA DISCIPLINA
PROJETO DE GRADUAÇÃO DE LAYSE CAIXETA FERREIRA APRESENTADA À
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA EM 22 DE DEZEMBRO DE 2017.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. Miriam Maria de Resende
Orientadora (FEQUI/UFU)

Doutoranda: Leticia de Moura Sousa (FEQUI/UFU)

Doutoranda: Natália Mazzarioli Terra (FEQUI/UFU)

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Deus pelo dom da vida e por ter me dado força para superar as dificuldades enfrentadas durante essa jornada.

Ao meus queridos pais Maria Geralda e José Aparecido pelo amor e apoio incondicional. À minha irmã Larysse que sempre me incentivou e ajudou nos momentos difíceis. Ao meu namorado Luan pelo companheirismo e carinho.

À minha professora orientadora Miriam Maria de Resende, pelo auxílio, flexibilidade, atenção e disponibilidade fornecidos ao longo desse trabalho.

Às amigas que foram construídas durante o curso, pelos momentos de estudo, conversas e brincadeiras.

A todos, meu muito obrigada!

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	i
Resumo	ii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - RESÍDUOS SÓLIDOS	2
CAPÍTULO 3 – RECICLAGEM.....	5
3.1 – CONCEITO DE RECICLAGEM	5
3.2 – TIPOS DE RECICLAGEM	6
3.2.1 – Reciclagem do papel.....	6
3.2.1.1 - Reciclagem industrial do papel.....	7
3.2.1.2 - Reciclagem doméstica do papel.....	7
3.2.2 – Reciclagem do plástico	7
3.2.2.1 –Reciclagem Mecânica.....	8
3.2.2.2 - Reciclagem Química.....	9
3.2.2.3 - Reciclagem Energética.....	9
3.2.3 – Reciclagem do metal.....	9
3.2.4 – Reciclagem do vidro	10
3.2.5 - Outros tipos de reciclagem.....	10
CAPÍTULO 4 – COMPOSTAGEM.....	11
4.1 – COMPOSTAGEM	11
4.2 – ELEMENTOS BIOLÓGICOS FUNDAMENTAIS NA COMPOSTAGEM	15
4.3 – PRINCIPAIS VARIÁVEIS DE CONTROLE DO PROCESSO	15
4.3.1 – Umidade	15
4.3.2 – Aeração.....	16
4.3.3 – Temperatura.....	16
4.3.4 – Relação carbono: nitrogênio.....	18
4.3.5 – pH.....	20
4.3.6 – Tamanho da partícula.....	20
4.4 – MÉTODOS CONVENCIONAIS DE COMPOSTAGEM.....	20
4.4.1 - Compostagem pelo sistema “windrow”.....	22
4.4.2 - Compostagem em leiras estáticas aeradas.....	24
4.4.3 - Compostagem em reatores biológicos.....	25

4.4.3 - Vantagens e desvantagens dos sistemas.....	27
CAPÍTULO 5 – REMEDIAÇÃO	28
5.1 – <i>PUMP AND TREAT</i>	29
5.2 – EXTRAÇÃO DE VAPOR DO SOLO (SVE).....	30
5.3 – DESSORÇÃO TÉRMICA	31
5.4 – AERAÇÃO <i>in situ</i> (<i>Air Sparging</i>)	31
5.5 – BARREIRAS REATIVAS PERMEÁVEIS (BRPs).....	31
5.6 – INCINERAÇÃO	33
5.7 – SOLIDIFICAÇÃO/ESTABILIZAÇÃO	33
5.8 – LAVAGEM DO SOLO	33
5.9 – BIORREMEDIAÇÃO	33
5.10 – FITORREMEDIAÇÃO	34
CAPÍTULO 6 – ATERROS	35
6.1 – ASPECTOS GERAIS DO ATERRO SANITÁRIO	35
6.2 – ESPÉCIES E CLASSIFICAÇÃO DOS ATERROS SANITÁRIOS	38
CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Pilha de compostagem	12
Figura 4.2 – Esquema simplificado do processo de compostagem	13
Figura 4.3 – Representação esquemática da evolução das substâncias orgânicas no processo de compostagem.....	14
Figura 4.4 – Esquema das etapas da compostagem	17
Figura 4.5 – Fluxograma típico de um processo de compostagem.....	21
Figura 4.6 – Comparação esquemática dos métodos de compostagem	22
Figura 4.7 – Equipamento auto propelido para revolvimento de leiras	23
Figura 4.8 – Leira estática aerada.....	24
Figura 4.9 – Sistema integrado de biodigestão anaeróbia e compostagem	26
Figura 5.1 – Sistema de Barreiras Reativas Permeáveis	32
Figura 6.1 – Aterro Sanitário	36

RESUMO

Os 3 Rs da sustentabilidade (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) são ações práticas que visam estabelecer uma relação mais harmônica entre consumidor e meio ambiente. A reciclagem é um processo que envolve o reprocessamento dos resíduos, em que ocorre o retorno do resíduo como matéria prima através de sua reintegração no ciclo produtivo, trazendo inúmeros benefícios para o meio ambiente e para a sociedade. Existem diversos tipos de materiais que podem ser reciclados, principalmente com a ajuda da coleta seletiva, a qual é de suma importância para a separação desses resíduos. Devido a crescente geração de resíduos sólidos urbanos, industriais, metalúrgicos, hospitalares e a carência de áreas para destinação final adequada, por meio de implantação de aterros sanitários, faz com que técnicas de tratamento de resíduos sólidos orgânicos e de solos contaminados tomem devido destaque na sociedade. A compostagem e o processo de remediação podem ser considerados alternativas viáveis tanto no tratamento de resíduos orgânicos como de solos contaminados. Entretanto, os compostos que não podem ser reciclados ou devidamente tratados têm como destino final os aterros sanitários. A geração desses resíduos provoca grandes danos ao meio ambiente se não forem alojados de maneira técnica e ambientalmente adequada.

Palavras-chave: Reciclagem, Resíduos sólidos, Compostagem, Remediação, Aterros sanitários.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial e como consequência, o aumento das atividades cotidianas dessa população resultaram em uma elevada geração de resíduos sólidos e líquidos como subprodutos, em que, a dificuldade de disposição final adequada desses compostos tornou-se um dos maiores problemas ambientais nos últimos anos.

Esses problemas provenientes dos resíduos sólidos existem desde a existência humana devido às estruturas rudimentares, porém se tornou uma preocupação global nos últimos séculos com os avanços tecnológicos. Essa transição ocorreu através da formação de comunidades mais complexas como tribos, vilas e posteriormente cidades, as quais o homem trouxe consigo problemas de ordem ambiental, pois não havendo conhecimentos e hábitos de higiene a princípio, os resíduos sólidos e líquidos eram lançados em águas superficiais como rios e lagos (RUSSO, 2003).

A geração elevada e diversificada de resíduos sólidos nos meios urbanos e a necessidade de disposição final, alinham-se entre os mais sérios problemas ambientais enfrentados indistintamente por países ricos e industrializados e pelas sociedades em desenvolvimento. Diante desta crescente produção de resíduos e a maior disponibilização dos serviços urbanos de limpeza e coleta, há maiores preocupações quanto ao destino final destes.

Dentre as alternativas de destino final, destacam-se: aterros sanitários, incineração, reaproveitamento, reciclagem e compostagem. O aterro sanitário destaca-se como o meio de disposição mais adotada, devido a disponibilidade de áreas e ao menor custo de investimento e operação quando comparado a incineração, por exemplo. No entanto, devido à carência de áreas próprias para o destino dos resíduos principalmente nas grandes cidades, tem-se adotado outras formas de tratamento e destino final dos resíduos, tais como: coleta seletiva, digestão anaeróbia e compostagem.

Outro processo que tornou-se comum devido a questões econômicas e ambientais é a reciclagem, que consiste num processo através do qual os resíduos retornam ao sistema produtivo como matéria- prima. Além do aspecto altamente positivo de se implantar uma educação ambiental, desenvolvendo coletivamente uma consciência ecológica, resultando na maior participação da comunidade na defesa e preservação do meio ambiente, agrega um valor econômico ao retornar esses componentes na cadeia produtiva.

Além da reciclagem tem-se o processo de compostagem, definida como a ciência de fazer compostos orgânicos de resíduos a partir da decomposição de materiais biodegradáveis, sob condições adequadas para se obter um composto orgânico com utilização na agricultura.

A disposição inadequada dos resíduos sólidos pode provocar a contaminação dos solos podendo ser através de metais, materiais orgânicos, entre outros. Atualmente, a maioria dos solos apresenta algum tipo contaminação, seja por compostos orgânicos ou inorgânicos. A questão é avaliar as condições nas quais a contaminação do solo representa um risco inaceitável seja pela existência em si da espécie contaminante ou pelo uso pretendido para o solo.

Uma abordagem objetiva para identificar e avaliar o problema da contaminação de solos deve levar em consideração a gerência de risco, que é o processo de analisar riscos: compreendendo a identificação de áreas potencialmente contaminadas; a análise do perigo ou do mal que pode advir aos receptores vulneráveis à exposição ao contaminante; uma estimativa da probabilidade de um dano ou malefício ocorrer; e uma avaliação da aceitabilidade do risco; e a ação de reduzir riscos: compreendendo a seleção, implementação e monitoramento de estratégias de remediação, definida como qualquer ação que vise remediar o problema, incluindo a contenção ou a remediação do contaminante.

Portanto, diante dos problemas ambientais gerados pelos resíduos apresentados anteriormente e das formas de reaproveitamento, tratamentos e destino final previamente mencionados, este trabalho tem como objetivo analisar técnicas de reciclagem, compostagem, remediação e dos aterros que geram impactos diretamente ao meio ambiente e a sociedade.

CAPÍTULO 2 – RESÍDUOS SÓLIDOS

O conceito usual de resíduo, lixo ou “o que sobra”, decorre da agregação aleatória de elementos bem definidos, que juntos se transformam em uma massa teoricamente sem valor comercial e com um grande potencial de agressão ambiental dependendo da sua composição. Mais do que isso, o potencial de agressão ambiental não pode ser estabelecido como o somatório de cada elemento individual, mas sim pelo conjunto combinado que compõem o lixo. Assim, a massa de resíduos de uma sociedade tem sua origem na junção desses componentes que, além do seu próprio potencial de risco, dificulta ou mesmo impossibilita a reintegração dos mesmos ao meio natural.

Às vezes, é comum cometer equívocos ao se expressar quando se refere à um resíduo sólido ou lixo. Apesar de serem termos semelhantes há diferenças relevantes quanto a esses termos.

Assim para melhor compreensão, pode-se definir resíduos sólidos como sendo resíduos no estado sólido e semi-sólido, que podem ser reutilizados como matéria-prima, oriundos de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial e agrícola. Também podem ser incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e econômicas que são inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (BRAGA, 2002).

Define-se lixo como os restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Normalmente, apresentam-se sob estado sólido, semi-sólido ou semilíquido (com conteúdo líquido insuficiente para que este líquido possa fluir livremente) (BRAGA, 2002). Diferentemente da definição de resíduos sólidos, lixo pode ser entendido como algo impossível de ser reaproveitado.

Na década de 70, a percepção do homem em relação aos problemas ambientais sofreu mudanças, em que uma nova consciência a respeito dos impactos gerados pela abundância de resíduos provenientes das atividades dos diversos setores econômicos passou a ser pauta de uma discussão relevante com consequências futuras. A sociedade deu início a uma ideologia voltada para desenvolvimento aliado à preservação e conscientização do meio ambiente (MELLO, 2009).

Com o surgimento dessa nova consciência, os ambientalistas verificaram que para a redução dos impactos gerados pelos resíduos era importante três conceitos: reduzir, reciclar e reutilizar, conhecido como 3 Rs. A princípio deve-se minimizar a geração de resíduos com o objetivo de racionalizar o uso de recursos naturais existentes. Em seguida, é importante verificar se esses resíduos já gerados, podem ser reutilizados em outros processos, recuperados ou reciclados. Após tomada essa medida, ou seja, esgotadas todas as possibilidades de reutilização, a terceira ação é um tratamento adequado para esses resíduos. Por fim, a última etapa seria a de gerenciamento, a qual consiste na disposição final adequada dos rejeitos, já que não podem ser reaproveitados em nenhum processo (FIGUERÊDO, 2006).

O volume de resíduos sólidos aumenta diariamente com o aumento do consumo de bens e do crescimento populacional, e com isso, as matérias-primas tornam-se mais escassas para

atender a demanda. Dessa forma, a conscientização da população quanto à preservação do meio ambiente e redução do desperdício, são fatores que impulsionam a prática da Logística Reversa.

Em conjunto às pressões legais, as legislações ambientais a respeito dos tratamentos dos resíduos sólidos têm suas origens na reação perante os impactos ao meio ambiente e na dificuldade da disposição final desses compostos. Dessa forma, com o surgimento das novas leis ambientais, a responsabilidade dos impactos ambientais dos resíduos sólidos, que antes era do governo, recentemente passou a ser também dos fabricantes. Essa mudança encontra-se de acordo com a filosofia de EPR (Extended Product Responsibility), ou seja, a ideia de que a cadeia industrial de produtos que, de certa forma, agridem o ambiente, deve-se responsabilizar pelo que acontece com os seus produtos após o uso original (LEITE, 1998).

Devido ao crescimento exponencial da população mundial, vários projetos e políticas de gestão foram criadas para minimizar os efeitos desses compostos no planeta. Diante deste cenário de mudanças, a sociedade global em relação às questões ambientais, buscaram a criação de políticas para um desenvolvimento sustentável no planeta. No Brasil, por exemplo foram criadas a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a qual objetiva um gerenciamento dos resíduos gerados no país.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, criada pelo Decreto n º7.404/10, aborda como principal diretriz para os resíduos sólidos gerados pelo setor industrial, a eliminação daqueles que são destinados de forma inadequada no meio ambiente. Para que esse objetivo seja atingido, a Política Nacional de Resíduos Sólidos tem como estratégia, garantir que todas as empresas industriais geradoras de resíduos sólidos, sejam eles perigosos ou não, criem o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos até o ano de 2014 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011).

Segundo a Política Nacional dos Resíduos Sólidos e a ABNT NBR 10.004/2004, os resíduos sólidos possuem uma classificação quanto a sua periculosidade ao meio ambiente e à saúde da sociedade. Então, esses resíduos podem ser classificados em (ABNT NBR 10004, 2004):

- Resíduos classe I: que engloba os resíduos perigosos como os inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos e os patogênicos;
- Resíduos classe II: não perigosos.
 - Resíduos classe II A: Não inertes
 - Resíduos classe II B: Inertes.

Além da periculosidade, os resíduos sólidos, segundo a Lei 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos podem ser classificados também quanto à

sua origem em: domiciliares, limpeza urbana, sólidos urbanos, estabelecimento comerciais e prestadores de serviço, serviços públicos de saneamento básico, industriais, serviços e saúde, construção civil, agrossilvopastoris, serviços de transporte e mineração (PR, 2010).

CAPÍTULO 3 – RECICLAGEM

Este capítulo abordará as principais definições da reciclagem de resíduos sólidos, assim como, as suas vantagens, importância para a sociedade, o meio ambiente no Brasil e no mundo.

3.1 – CONCEITO DE RECICLAGEM

Reciclar é tornar utilizável o que já foi usado, se necessário, em alguns casos, infinitas vezes. Assim, não é preciso tirar da natureza, novamente, aquilo que ela já nos deu. Reciclar é combater o desperdício. É garantir o futuro, copiando a sabedoria da própria natureza (CMRR, 2008).

A reciclagem é o resultado de uma série de atividades, por meio das quais materiais que se tornariam lixo, ou estão no lixo, são desviados, separados e processados para serem utilizados como matéria-prima na manufatura de novos produtos, feitos anteriormente apenas com matéria-prima virgem (GRIPPI, 2001, apud BERTÉ; MAZZAROTTO, 2013).

Reciclagem também pode ser definido como o método no qual, qualquer tipo de resíduos sólidos de produtos que foram gerados por meio da ação humana que seriam descartados, por serem considerados velhos ou inutilizáveis, são reintegrados na sociedade como uma matéria-prima para a fabricação de diversos novos produtos ou empregado com a mesma finalidade do uso anterior.

Atualmente, existem vários tipos de processo de reciclagem, isto depende diretamente do material a ser reaproveitado e do seu objetivo final, sendo os resíduos classificados como: plástico, metal, papel e vidro.

Desde a década de 70, a reciclagem começou a ganhar reconhecimento, devido ao aumento da utilização dos recursos naturais tanto pelas indústrias como também pelo crescimento do consumo de bens da população, conseqüentemente, houve um acúmulo excessivo de lixo, e também, devido pela conscientização da sociedade em preservar estes

recursos naturais para as futuras gerações. Assim, foram criadas novas maneiras e técnicas que possibilitaram o reaproveitamento dos resíduos sólidos.

A pioneira no incentivo do consumo de papéis reciclados e no processo de reflorestamento foi a indústria de papel e celulose. Outra indústria que teve uma preocupação, no fim da década de 1980, foi a de garrafas PET, pois houve o aumento da quantidade de lixo descartado, fator que incentivou o início da produção de latas, nos primeiros anos da década de 1990.

No Brasil, já é possível reciclar diversos tipos de materiais principalmente com a ajuda da coleta seletiva, facilitando a separação desses resíduos que possuem um alto potencial de reciclagem. Entre esses compostos que fazem parte da coleta seletiva, encontram-se as embalagens longa vida, resíduos tecnológicos, pilhas e baterias, dentre outros.

3.2 - TIPOS DE RECICLAGEM

A reciclagem pode ser realizada a partir de diversos tipos de materiais, sendo assim, os processos e técnicas a serem utilizados dependem diretamente do tipo de material que irá ser reaproveitado. Em termos gerais, os produtos alcançados por meio do processo de reciclagem são totalmente diferentes dos produtos iniciais, contudo, alguns materiais (como o latas, por exemplo) podem ser utilizados em sua própria produção. A seguir serão apontados os principais tipos de reciclagem e suas características, sua importância para a sociedade e o meio-ambiente.

3.2.1 - Reciclagem do papel

O papel é um dos materiais mais utilizados no cotidiano da população mundial. Constitui-se de uma espécie de pasta, composta pelo entrelaçamento artificial de fibras vegetais (principalmente a celulose), secadas e dispostas, geralmente, na forma de folhas ou rolos. A separação apropriada do papel permite manter a integridade das fibras de celulose, evita a contaminação do papel, aumenta seu valor de comércio, reduzindo os custos do processo.

A reciclagem do papel pode ser realizada por processo industrial ou em ambiente doméstico. Em ambos os casos, ela é de extrema importância pois, busca a sustentabilidade com a redução da exploração e consumo de recursos naturais como madeira e água, dos níveis de poluição ambiental, impossibilitando seu acúmulo em aterros sanitários, também contribui para a geração de renda com novos empregos, além do desenvolvimento de novos tipos de papel, que podem ser utilizados em diversas finalidades (CARVALHO, 2015).

3.2.1.1- Reciclagem industrial do papel

No processo de reciclagem industrial do papel, os resíduos coletados (conhecidos como aparas) são separados, enfardados e classificados de acordo com seu tipo, em usinas de compostagem. Após a etapa de separação e classificação, as aparas são levadas a um grande tanque cilíndrico semelhante a um liquidificador, onde são misturadas com água e revertidas em pasta de celulose. Durante esta etapa, são eliminadas as impurezas encontradas nas aparas. Posteriormente, é feita a aplicação de compostos químicos para a limpeza de tintas ou impressões que possam estar presentes, seguida por uma nova depuração para eliminar possíveis grânulos. Por fim, são utilizados métodos para o fortalecimento da ligação das fibras, e o branqueamento da pasta de celulose que, finalmente, pode ser transformada em papel novamente (MORENO, 2007).

3.2.1.2 - Reciclagem doméstica do papel

A reciclagem doméstica do papel é um processo relativamente simples. Para tal processo, os materiais necessários são: papel, água, cola branca, um liquidificador e uma tela de nylon. Primeiramente, deve ser picado, colocado num recipiente com água e deixado de molho por um dia completo. Em seguida, o papel deverá ser levado a um liquidificador para ser triturado, onde será adicionado cerca de 2 litros de água e um pouco de cola branca, dando origem a uma massa homogênea. A etapa final consiste em espalhar esta massa (no formato fino) numa espécie de rede fina e cobri-la com um peso para ser prensada. Após 24 horas, ocorre a retirada da tela de nylon em que é colada para secar na forma de folha novamente.

3.2.2 - Reciclagem do plástico

O plástico, assim como o papel, é um dos materiais mais presentes na rotina das pessoas, são utilizados nas indústrias para a fabricação de diversos tipos de produtos, desde embalagens e recipientes, até peças automotivas e dispositivos eletrônicos. Atualmente, os principais tipos de plásticos consumidos são: a) os polietilenos de alta densidade (PEAD), utilizados em embalagens para produtos de limpeza e óleos automotivos, potes, recipientes de utilidade doméstica, entre outros; b) os polietilenos de baixa densidade (PEBD), utilizados em sacolas para supermercados, sacos de lixo, entre outros; c) os polipropilenos (PP), utilizados em filmes para embalar alimentos, seringas descartáveis, frascos, entre outros.; d) os poliestirenos (PS),

utilizados em brinquedos, potes, bandejas, pratos, copos, entre outros; e) os policloreto de vinila (PVC), utilizados em tubulações para água, mangueiras, entre outros; f) os politereftalatos de etileno (PET), utilizados em garrafas, frascos, bandejas para micro-ondas, entre outros. Quando descartados inadequadamente, os plásticos podem trazer grandes prejuízos ao meio ambiente. Assim, a separação de materiais plásticos dos outros tipos de resíduos através da coleta seletiva é um ponto fundamental, afirmam Brasil e Santos (2004).

O emprego do plástico em diversos tipos de produtos se deve a fatores como alta durabilidade e capacidade de serem moldados, baixo consumo de energia, facilidade de transporte e processamento. Pode ser constituído de polímero originado de uma fração do petróleo chamada nafta ou de fontes renováveis, como o plástico feito a partir do milho, da beterraba, da mandioca, da cana-de-açúcar entre outros.

Os plásticos podem ser classificados em dois grandes grupos de acordo com sua capacidade de fusão: em termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos apresentam a possibilidade de serem moldados mais de uma vez, por meio da elevação da temperatura e da aplicação de pressão, o que permite que sejam reciclados. Já os termofixos, devido a transformações químicas durante o processo, podem ser moldados apenas uma vez, impedindo-os de serem reaproveitados no ciclo produtivo.

A reciclagem dos resíduos plásticos pode ser empregada tanto na confecção artesanal de diversos produtos, como também, sendo matéria-prima nas indústrias. Existem três tipos de reciclagem de plásticos: a reciclagem mecânica, reciclagem química e reciclagem energética.

3.2.2.1- Reciclagem Mecânica

A reciclagem mecânica é o processo mais comum de reaproveitamento de materiais plásticos, processo em que os resíduos coletados são transformados em pequenos grãos a serem utilizados na produção de novos bens. Essa reciclagem se divide em: a) Primária ou Pré-consumo: na qual são reaproveitados resíduos e sobras dentro das próprias indústrias; b) Secundária ou Pós-consumo: na qual são reaproveitados resíduos de artigos plásticos já consumidos, provenientes das mais variadas origens e, obtidos geralmente em lixões, aterros sanitários ou por meio de coleta seletiva. A realização da reciclagem mecânica do plástico consiste na submissão dos resíduos às seguintes etapas: a) separação; b) moagem; c) lavagem; d) secagem; e) reprocessamento; f) transformação em novo produto acabado. Essas etapas são sujeitas a variações, de acordo com a procedência e a condição dos resíduos. A separação é a etapa mais crítica, uma vez que, existem diversos tipos de plásticos nas mais diversas

condições, e alguns exigem métodos especiais para serem reaproveitados. Os investimentos e tecnologias aplicadas têm como objetivo aproximar o máximo possível dos bens produzidos com a reciclagem do plástico daqueles produzidos a partir do plástico virgem (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005).

3.2.2.2 - Reciclagem Química

A reciclagem química, também conhecida como terciária, refere-se à transformação dos resíduos plásticos em insumos químicos, combustíveis ou matéria-prima para a fabricação de novos produtos plásticos. A reciclagem química possibilita uma grande aproximação do plástico reciclado ao plástico virgem. A aplicação da reciclagem química se dá através da despolimerização (reversão de um polímero para seu monômero) dos resíduos plásticos coletados, seguida da purificação dos monômeros originais, para que possam ser novamente polimerizados, tornando aptos para utilização (FORLIN; FARIA, 2002).

3.2.2.3 - Reciclagem Energética

Na reciclagem energética são utilizados processos de combustão ou incineração para transformar resíduos plásticos, que não podem ser reaproveitados, em energia térmica e combustível para geração de energia elétrica. Segundo Spinacé e De Paoli (2003, p.69) “o conteúdo de energia dos polímeros é alto e muito maior que de outros materiais. O valor calórico de 1kg de resíduo polimérico é comparável ao de 1 litro de óleo combustível e maior que o do carvão”.

3.2.3 - Reciclagem do metal

Os metais são os elementos químicos capazes de conduzir a eletricidade e o calor, que apresentam um brilho característico e, com exceção do mercúrio, são sólidos à temperatura normal.

Os metais são utilizados nas indústrias para a fabricação de inúmeros objetos, desde latas e embalagens até móveis, instrumentos musicais e peças automotivas. Devido ao elevado tempo de decomposição dos resíduos metálicos, sua reciclagem é de suma importância na redução dos impactos ambientais.

Na reciclagem do metal, primeiro é feita uma separação dos tipos de resíduos metálicos coletados, seguida por uma triagem eletromagnética. Após essa etapa, os resíduos são prensados, classificados e enviados para as devidas estações de reciclagem de acordo com seu tipo. Nas estações, os resíduos são triturados, derretidos, livrados de impurezas e, posteriormente, fundidos em lingotes a serem reinseridos no ciclo produtivo, como matéria-prima nas próprias indústrias. Os metais apresentam a vantagem de não perderem suas propriedades físicas durante o processo de reciclagem, permitindo seu reaproveitamento contínuo (CARVALHO, 2015).

3.2.4 - Reciclagem do vidro

O vidro é um composto inorgânico, sólido, frágil e sem forma determinada, resultante da fusão seguida pelo resfriamento de óxidos ou derivados, até atingir sua condição rígida, sem cristalização. Sua aplicação é extremamente ampla, como exemplos garrafas, pratos, copos, peças de decoração, frascos para produtos farmacêuticos, janelas, partes de eletrodomésticos e eletroeletrônicos, entre outros (CARVALHO, 2015).

Assim como os metais, o vidro também possui a vantagem de ser reaproveitado inúmeras vezes como matéria-prima, sem a perder suas propriedades físicas. Dessa forma, ao chegar em uma indústria de reciclagem, o vidro é separado de acordo com sua cor e tipo, e passa por um processo de limpeza, remoção de tampas, rótulos e eliminação das impurezas. Após essa etapa de descontaminação, os resíduos do vidro são submetidos à moagem, para depois serem encaminhados para a refundição, possibilitando sua reutilização como matéria-prima no processo produtivo (CARVALHO, 2015).

3.2.5 - Outros tipos de reciclagem

O agravamento de problemas socioambientais como o efeito estufa, o aquecimento global e a poluição da água, ar e solo torna cada vez mais evidente a importância da reciclagem no gerenciamento dos resíduos sólidos. Com isso, é necessário que sua abrangência seja tão ampla quanto possível, buscando alternativas para o reaproveitamento de materiais mais complexos, tais como pilhas, baterias, resíduos de produtos tecnológicos, resíduos hospitalares, dentre outros (CARVALHO, 2015).

CAPÍTULO 4 – COMPOSTAGEM

Os resíduos orgânicos são aqueles provenientes de animais ou vegetais, ou seja, resíduos que se originaram de seres vivos. Dentre eles, encontram-se os restos de alimentos, cascas e sementes de frutas, ossos, grãos, folhas, cinzas, madeiras, entre outros. Durante o processo de decomposição do lixo orgânico, ocorre a formação de um líquido com odor desagradável, de cor escura, conhecido como chorume, que pode causar a contaminação da água e do solo. Além disso, ao serem eliminados na natureza, os resíduos orgânicos contribuem para a proliferação de ratos, baratas e moscas que são responsáveis pela transmissão de diversas doenças. Sendo assim, a questão do descarte inadequado de resíduos orgânicos deve ser tratada, não só como um problema ambiental, mas também social no âmbito da saúde pública, como ressaltam Braga e Dias (2008).

Resíduos orgânicos possuem alto grau de biodegradabilidade, e uma das possibilidades de destinos são as unidades de tratamento por compostagem, onde alguns riscos potenciais destes materiais são praticamente suprimidos. As características físico-químicas e biológicas de resíduos orgânicos são bastante diversificadas, assim a quantidade e qualidade varia de acordo com a origem do resíduo.

É necessária a caracterização detalhada dos resíduos orgânicos para a tomada de decisão quanto a tecnologia mais adequada de reaproveitamento, seja na forma aeróbia ou anaeróbia. Ambos os tratamentos são realizados por fenômenos de decomposição da matéria orgânica, sendo o anaeróbico na ausência de oxigênio e o aeróbico na presença de oxigênio.

A compostagem é geralmente aplicada a resíduos não fluidos, ou seja, resíduos sólidos provenientes de diversas fontes, tais como: resíduos sólidos urbanos, resíduos sólidos agroindustriais, entre outros. Todavia, em resíduos com elevada umidade, principalmente os lodos gerados em sistemas de tratamento, é conveniente alterar as características físicas antes de serem encaminhados a compostagem.

4.1 - COMPOSTAGEM

A compostagem é praticada desde a história antiga, porém, até recentemente, de forma empírica. Gregos, romanos e povos orientais já sabiam que resíduos orgânicos podiam ser retornados ao solo, contribuindo para a sua fertilidade. No entanto, só a partir de 1920, com Alberto Howard, é que o processo passou a ser pesquisado cientificamente e aplicado de forma

racional. Nas décadas seguintes, muitos trabalhos científicos lançaram as bases para o desenvolvimento desta técnica, que hoje pode ser utilizada em escala industrial (FERNANDES E SILVA, 1999).

A compostagem é um processo de decomposição oxidativo biológico aeróbio e controlado pela transformação de resíduos orgânicos em produto estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem. É normalmente realizada em pátios nos quais o material é disposto em montes de forma cônica, conhecidos como pilhas de compostagem (Figura 4.1), ou montes de forma prismática com seção similar à triangular, denominadas leiras de compostagem (Bidone e Povinelli, 1999; Teixeira *et al.*, 1999). Este processo de biodegradação é considerado uma alternativa de tratamento da matéria orgânica presente em resíduos sólidos.



Figura 4.1 – Pilha de compostagem

(Fonte: <www.agronovas.com.br/oficina-de-compostagem>. Acesso em: 4 nov. 2017)

Como a compostagem é um processo biológico, isso implica a necessidade de condições especiais, de temperatura, umidade, aeração, pH e relação C:N, nos diversos estágios do processo. Para a degradação biológica da matéria orgânica ocorre uma elevação da temperatura da massa de resíduos e cada grupo de organismos atuantes possui uma faixa ótima de temperatura para o seu metabolismo. Assim, a temperatura apresenta-se como um dos fatores principais do desempenho da compostagem e é o fator mais indicativo do equilíbrio biológico na massa em decomposição, refletindo a eficiência do processo. A compostagem deve registrar temperaturas entre 40°C e 60°C, durante os primeiros 30 (trinta) dias, como indicador de condições satisfatórias de equilíbrio no seu ecossistema (PEREIRA NETO E CUNHA, 1995).

A temperatura é um fator importante a ser controlado, pois esta relacionada à rapidez da biodegradação e à eliminação dos patogênicos. A compostagem aeróbia pode ocorrer tanto

em condições de temperatura termofílica (45°C a 60°C) como mesofílica (30°C a 45°C). A temperatura é um fator indicativo de equilíbrio biológico, de fácil monitoramento e que reflete a eficiência do processo.

A compostagem como processo de biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracteriza-se pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável (FERNANDES E SILVA, 1999). De maneira simplificada, significa a transformação de resíduos orgânicos por microrganismos, principalmente, em um composto, que pode ser um insumo agrícola, de odor agradável, fácil de manipular e livre de organismos patogênicos. Portanto, como é um processo biológico aeróbio, necessita de aeração, umidade e nutrientes.

Os nutrientes, principalmente o carbono e o nitrogênio, são fundamentais para o crescimento microbiano, no entanto, o fósforo e enxofre também são importantes, porém seu papel no processo é menos conhecido. Os microrganismos necessitam de carbono, como fonte de energia, e de nitrogênio para a síntese de proteínas.

Durante a compostagem alguns componentes da matéria orgânica são utilizados pelos próprios microrganismos para a formação de seus tecidos, outros são volatilizados e, outros ainda são transformados biologicamente em uma substância escura, uniforme e aspecto de massa amorfa, rica em partículas coloidais, com propriedades físicas, químicas e físico-químicas inteiramente diferentes da matéria-prima original (BIDONE E POVINELLI, 1999).

Neste processo, os componentes biodegradáveis passam por sucessivas etapas de transformação sob a ação de diversos grupos de microrganismos, resultando em um processo bioquímico altamente complexo (ANDREOLI, 2001). O composto é, portanto, o resultado de um processo controlado de decomposição bioquímica de materiais orgânicos (KIEHL, 1985). Assim, Kiehl (1985) denomina como húmus o produto final da compostagem, que é considerado um condicionador e melhorador das propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo. A legislação brasileira, todavia, classifica tais materiais como fertilizantes orgânicos (KIEHL, 1998). Os principais produtos da compostagem são apresentados no esquema simplificado mostrado na Figura 4.2.

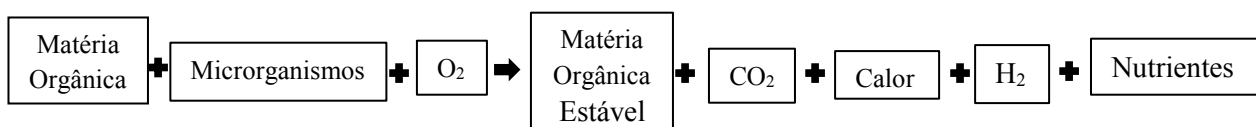


Figura 4.2 - Esquema simplificado do processo de compostagem
(Fonte: Adaptado de FERNANDES E SILVA, 1999)

Os materiais ricos em carbono como serragens, palhas, resíduos de poda, entre outros, degradam mais lentamente que os resíduos úmidos domésticos (devido a alta relação carbono:nitrogênio), pois a velocidade de decomposição da matéria orgânica está ligada diretamente com a estrutura molecular de cada material.

O processo de compostagem apresenta três diferentes etapas, sendo a primeira etapa correspondente a decomposição dos componentes facilmente biodegradáveis, a segunda etapa, termofílica, onde a celulose e materiais similares são degradados pela atividade fortemente oxidativa dos microrganismos e a terceira etapa de maturação/estabilização (KIEHL, 1998).

Os microrganismos que participam mais ativamente do processo são os aeróbios e os facultativos, que predominam nas faixas de temperatura entre 20°C e 45°C, os mesófilos, entre 45°C e 65°C, os termófilos e os psicrófilos, ativos à temperaturas entre 10°C e 25°C. Esses microrganismos, exotérmicos, liberam energia na forma de calor; isto explica o aquecimento natural das pilhas/leiras de compostagem, e justifica a importância do controle térmico do processo. Com este controle, evita-se temperaturas muito elevadas possam eliminar a massa biológica responsável pela estabilização do material em processamento (BIDONE E POVINELLI, 1999).

A conversão de substâncias orgânicas durante a compostagem é apresentada na Figura 4.3.

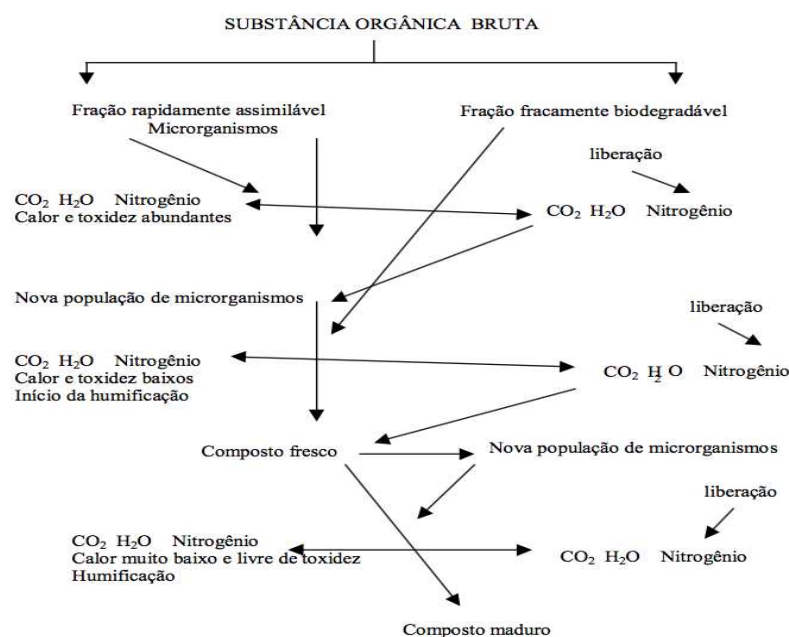


Figura 4.3 - Representação esquemática da evolução das substâncias orgânicas no processo de compostagem

(Fonte: SHARMA et al, 1997).

4.2 - ELEMENTOS BIOLÓGICOS FUNDAMENTAIS NA COMPOSTAGEM

Os principais microrganismos responsáveis pelo processo de compostagem são as bactérias, os fungos e os actinomicetos. Segundo Kiehl (1998) na degradação da matéria orgânica também participam outros organismos como: algas, protozoários, nematóides, vermes, insetos e suas larvas.

Na primeira etapa da decomposição da matéria orgânica, na etapa mesófila (40°C a 50°C) prevalecem as bactérias e fungos produtores de ácidos orgânicos e de pequenas quantidades de ácidos minerais. Se ocorrer a elevação da temperatura (fase termófila) a população predominante será de actinomicetes, bactérias e fungos termófilos ou termotolerantes, devido a disponibilidade de oxigênio.

A etapa seguinte de humificação do composto é conduzida por microrganismos específicos que sintetizam os polímeros complexos criando substratos para futuras atividades biológicas. A predominância destes microrganismos são influenciados por vários parâmetros: substâncias químicas da matéria, que está sendo digerida com maior intensidade, teor de umidade, disponibilidade de oxigênio, relação carbono e nitrogênio, pH e temperatura.

Segundo Kiehl (1985), em um sistema de compostagem bem arejado, os principais microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, as bactérias, os fungos e os actinomicetos, multiplicam-se espantosamente em toda a massa.

4.3 - PRINCIPAIS VARIÁVEIS DE CONTROLE DO PROCESSO

Os fatores mais importantes que influenciam a degradação da matéria orgânica são a aeração, os nutrientes e a umidade. Outra variável relevante é a temperatura, principalmente no que diz respeito à rapidez do processo de biodegradação e à eliminação de patógenos.

4.3.1 - Umidade

Para que o processo ocorra em condições ideais, o teor de umidade deve se manter na ordem de 55%. Umidades superiores a 60% levam a anaerobiose e inferiores a 40%, reduzem significativamente a atividade biológica. Com umidade abaixo de 40%, a decomposição será aeróbia, mas lenta, predominando a ação de fungos, pois as bactérias estarão pouco ativas (KIEHL, 1998).

Os resíduos orgânicos domésticos ou domiciliares apresentam naturalmente uma umidade ao redor de 55%, razão pela qual a compostagem representa uma interessante alternativa para a sua transformação em húmus, embora os materiais fibrosos possam exigir, inicialmente, umidade de 60%. Lodos de esgoto em geral, com umidades normalmente superiores a 90%, devem sofrer uma desidratação prévia, antes de serem encaminhados para processamento. Além disso, agentes estruturantes poderão ser agregados aos mesmos, visando reduzir a sua densidade e evitando a compactação excessiva da leira (BIDONE E POVINELLI, 1999).

4.3.2 - Aeração

A compostagem deve ser realizada em ambiente aeróbio em que apresenta condições de agilidade e condução mais favoráveis, não produz mau cheiro e nem proliferação de moscas. A aeração pode ocorrer por revolvimento manual, ou por meios mecânicos como insuflamento de ar (BIDONE, 1996).

Segundo a USEPA (1994) a quantidade de oxigênio necessária para a compostagem depende do estágio do processo, do tipo de resíduo, do tamanho da partícula e da umidade do substrato. Na primeira etapa da compostagem é notada a grande necessidade de suprimento de oxigênio para dar início ao processo. Segundo Sharma et al. (1997) a etapa inicial da compostagem necessita de 5 - 15% de oxigênio. Por outro lado, na última etapa prefere-se condições menos oxidativas, onde as atividades biológicas são mais fracas e a temperatura é reduzida, sendo requerida 5% de oxigênio.

4.3.3 - Temperatura

A compostagem aeróbia pode ocorrer em regiões tanto de temperatura termofílica (45°C a 85°C) como mesofílica (25°C a 43 °C) (ANDREOLI, 2001).

Modesto Filho (1999) e Kiehl (1998) definem três etapas bem definidas na compostagem em relação a temperatura. Sendo a primeira etapa mesofílica, a segunda etapa termofílica e a terceira etapa mesofílica, correspondendo as duas primeiras de estabilização da matéria orgânica e a última de humificação ou maturação da matéria orgânica. Já, Bidone e Povinelli (1999) definem quatro etapas da compostagem: a etapa 1, de elevação da temperatura até o limite preconizado como ótimo na compostagem, pode levar algumas horas (entre 12 e 24 horas) ou alguns dias, dependendo dos condicionantes ambientais na região onde se encontra

o pátio de processamento. Atingida uma temperatura entre 55°C e 60°C, introduz-se um fator externo de controle, o revolvimento, com ou sem umidificação, ou a aeração mecânica, realizada de forma intermitente, conduzindo-se, então, a bioestabilização na faixa de aquecimento adequada. A etapa 2, ocorre a degradação ativa do material orgânico no método convencional “*windrow*”, podendo demorar de 60 a 90 dias. Quando as leiras são operadas na forma “estática aerada”, o período é menor da ordem de 30 dias. Na etapa 3, inicia-se o resfriamento do material que, em condições normais, leva de três a cinco dias. A etapa 4, de maturação ou cura do material compostado, com a formação de ácidos húmicos, leva de 30 a 60 dias. A Figura 4.4 representa esquematicamente as quatro etapas da compostagem.

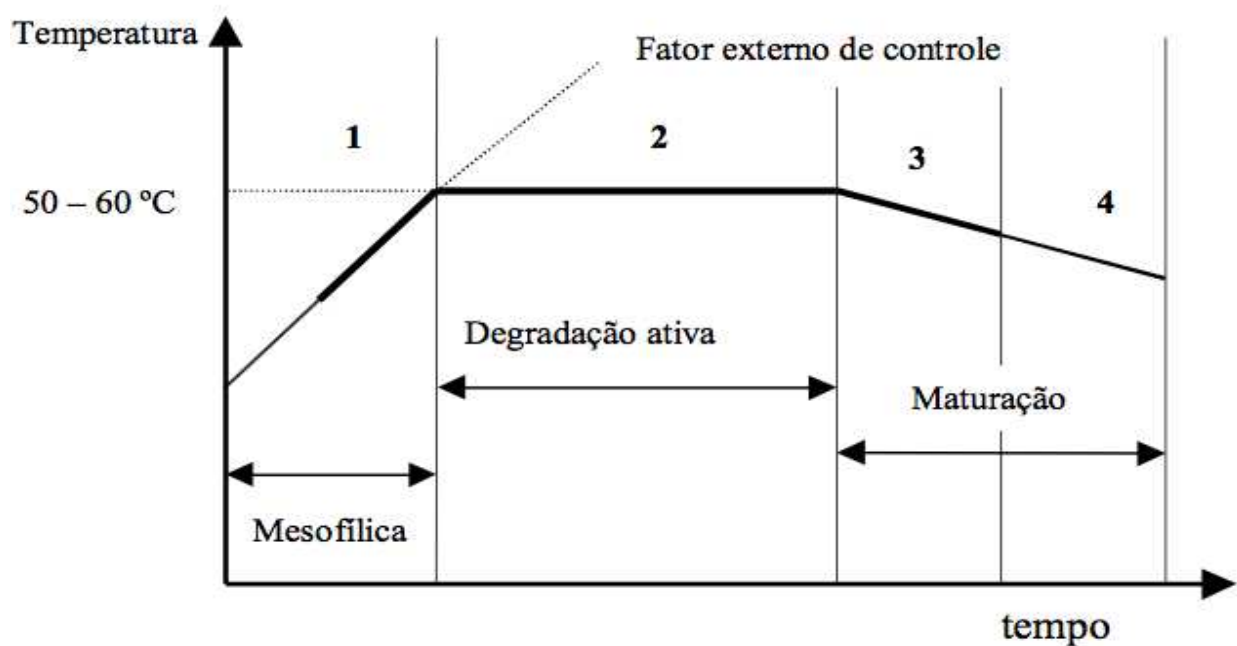


Figura 4.4- Esquema das etapas da compostagem

(Fonte: BIDONE, 1996)

Embora a elevação da temperatura seja necessária e interessante para a eliminação de microrganismos patogênicos, alguns pesquisadores observaram que a ação dos microrganismos sobre a matéria orgânica aumenta com a elevação da temperatura até 65°C; acima deste valor, o calor limita as populações aptas, havendo o decréscimo da atividade biológica (ANDREOLI, 2001).

O controle da faixa ideal de temperatura é realizado através do revolvimento do material em processamento, ou de sua irrigação, ou de ambos; baixas temperaturas são indicativas de alta umidade, e temperaturas elevadas indicam baixa umidade. Também, como as pilhas/leiras

apresentam diferentes temperaturas da parte mais interna a mais externa, o seu volume e a sua configuração geométrica também podem interferir na temperatura. Portanto, o controle da temperatura pode ser feito com o abaixamento da altura da pilha, irrigação e revolvimento. É importante referir que o revolvimento, por si só, não evita que após 6 a 12 horas haja a recuperação do calor (BIDONE E POVINELLI, 1999).

Atualmente, a aeração também é usada como meio de controlar a temperatura. Em certos casos, o insuflamento de ar comprimido na massa do composto pode ser de 5 a 10 vezes maior do que o estritamente necessários à respiração microbiana, tendo a função de dissipar o calor liberado no processo (ANDREOLI, 2001).

4.3.4 - Relação carbono: nitrogênio

A relação C:N (peso em peso) ideal para a compostagem é frequentemente considerada como 30:1. Dois terços do carbono são liberados como dióxido de carbono que é utilizado pelos microrganismos para obter energia e o outro terço do carbono em conjunto com o nitrogênio é utilizado para constituir as células microbianas (note-se que o protoplasma microbiano tem uma relação C:N próxima de 10:1 mas, para efetuar a síntese de dez carbonos com um nitrogênio, e assim constituir o seu protoplasma, os microrganismos necessitam de vinte carbonos, aproximadamente, para obter energia). As perdas de nitrogênio podem ser muito elevadas (por exemplo, de 50%) durante o processo de compostagem dos materiais orgânicos, particularmente quando faltam os materiais com elevada relação C:N. Para baixa relação C:N, o nitrogênio ficará em excesso e poderá ser perdido como amônia causando odores desagradáveis. Para alta relação C:N, a falta de nitrogênio irá limitar o crescimento microbiano e o carbono será degradado lentamente com temperaturas baixas. Um volume de três partes de materiais ricos em carbono para uma parte de materiais ricos em nitrogênio é uma mistura muitas vezes utilizada. Com o aumento dos materiais ricos em carbono relativamente aos nitrogenados o período de compostagem requerido aumenta. (ESALPL - Manual de Compostagem, 2005).

Para Russo (2003) a relação C:N decorre da própria definição de compostagem, como processo biológico, onde os elementos C e N são fundamentais, pois constituem elementos presentes nas células microbianas, em que C representa em média 50% e N de 2 a 8%. A relação C:N depende do microrganismo e do meio de crescimento. O mesmo autor cita que a relação C:N é utilizada como indicador da estabilidade biológica do composto, definindo a qualidade do produto resultante da compostagem de resíduos urbanos. No entanto, este parâmetro não

dispensa uma interpretação com base nas características iniciais do produto, constituindo melhor avaliação a análise dos valores C:N inicial e final. Deste modo, a relação C:N tem sido objeto de pesquisa por parte de muitos autores, que propuseram relações ótimas para a compostagem (Tabela 3.1). Alguns autores apresentam um intervalo de variação que refletirá melhor os mecanismos metabólicos envolvidos. Com efeito, a disponibilidade de C é a maior fonte de energia para os microrganismos, porém a sua eficiência não é 100% e a demanda de C é maior que a do N. Apesar da grande diferença de demandas, a carência de N é limitante no processo, por ser essencial para o crescimento e reprodução celular. Quando parte do carbono disponível é de difícil ataque, como a lignina, celulose e hemicelulose, será aconselhável uma relação C:N maior, pois o C biodisponível é inferior ao C total. Quando há um decréscimo da C:N inicial de 35:1 a 40:1 para uma relação final de 18:1 a 20:1, traduz-se normalmente por um avanço no grau de maturação. Por outro lado, se o material a compostar for rico em N, ou seja, com baixa C:N (10:1 ou inferior), com o avanço da degradação a relação tende a aumentar devido à perda do N (RUSSO, 2003).

Tabela 4.1 - Relações C:N ótimas para a compostagem

Relação C:N	Autor	Ano
30:1 - 35:1	Gotaas, H. B.	1959
30:1	Haug, R. T.	1980
< 20:1	Cardenas et al	1980
20:1 - 30:1	Gouleke, C. G.	1981
25:1	Bertoldi et al	1983
30:1 - 40:1	Pereira Neto, J. T.	1989
25:1 - 40:1	Richard, T. L.	1992

(Fonte: RUSSO, 2003)

Apesar dos valores sugeridos na Tabela 4.1 para a relação C:N ótima na compostagem, constata-se que não poderá ser um valor absoluto, uma vez que varia com as características do material a compostar.

4.3.5 – pH

A compostagem aeróbia provoca a elevação do pH da massa em biodegradação. Ao início do processo, o material produzido pode tornar-se mais ácido (de 5 a 6), devido a formação de ácidos minerais e gás carbônico. Estes logo desaparecem, dando lugar aos ácidos orgânicos, que reagem com as bases liberadas da matéria orgânica, neutralizando e transformando o meio em alcalino, chegando a valores de 8 a 8,5. Isto é devido principalmente a decomposição das proteínas, bem como, pela eliminação do gás carbônico. Logo independentemente do uso de corretivos, a compostagem conduz à formação de matéria orgânica húmica com reação alcalina (BIDONE E POVINELLI, 1999).

Quando o pH no início da compostagem é elevado, associado a altas temperaturas, causa a perda de nitrogênio por volatilização da amônia. Vários autores consideram que o pH afeta a compostagem, além da dificuldade de ser controlado durante o processo. No entanto, Pereira Neto (1995) apud Russo (2003) constatou nos seus trabalhos que o pH é auto regulado no processo de compostagem, não merecendo, por isso, uma preocupação especial em controlá-lo durante o processo de compostagem.

4.3.6 - Tamanho da partícula

De modo geral, as partículas destinadas à compostagem de resíduos sólidos orgânicos devem apresentar dimensões entre 25 e 75 mm (FERNANDES E SILVA, 1999).

Segundo Russo (2003), o tamanho das partículas tem importância na oxigenação da massa em compostagem. Partículas menores que 2 mm são muito finas e a aeração é mais difícil, enquanto que acima de 16 mm facilita o arejamento natural, sem revolvimentos constantes. Por outro lado, quanto menor forem as partículas, maior será a área de ataque pelos microrganismos.

4.4 - MÉTODOS CONVENCIONAIS DE COMPOSTAGEM

Primitivamente o método de compostagem, utilizado em larga escala nas áreas agrícolas, envolvia simplesmente a estocagem de materiais putrescíveis, levando alguns meses para ser degradado. Este método, espontâneo e sem biotecnologia, atualmente não é aceito ambientalmente, pelo fato de não garantir a qualidade final do produto, o composto orgânico.

O fluxograma apresentado na Figura 4.5 é aplicável a qualquer operação de compostagem de resíduos sólidos urbanos, embora o peneiramento, algumas vezes, não seja requerido. A maior diferença entre os processos de compostagem está na metodologia da aeração. Genericamente, podem ser divididos em três tipos, tais como: compostagem em leiras com revolvimento mecânico, sistema “windrow”; compostagem em leiras estáticas aeradas e compostagem em reatores biológicos.

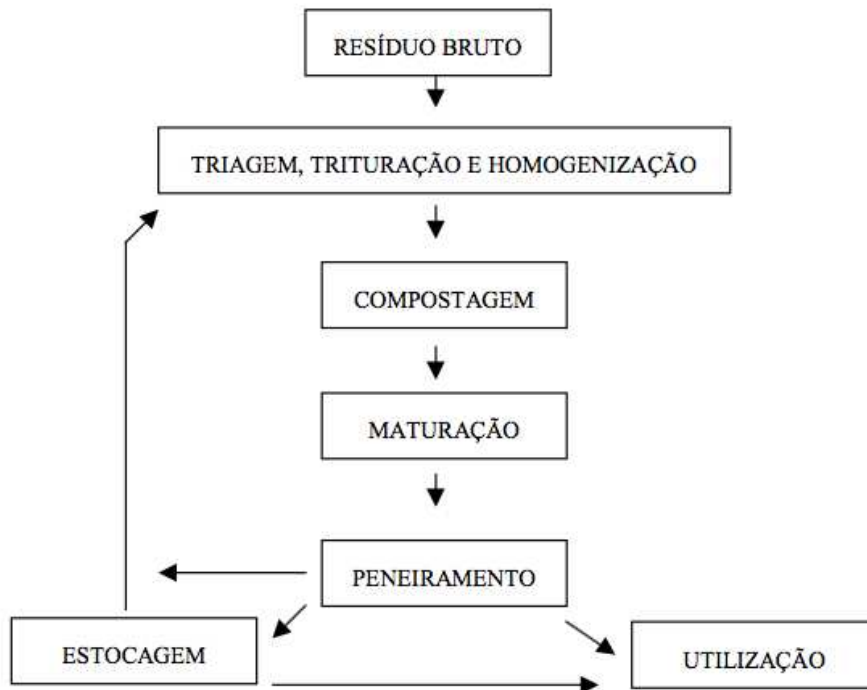


Figura 4.5 - Fluxograma típico de um processo de compostagem

(Fonte: SHAUB E LEONARD, 1996).

Uma comparação qualitativa destes três métodos é apresentada na Figura 4.6. Geralmente, sistemas com alta tecnologia requerem maiores investimentos, mas resultam em melhores condições de controle e maiores taxas de oxidação. Processos envolvendo altas taxas de biodegradação da matéria orgânica necessitam de menores áreas de projeto. No entanto, a seleção do método a ser utilizado depende primeiramente da natureza do resíduo, da localização da unidade de processamento e dos recursos financeiros disponíveis (SHAUB E LEONARD, 1996).

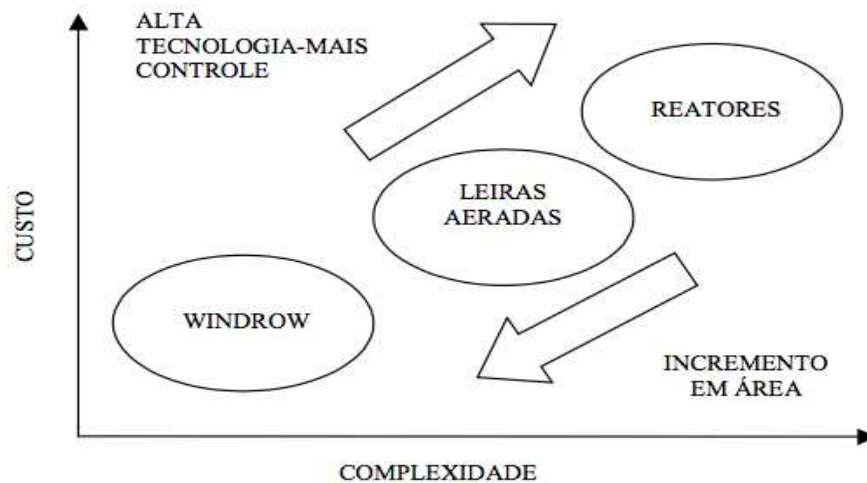


Figura 4.6 - Comparação esquemática dos métodos de compostagem

(Fonte: SHAUB E LEONARD, 1996)

4.4.1 - Compostagem pelo sistema “windrow”

O método de compostagem pelo sistema “windrow” é necessário que o local do processo seja tecnicamente apropriado. O projeto deve levar em consideração as condições do solo, topografia, sistema de drenagem existente, além de outras características específicas. As leiras devem ser dimensionadas de forma que não haja perda de calor para manutenção do processo (SHARMA et al., 1997).

A mistura e a aeração dos resíduos orgânicos no sistema “windrow” é realizada através de revolvimentos realizados por equipamentos mecânicos. A introdução de ar na massa de sólidos é feita por difusão e convecção (ANDREOLI, 2001). No momento em que é realizado o revolvimento, a matéria orgânica entra em contato com a atmosfera rica em oxigênio, o que permite suprir momentaneamente as necessidades de aeração do processo biológico. O efeito do revolvimento é limitado e depende de outros fatores, principalmente porosidade, umidade e nutrientes (FERNANDES E SILVA, 1999).

Existem máquinas específicas para misturar e revolver o composto, sendo estas máquinas de dois tipos básicos (FERNANDES E SILVA, 1999):

- implementos traçados por tratores agrícolas, alguns já fabricados no Brasil;
- equipamentos auto-propelidos, que se deslocam sobre a leira e realizam o revolvimento, deixando as leiras com dimensões padrão, fixadas pelo modelo do equipamento (Figuras 4.7).

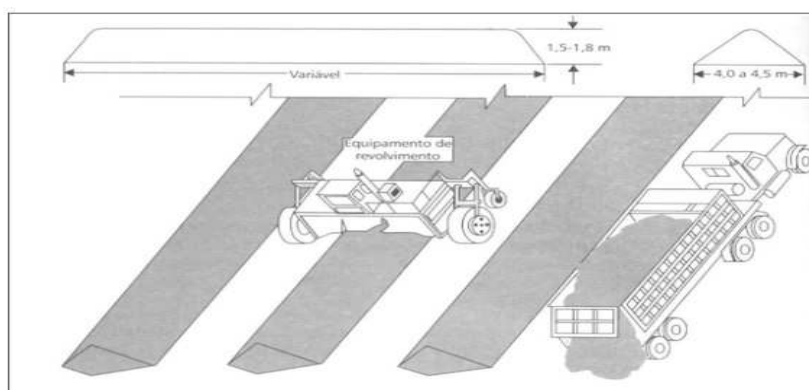


Figura 4.7 - Equipamento auto-propelido para revolvimento de leiras

(Fonte: FERNANDES E SILVA, 1999.)

Na prática, utilizam-se pás carregadeiras ou retroscadeiras, que são equipamentos convencionais de obras de terraplenagem, cuja eficiência é menor, porém podem ser usadas com bons resultados (FERNANDES E SILVA, 1999). Para Kiehl (1998) o programa de revolvimento das leiras deve ser baseado na concentração de oxigênio, na temperatura e na umidade.

Segundo Fernandes e Silva (1999), durante a compostagem, as leiras devem ser revolvidas no mínimo três vezes por semana para atender os seguintes objetivos:

- aerar a massa de resíduos em compostagem;
- aumentar a porosidade do meio, que sofre uma compactação natural devido ao peso próprio do resíduo;
- homogeneizar a mistura;
- expor as camadas externas às temperaturas mais elevadas do interior da leira, melhorando a eficiência da desinfecção;
- em alguns casos, reduzir a granulometria dos resíduos;
- diminuir o teor de umidade dos resíduos;
- controlar a temperatura do processo.

Um sistema “*windrow*” simplificado é apresentado no manual da agência de proteção ambiental dos Estados Unidos, em que é denominado compostagem passiva e utilizada principalmente para resíduos com partículas uniformes, como é o caso dos resíduos de podas picados (USEPA, 1994). Embora seja aplicável para qualquer tipo de resíduos, não é recomendável para resíduos domiciliares e outros que podem gerar problemas de odores, como lodos que contém altos teores de nitrogênio. Este sistema é o mais econômico e consiste da

montagem das leiras e de um revolvimento a cada ano, sendo necessário o controle da umidade para manter o processo na faixa ideal. A medida essencial de qualquer processo é a temperatura, que indica a eficiência da compostagem. Neste processo, também pode-se controlar a temperatura e umidade pela configuração geométrica da leira, baseado em um sistema simples, mas que, no entanto, seja implantado em regiões com pouca densidade populacional e com proteção ambiental através da instalação de cortina vegetal para emanação dos odores.

4.4.2 - Compostagem em leiras estáticas aeradas

O método de compostagem em leiras estáticas aeradas é conhecido como método da pilha estática, aplicado inicialmente para lodo de esgoto. A leira estática aerada difere da compostagem natural, pelo fato de não sofrer nenhum revolvimento. Esta não é recomendável para todo tipo de resíduo sólido, pois o material a ser compostado deve ser homogêneo e possuir granulometria suficiente para garantir boa permeabilidade do ar insuflado, sob baixa pressão.

O processo consiste em colocar no piso do pátio uma tubulação plástica ou metálica, perfurada, de 10 cm de diâmetro em forma de retângulo e ligada a um exaustor. Sobre esta tubulação, dispõe-se uma camada de madeira triturada com 15 a 20 cm de espessura, servindo de leito filtrante para o lixiviado e também facilitar a passagem do ar na leira, que será insuflado ou aspirado através dos orifícios da tubulação. No final da montagem recobre-se a leira com uma camada fina de composto maturado e peneirado, cuja finalidade é reter o calor na pilha e filtrar os gases, diminuindo os odores. Fernandes e Silva (1999) recomendam 5 cm para esta camada, enquanto Kiehl (1998) indica 30 cm. Kiehl (1998) afirmou que inicialmente era realizada somente a aspiração intermitente, mas que depois de um determinado tempo, passou-se a intercalar aspiração e insuflação de ar, em que o ar retirado da leira é insuflado em composto pronto como forma de reter os odores (Figura 4.8).

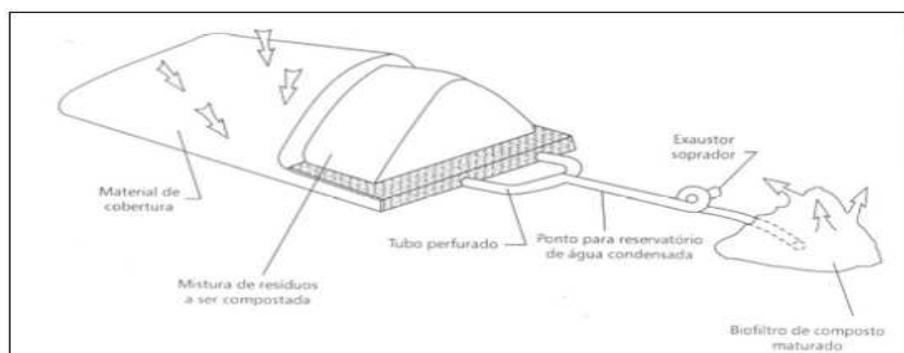


Figura 4.8- Leira estática aerada

(Fonte: ANDREOLI, 2001).

Em estudos mais recentes de compostagem de lodos de esgoto, a madeira triturada foi substituída por lascas de pneus velhos, e a tubulação perfurada foi substituída por estreitas canaletas abertas no pátio, cheias com brita até o nível do piso, onde é realizada o processo de aeração e sobre estas, montada a pilha estática. Esta inovação permite que a operação de disposição do material a ser compostado e a remoção do composto curado seja feita por tratores com pá carregadeira, que podem trabalhar transitando livremente por todo o pátio. Outra inovação para a aeração da leira estática é a abertura de canaletas de alvenaria, mais largas que as anteriores, que são recobertas com placas removíveis de concreto contendo perfurações por onde passa o ar insuflado ou aspirado (Kiehl, 1998).

O sistema de aeração forçada permite a formação de leiras em duas configurações: leiras isoladas, sendo que ser formada uma leira a cada dia e na outra forma de leiras agrupadas, onde a massa de resíduos é colocada em blocos compactos de grandes dimensões, sendo a primeira alternativa de melhor controle (Fernandes e Silva, 1999).

4.4.3 - Compostagem em reatores biológicos

A compostagem realizada em reatores biológicos (*In-vessel*) é um processo com sistema fechado, permitindo controlar todos os parâmetros importantes do processo. Fernandes e Silva (1999) avaliaram que este tipo de processo é vantajoso devido ao período reduzido da etapa termofílica, o que em alguns casos conferiu à compostagem em reatores, a denominação de “compostagem acelerada”. Devido as condições operacionais deste sistema supõe-se que tenha mais eficiência na mistura, equilibrando a temperatura em toda a massa de resíduos, garantindo a eliminação eficiente dos patógenos. Outra característica importante deste tipo de tratamento é o maior controle dos odores, pois o sistema é fechado e a aeração é controlada.

De acordo com as características dos resíduos e do tipo de equipamento, o tempo de detenção no reator biológico pode variar de 7 a 20 dias, portanto requer menor espaço para implantação (Fernandes e Silva, 1999). A aeração é realizada sob pressão, onde a taxa é facilmente controlável, devido o sistema ser fechado em que a saída dos gases é monitorada, sendo que para taxas de O₂ abaixo de 2%, a vazão do ar deve ser aumentada para evitar a anaerobiose.

De modo geral, os vários tipos de reatores enquadram-se em três grandes categorias:

- reatores de fluxo vertical: São constituídos por sistemas parecidos com silos verticais onde os resíduos geralmente entram pela parte superior e percorrem o reator no sentido descendente. O ar pode ser injetado em vários níveis ou apenas na parte inferior do reator;

- reatores de fluxo horizontal: geralmente em forma cilíndrica em que os resíduos são dispostos horizontalmente, conhecidos também, como túneis. Os resíduos entram por uma extremidade do reator e saem pela outra, com tempo de detenção suficiente para realização da etapa termófila.

- reatores de batelada diferem dos anteriores pelo fato do composto ficar confinado no mesmo local, sem se deslocar. O reator geralmente é dotado de um sistema de agitação da massa de resíduos, que pode ser por rotação lenta do reator em torno de seu próprio eixo, ou por um sistema misturador interno. O revolvimento é necessário para limitar os caminhos preferenciais de passagem do ar, entretanto, alguns reatores não realizam esta operação (Figura 9).



Figura 4.9 – Sistema integrado de biodigestão anaeróbia e compostagem

(Fonte: < www.portalresiduossolidos.com/tratamento-de-residuos-solidos-organicos-em-ypres-na-belgica-sistema-integrado-de-biodigestor-e-usina-de-compostagem/ >. Acesso em: 4 nov. 2017)

Nos dois primeiros casos, os resíduos passam pelos reatores em fluxo contínuo, sendo que o período de detenção é definido pela velocidade com que os resíduos percorrem o trajeto de entrada até a saída do reator. No terceiro caso, o reator recebe uma determinada quantidade de resíduos, processa-os, e quando a etapa termofílica chega ao final, o reator é aberto, descarregado em batelada, começando o processo com novos resíduos frescos. Dentre estes reatores já mencionados, o mais utilizado é o sistema horizontal, em que grandes cilindros com aproximadamente 3 metros de diâmetro e 35 metros de comprimento, com capacidade diária de 50 toneladas a um período de detenção de 3 dias, sendo que a temperatura pode atingir 55°C. Além disso, pode-se fazer o uso de filtros especiais no fim do reator, com o objetivo de limpar os gases de saída do reator (SHARMA et al., 1997).

4.4.4 - Vantagens e desvantagens dos sistemas

Uma compostagem eficiente não depende necessariamente de utilização de tecnologia sofisticada. É necessário um controle da qualidade dos resíduos que serão processados e monitoramento do processo, como forma de garantir a produção ambientalmente correta de um composto orgânico. Para a determinação da tecnologia a ser utilizada, é necessário avaliar os critérios técnicos e econômicos. As principais vantagens e desvantagens dos três sistemas são apresentadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Principais vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de compostagem.

Sistema de compostagem	Vantagens	Desvantagens
Leiras revolvidas	<ol style="list-style-type: none">1. Baixo investimento inicial;2. Flexibilidade de processar volumes variáveis de resíduos;3. Simplicidade de operação;4. Uso de equipamentos simples5. Produção de composto homogêneo e de boa qualidade;6. Possibilidade de rápida diminuição do teor de umidade das misturas devido ao revolvimento.	<ol style="list-style-type: none">1. Maior necessidade de área, pois as leiras tem que ter pequenas dimensões e há necessidade de espaço livre entre elas;2. Problema de odor mais difícil de ser controlado, principalmente no momento do revolvimento;3. Muito dependente do clima. Em períodos de chuva o revolvimento não pode ser feito;4. O monitoramento da aeração deve ser mais cuidadoso para garantir a elevação da temperatura.
Leiras estáticas aeradas	<ol style="list-style-type: none">1. Baixo investimento inicial2. Melhor controle de odores3. Etapa de estabilização mais rápida que o sistema anterior4. Possibilidade de controle da temperatura e da aeração5. Melhor uso da área disponível que o sistema anterior	<ol style="list-style-type: none">1. Necessidade de bom dimensionamento do sistema de aeração e controle dos aeradores durante a compostagem2. Operação também influenciada pelo clima
Compostagem em reator biológico	<ol style="list-style-type: none">1. Menor demanda de área2. Melhor controle do processo d compostagem3. Independência de agentes climáticos4. Facilidade para controlar odores5. Potencial para recuperação de energia térmica (dependendo do tipo de sistema)	<ol style="list-style-type: none">1. Maior investimento inicial2. Dependência de sistemas mecânicos especializados, o que torna mais delicada e cara a manutenção3. Menor flexibilidade operacional para tratar volumes variáveis de resíduos4. Risco de erro difícil de ser reparado se o sistema for mal dimensionado ou a tecnologia proposta for inadequada

(Fonte: FERNANDES E SILVA, 1999)

CAPÍTULO 5 - REMEDIAÇÃO

O processo de remediação de solos contaminados está relacionado à redução dos teores de contaminantes a níveis seguros e compatíveis com a proteção da saúde humana, seja impedindo ou dificultando a disseminação de substâncias nocivas ao ambiente.

Segundo Schianetz (1999), as técnicas de remediação podem ser diferenciadas entre processos *in site* (sem remoção do material), *on site* (remoção e tratamento no local) e *off site* (tratamento fora do local). Estas técnicas apresentam vantagens e desvantagens que devem ser avaliadas, conforme apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Vantagens e desvantagens dos processos de remediação.

	Vantagens	Desvantagens
Processo <i>in site</i>	-relativamente barato	-dificuldade de descontaminar de forma uniforme; -problemas consequentes são de difícil avaliação; -grande dispêndio de tempo; e -êxito da recuperação não pode ser constatado com confiabilidade.
Processo <i>on site</i>	-êxito da recuperação é de fácil repetibilidade	-após o tratamento o solo fica biologicamente morto e mineralogicamente alterado; -a utilização de solventes para a extração compromete sua separação no final do processo; -na escavação ocorrem riscos ao meio ambiente e a saúde; e -é 2 a 3 vezes mais caro que os processos <i>in site</i> .
Processo <i>off site</i>	-geralmente rentável; e -a área tem um destino imediato a uma utilização	-problema é transferido; -são necessários centros de tratamento para a descontaminação; e grande dispêndio no transporte e proteção no trabalho

(Fonte: Schianetz, 1999)

A contaminação dos solos e águas subterrâneas por compostos orgânicos voláteis, Hidrocarbonetos Poli-Aromáticos (PAHs), herbicidas, nitroaromáticos e metais pesados são de extrema importância devido ao seu elevado grau de toxicidade e potencial de migração na fase gasosa, dissolvida e como fase imiscível.

Diante disso, a escolha da técnica de remediação deve ser sistematizada na avaliação da heterogeneidade física do solo, na extensão do contaminante, na localização das fontes primárias dos contaminantes, na existência de zonas de descarga, bem como na presença do contaminante em suas fases imiscíveis, residual ou adsorvida no meio geológico.

As tecnologias de remediação de solos e águas subterrâneas sofreram inúmeras mudanças nas duas últimas décadas, em particular na América do Norte. Essas mudanças ocorreram num ritmo relativamente rápido, sobretudo como resultado de pressões exercidas pela indústria para que houvesse uma melhoria contínua da relação custo-benefício para as tecnologias disponíveis. Dentre essas tecnologias desenvolvidas, destacam-se os processos descritos a seguir.

5.1 - PUMP AND TREAT

A tecnologia *Pump and Treat* (Bombeamento e Tratamento / Controle Hidráulico), refere-se ao processo físico de extração de águas contaminadas da zona saturada, através de poços de extração, e seu tratamento acima do solo (*on-site*), podendo também ser transportado para um sistema fora do sítio (*off-site*), utilizando diversas tecnologias com o objetivo de atingir o nível de descontaminação desejável. Para se ter uma maior eficiência neste método, é necessário um bom conhecimento hidrogeológico da área e da extensão da pluma contaminada. Se as condições hidrogeológicas forem favoráveis, pode-se melhorar a eficiência do sistema, reinjetando no aquífero a água subterrânea contaminada, após o tratamento, já que o super bombeamento pode alterar o gradiente hidráulico do aquífero em tratamento. O sistema pode ser composto por um poço com uma bomba simples que recupera água e contaminante ao mesmo tempo ou pode ser um sistema de duas bombas, uma rebaixando o nível d'água, só retirando a água subterrânea, e outra retirando o contaminante.

Tendo em vista a necessidade de remediação de áreas contaminadas, essa técnica é utilizada em muitas as ocasiões, pois a técnica em si é relativamente mais barata do que muitas outras, pois refere-se ao bombeamento e tratamento das águas subterrâneas por meio da utilização de poços de bombeamento. Todavia, em áreas geologicamente complexas, a

distribuição das litologias apresenta incertezas associadas à heterogeneidade, e portanto, deve-se projetar minuciosamente o uso ou não dessa tecnologia de remediação.

O objetivo do controle e tratamento da água subterrânea contaminada envolve uma ou mais das quatro estratégias:

- conter a pluma de contaminação;
- remover a pluma de contaminação, após terem sido tomadas medidas para deter a fonte geradora da contaminação;
- desviar a água subterrânea visando evitar que a mesma passe pela fonte de contaminação; e,
- evitar que a água subterrânea contaminada atinja uma área de abastecimento de água potável ou de bens a proteger.

Geralmente o sistema de *Pump and Treat* está associado com outras tecnologias de remediação visando acelerar o tempo da descontaminação em que pode ser aplicada aos sítios mais contaminados. A pluma de contaminação pode ser contida ou manipulada através de poços de bombeamento ou de poços de injeção. O princípio da manipulação da pluma pelo controle hidráulico consiste em efetuar uma mudança no padrão de fluxo da água subterrânea, de forma que os contaminantes possam ser direcionados para um ponto ou pontos específicos de controle. Esse procedimento é feito por meio de descarga e/ou recarga no aquífero.

Quando as características geológicas do sistema não permitem a reinjeção da água contaminada após o tratamento e/ou em muitos casos devido à lentidão do processo de difusão hidráulica em alguns solos, é necessário o uso de enormes tanques de tratamento em função do grande volume de água envolvido, elevando o tempo de tratamento e tornando o processo bastante oneroso. Em contrapartida, permite o tratamento de solos saturados e aquíferos contaminados ao mesmo tempo, em que pode ser aplicada na remoção de compostos de hidrocarbonetos clorados (CHCs) e hidrocarbonetos monoaromáticos (BTEX).

5.2 - EXTRAÇÃO DE VAPOR DO SOLO (SVE)

Neste processo ocorre a remoção física dos contaminantes, principalmente os compostos orgânicos voláteis, clorados ou não, e os BTEX da zona saturada (camada mais profunda do solo onde se concentram as águas subterrâneas), através de poços perfurados no solo, aplicando extração a vácuo.

A eficiência desse tratamento pode ser aumentada combinando com outros métodos, como a outros métodos como a injeção de ar. Neste caso, o ar injetado retira a água dos poros do solo, causando uma dessorção do contaminante da estrutura do solo, fazendo com que este se movimente para a superfície, com a ajuda do sistema SVE.

Essa técnica pode ser utilizada na descontaminação de solos com baixa à média permeabilidade, tendo seu funcionamento limitado se o nível d'água apresentar-se raso.

5.3 - DESSORÇÃO TÉRMICA

Neste método, os resíduos são aquecidos para provocar a volatilização dos compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis, incluídos nestes últimos, muitos PAHs. É sempre utilizada a injeção de água ou vapor quente dentro do solo para aumentar a mobilidade dos contaminantes, sendo que estes são transportados na fase de vapor para uma fonte de condensação podendo ser removidos por bombeamento. Tem sua aplicação limitada a solos grosseiros, onde a contaminação encontra-se pouco profunda, além disso, pode matar microrganismos, animais e vegetais em volta da área contaminada devido à propagação do calor.

5.4 - AERAÇÃO *in situ* (Air Sparging)

Este método de remediação é utilizado para extrair compostos voláteis e semi-voláteis que se encontram na zona saturada do solo. Envolve a injeção de ar para a remoção de contaminantes como CHCs, BTEX, PAHs, promovendo também a biodegradação aeróbica de determinados compostos, por incrementar a quantidade de oxigênio dissolvido nas águas do aquífero. Entretanto, a injeção de ar abaixo do nível d'água pode causar uma elevação da superfície da água subterrânea, levando o contaminante a migrar para fora da área de tratamento, ou seja, a espessura saturada e a profundidade do lençol freático devem ser os fatores controladores da injeção de ar.

Em resumo, a técnica do *Air Sparging* é utilizada para remediação de compostos orgânicos voláteis dissolvidos na água subterrânea ou sorvidos em partículas de solo da zona saturada, através de injeções controladas de ar.

O processo de remediação *in-situ* pode ser definido como uma injeção através de um compressor de ar a pressão e vazão controladas na zona saturada, causando o desprendimento dos contaminantes da água subterrânea, através da volatilização dos mesmos.

A aplicação desta técnica resulta no desprendimento dos contaminantes da água subterrânea, através da volatilização dos mesmos. Tais contaminantes podem ser captados na região imediatamente acima, na zona insaturada do solo, através da utilização do *Air Sparging* conjugado a um sistema de extração de vapores (SVE).

5.5 - BARREIRAS REATIVAS PERMEÁVEIS (BRPs)

Barreira Reativa Permeável constitui-se em uma técnica que vem sendo utilizada em diversos países na remediação de plumas de contaminação no lençol freático subterrâneo. O princípio dessa tecnologia consiste na alocação de um material reativo no subsolo, em que uma pluma de água subterrânea contaminada flui por esse material, promovendo reações que atenuam a carga de contaminante de acordo com a Figura 5.1. As BRPs são projetadas para serem mais permeáveis do que os materiais ao redor do aquífero, de modo que os contaminantes das águas subterrâneas possam ser tratados e fluírem facilmente sem alterar significativamente a hidrologia das águas subterrâneas .

Estas barreiras promovem a passagem das águas subterrâneas através de porções reativas que possibilitam a remediação, por processos físicos, químicos e/ou biológicos, de solos contaminados com CHC e metais pesados. Dessa forma, é feita uma escavação no terreno até a profundidade desejada, preenchendo-o com um reaterro que é feito com um material reativo, até a profundidade do nível d'água, sendo que acima dele pode-se utilizar o próprio material escavado.

No Brasil, a tecnologia de barreiras reativas permeáveis tem grandes perspectivas de utilização, devido a vários estudos nas universidades e centro de pesquisas em diferentes regiões do país que mostram boa eficiência da utilização das BRPs em diversas regiões.

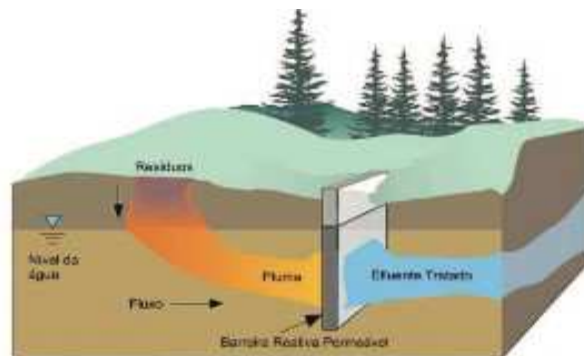


Figura 5.1- Sistema de Barreiras Reativas Permeáveis

(Fonte: Adaptado da USEPA, 1994)

5.6 - INCINERAÇÃO

A incineração é um processo de destruição térmica realizado sob alta temperatura (900°C a 1250°C) com tempo de residência controlada. É utilizado para o tratamento de resíduos de alta periculosidade, ou que necessitam de destruição completa e segura. É muito usado para a extração de compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis, como PAHs, PCBs, pesticidas, entretanto, pode ocasionar emissões de substâncias que poluem a atmosfera, a água e o solo e com efeitos nocivos na saúde humana.

5.7 - SOLIDIFICAÇÃO/ESTABILIZAÇÃO

Método que promove o isolamento de poluentes, como CHC e metais pesados, mas não a sua remoção. Trata-se da imobilização física ou química dos contaminantes, através da introdução de material que pode provocar a solidificação ou pode causar uma reação química, ou ainda modificação do pH que acarretará na imobilização destes compostos.

É considerado um processo simples e barato, por utilizar equipamentos convencionais e facilmente disponíveis, contudo o processo exige um longo período de monitoramento, porque o processo pode reverter e liberar os contaminantes.

5.8 - LAVAGEM DO SOLO

Este processo de remediação é efetuado pela injeção de fluidos (podendo ser água ou uma solução ácida ou básica) através de cavidades situadas no subsolo, sendo os mesmos coletados em outros poços auxiliados da tecnologia convencional *pump-and-treat*.

O método extrai íons metálicos através da solubilização, que é feita com o uso de aditivos químicos para ajustar o pH do solo, auxiliando na quelação ou promovendo a troca catiônica.

5.9 - BIORREMEDIAÇÃO

A biorremediação é o conceito mais atual para tratamento de aterros sanitários, aterros controlados e lixões, focado na minimização dos impactos negativos ao meio ambiente, na ampliação da vida útil e na reversão do quadro crítico (LIMA, 2002). Esta técnica de

remediação se refere ao uso de microrganismos capazes de degradar resíduos provenientes, principalmente, de depósitos de lixo e solos contaminados com hidrocarbonetos de petróleo, incluindo os PAHs e os BTEX. Os microrganismos geralmente utilizados na biorremediação são as bactérias e fungos, e estes degradam, normalmente, substâncias mais simples e menos tóxicas.

A biorremediação *in situ* pode ser estimulada com a injeção de nutrientes, como nitrogênio (N) e fósforo (P), diretamente na água subterrânea, objetivando aumentar a habilidade e multiplicação dos microrganismos nativos do solo, em cumprir o seu potencial biorremediador.

5.10 - FITORREMEDIAÇÃO

Os vegetais se adaptam a ambientes extremamente diversos, de forma tão eficaz que poucos lugares são completamente desprovidos de sua presença, sendo que algumas espécies apresentam a capacidade de interagir simbioticamente com diversos organismos, facilitando sua adaptação em solos salinos, ácidos, pobres e ricos em nutrientes ou excessivamente contaminado em elementos químicos como metais pesados.

A fitorremediação se refere ao uso de plantas na descontaminação de solos poluídos, principalmente com metais pesados e poluentes orgânicos, reduzindo seus teores a níveis seguros à saúde humana, além de contribuir na melhoria das características físicas, químicas e biológicas destas áreas.

De acordo com Glass (1999) citado por Andrade et al., (2007), a fitorremediação no ano de 1999, movimentou valores entre 34 e 58 milhões de dólares, sendo que os Estados Unidos foram os responsáveis pela maior parte deste mercado. Infelizmente no Brasil, o uso desta tecnologia ainda é desconhecido pela maioria dos profissionais envolvidos na área ambiental, apesar de apresentar condições climáticas e ambientais favoráveis ao desenvolvimento deste processo.

Uma das suas maiores vantagens é o seu baixo custo, porém o tempo que leva para que se observem os resultados pode ser considerado como uma desvantagem, dependendo das perspectivas envolvidas na remediação. Segundo Nobre et al. (2004), houve uma redução dos custos de remediação nos últimos 20 anos ao substituir técnicas de extração *ex situ* como a contenção hidráulica, por técnicas de extração *in situ* como a extração de gás de solo e aeração do solo. Posteriormente, essas técnicas de extração *in situ* deram lugar às técnicas de remediação passiva como as barreiras reativas permeáveis.

Como a evolução das tecnologias vem se direcionando para soluções cada vez mais naturais, já há um reconhecimento comprovado de que processos de atenuação natural, como a biorremediação e fitorremediação, podem contribuir de forma significativa no controle das plumas de contaminação no solo e nas águas subterrâneas, além de serem economicamente mais viáveis que as outras tecnologias empregadas. Além disso, a fitorremediação se destaca por possuir também, como importante característica, sua grande versatilidade, podendo ser utilizada para remediação do meio aquático, ar ou solo, com variantes que dependem dos objetivos a serem atingidos.

CAPÍTULO 6 – ATERROS

Os aterros sanitários são o destino final dos rejeitos e resíduos sólidos de uma sociedade altamente consumista e incentivada, em grande parte, pela mídia, pelo menos no que concerne à aquisição de bens e produtos industrializados das mais variadas formas. A geração desses resíduos acarreta enormes prejuízos ao meio ambiente se não forem alojados de maneira técnica e ambientalmente adequada.

A definição de aterro sanitário no Brasil, segundo Albuquerque (2011), é a seguinte: “Um aterro sanitário é definido como aterro de resíduos sólidos urbanos, ou seja, adequado para a recepção de resíduos de origem doméstica, varrição de vias públicas e comércios”. Por sua vez, Fiorillo (2011) expõe que “aterros sanitários são os locais especialmente concebidos para receber lixo e projetados de forma a que se reduza o perigo para a saúde pública e para a segurança”.

6.1 - ASPECTOS GERAIS DO ATERRO SANITÁRIO

O aterro controlado é uma fase intermediária entre lixão e aterro sanitário. É uma célula adjacente preparada para receber resíduos com uma impermeabilização com manta e tem uma operação que procura suprir os impactos negativos, tais como cobertura diária da pilha de lixo com terra ou outro material disponível como forração ou saibro.

Aterro sanitário é uma obra de engenharia, destinada à estocagem, ao armazenamento ou à guarda de resíduos ou lixo gerados pela sociedade. Essa técnica é composta por grandes valas rasgadas no solo e subsolo que passam por um processo de impermeabilização com aplicação de uma camada de argila de baixa textura e PVC, que é compactada para reduzir a

porosidade e aumentar sua capacidade impermeabilizante. Sobre essa primeira camada, é colocado um lençol plástico e, sobre esse, uma segunda camada de argila é aplicada e novamente compactada como mostra a Figura 6.1.

Sobre a última camada de argila são instalados drenos para fluir a retirada de gases e líquidos gerados pela decomposição dos resíduos orgânicos. Por fim, o resíduo orgânico será depositado sobre essa segunda camada de argila, compactando e isolando o meio ambiente por meio de outra camada de saibro, entulho de demolição, argila ou até mesmo terra. Para essa operação são necessários grandes desmontes e movimentação de terra.



Figura 6.1- Aterro Sanitário

(Fonte: <www.ambientegaia.com.br/aterrosanitario.php>. Acesso em: 4 nov. 2017)

Normalmente, essas camadas extrapolam o nível topográfico original da região e passam a formar verdadeiras montanhas artificiais e instáveis, alterando, por consequência, a paisagem do local. Essa obra de engenharia irá causar vários problemas, tanto ambientais como para a sociedade, tais como: necessidade de grandes investimentos para sua implantação e manutenção; fermentação e digestão da matéria orgânica pelos microrganismos anaeróbicos que geram gases altamente nocivos à atmosfera, além do chorume (líquido poluente e malcheiroso); material plástico, contido no lixo do aterro – que não é biodegradável – permanece incólume, criando bolsões de gases e condições de deslizamento das camadas componentes do aterro; inutilização de grandes áreas em locais valorizados e próximos das cidades que nunca mais poderão ser utilizados, senão para cobertura verde; pesados investimentos em equipamentos, tratores, caminhões e retroscavadeiras para operação no aterro; enorme custo operacional para cumprir as condições mínimas obrigatórias; vida útil do aterro limitada, obrigando a permanente busca de novas áreas; poluição da atmosfera pela

exalação de odores féticos num raio de vários quilômetros; riscos permanentes de poluição dos mananciais subterrâneos e necessidade de queima dos gases emanados pelos drenos constituídos principalmente pelo gás metano.

A impermeabilização permanente de um aterro sanitário, conforme ensina Albuquerque (2011), é uma tarefa de engenharia impossível porque, até o momento, nenhuma tecnologia criou uma superfície capaz de conter a infiltração de forma duradoura e permanente. Um determinado material poderá conter a infiltração da água por algum tempo, entretanto, mais cedo ou mais tarde, essa camada de proteção irá ceder, permitindo a passagem da água que irá transportar os metais pesados contidos no lixo do aterro para os lençóis freáticos.

O chorume deve ser tratado ou reinserido no aterro, e o interior do aterro deve dispor de um sistema de drenagem de gases que possibilite a coleta do gás metano, gás carbônico, da água (vapor), entre outros, formados pela decomposição do lixo. Esses gases podem ser queimados na atmosfera ou aproveitados para geração de energia. No caso específico do Brasil, a utilização dos gases pode ser uma forma de compensação financeira por créditos de carbono, conforme previsto no Protocolo de Kyoto.

Há também, recirculação do chorume que é coletado e levado para cima da pilha de lixo, diminuindo a sua absorção pela terra ou, eventualmente, outro tipo de tratamento para o chorume como uma estação de tratamento desse efluente.

Os aterros enfrentam grandes limitações por conta do crescimento dos centros urbanos, associado, por consequência, ao aumento da quantidade de lixo produzida e descartada. O sistema de aterro sanitário precisa ser associado à coleta seletiva de lixo para reciclagem, o que permite que sua vida útil seja maior.

Albuquerque (2011) afirma que as áreas destinadas à implantação de aterros sanitários têm uma vida útil limitada, e novas áreas são cada vez mais difíceis de serem encontradas próximas dos centros urbanos, tudo aliado à resistência das populações do entorno.

Os critérios e requisitos analisados na aprovação dos Estatutos de Impacto Ambiental estão sendo aperfeiçoados pelos órgãos de controle do meio ambiente, além do fato de que os gastos com a sua operação se elevam em razão do distanciamento. Devido às desvantagens que essa técnica apresenta, a instalação de aterros sanitários deve ser planejada e sempre associada à implantação da coleta seletiva e de uma indústria de reciclagem, a qual destacou-se nas últimas décadas.

Todo aterro sanitário deve possuir um sistema de monitoramento ambiental – topográfico e hidrogeológico – e pátio de estocagem de materiais. Para aterros que recebem resíduos de populações acima de 30 mil habitantes, é desejável também, um muro ou cerca

limítrofe, que constitui de um sistema de controle de entrada de resíduos, por exemplo, uma balança rodoviária, guarita de entrada, prédio administrativo, oficina e borracharia.

Nesse aspecto, um projeto adequado de aterro sanitário compreende as seguintes atividades: escolha da área, elaboração do projeto, licenciamento ambiental, limpeza do terreno, obras de terraplanagem, acessos, impermeabilização utilizando material geossintético, drenagem e obras de construção civil.

Ainda, conforme Albuquerque (2011), quanto à atividade operacional de um aterro sanitário, é compreendido o espalhamento, a compactação, a cobertura e a drenagem dos resíduos, o monitoramento do sistema de tratamento de afluentes, o monitoramento topográfico e das águas, e a manutenção dos acessos e das instalações de apoio. Logo após a coleta, os resíduos sólidos são descarregados no aterro sanitário em que o lixo é compactado por um trator, formando uma célula, que será recoberta com argila. No final, o lixo ficará protegido de espalhamento pelo vento e da ação de insetos e animais.

Os aterros sanitários abrigam, em geral, resíduos provenientes das atividades domésticas, obedecendo a normas legais e critérios ambientais para o combate à poluição do solo e das camadas inferiores. Essa espécie de aterro utiliza técnicas de engenharia e tecnologia seguras para evitar danos ao meio ambiente e à saúde pública e passa por monitoramento constante para evitar vazamentos no solo. E também, podem receber lodos provenientes da Estação de Tratamento de Água, pelo fato de ser classificado como resíduo sólido não inerte e não perigoso, de Classe II A, podendo o mesmo ser disposto em aterros sanitários particulares ou municipais.

O constante monitoramento do aterro sanitário ocorre com o objetivo de evitar a contaminação do solo, dos lençóis freáticos, das águas superficiais e da atmosfera, além de controlar a proliferação de vetores, de doenças e o risco de desabamentos. A aludida NBR 8.419/1992 da ABNT define que o aterro sanitário deve ser instalado a pelo menos 200 (duzentos) metros de cursos-d'água, respeitar a distância de 1,5 metro entre a superfície de destinação e a camada de lençol freático e estar em área livre de inundações.

6.2 - ESPÉCIES E CLASSIFICAÇÃO DOS ATERROS SANITÁRIOS

No que refere às espécies de aterros sanitários, na obra de Albuquerque (2011, p. 319), tem-se os aterros comuns, ou lixões, e os aterros controlados. Aterros comuns, ou lixões são aqueles cujos resíduos sólidos são dispostos de forma inadequada, ou seja, são jogados sobre o solo, não tendo nenhum tipo de tratamento. Estes correspondem os mais prejudiciais ao meio

ambiente e ao homem por não haver tratamento prévio dos resíduos. Já os aterros controlados, a disposição dos resíduos sólidos é feita da mesma maneira que nos aterros comuns, ou lixões, mas os resíduos são cobertos com material inerte ou terra, não existindo, contudo, nenhum critério de engenharia ou controle ambiental. Quanto aos aterros sanitários, as vantagens são grandes, pois oferecem todas as condições para que haja uma disposição adequada dos resíduos em conformidade com as normas de engenharia e controle ambiental, em que apresenta uma grande capacidade de absorção diária dos resíduos gerados, oferece todas as condições para que ocorra a decomposição biológica da matéria orgânica contida no lixo domiciliar, ou doméstico, fornece tratamento ao chorume gerado pela decomposição da matéria orgânica e as precipitações pluviométricas.

Os aterros sanitários podem, ainda, ser classificados quanto ao tipo de técnica de operação, como: aterros de superfície e aterros de depressões. Nos aterros de superfície, os resíduos sólidos são dispostos em uma área plana, sendo que são dispostos em trincheiras ou rampas. Já nos aterros de depressões, os resíduos são dispostos aproveitando as irregularidades geológicas da região, tais como depressões, lagoas, mangues ou pedreiras extintas.

Quanto à metodologia dos aterros sanitários, esta segue a seguinte ordem: levantamento de dados, escolha do terreno, levantamento topográfico e levantamento geotécnico. No levantamento de dados são verificados os índices pluviométricos da região, que resíduos serão depositados, densidade dos resíduos, peso específico dos resíduos, entre outros. A escolha do terreno será feita levando em consideração facilidade de acesso e os recursos hídricos que deverão ser preservados, a recuperação da área escolhida, entre outros. O levantamento topográfico é de suma importância, pois é calculada a capacidade da área escolhida, ou seja, o valor dos resíduos gerados diariamente e a capacidade volumétrica da área, sabendo-se, então, qual será o tempo de vida útil do aterro. Finalmente, o levantamento geotécnico é a fase que avalia os seguintes aspectos: constituição do solo, permeabilidade, capacidade de carga, nível do lençol freático, jazidas de material para cobertura e densidade do solo.

CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento das atividades industriais, agregado ao aumento populacional e consumo da sociedade, tem gerado, como consequência, uma maior produção de resíduos. A

disposição final inadequada desses resíduos, os possíveis tratamentos desses compostos e os graves problemas ambientais são os fatores abordados no presente trabalho.

Dessa forma, são citadas as formas de tratamento desses resíduos baseado na avaliação das alternativas para diminuir o descarte inadequado desses materiais. Na busca por essas alternativas, foi possível observar que as reutilizações dos resíduos por meio da reciclagem, juntamente com a coleta seletiva, são práticas comuns que apresentam grandes vantagens como a redução de recursos naturais utilizados nos processos de fabricação, agregando valor econômico a vários produtos.

O melhor caminho para a construção de uma cultura de aceitação e aplicação da reciclagem, tendo o objetivo preservar o meio ambiente e manter o planeta um lugar agradável em diversos aspectos, seria unir os esforços da população, empresas e governo.

Em relação ao tratamento de resíduos orgânicos através da compostagem, sendo uma alternativa viável, barata e menos impactante possível, juntamente com as diversas vantagens apresentadas de cada sistema. Em geral, o método de compostagem transforma matéria orgânica instável em compostos estáveis, livres de organismos patogênicos e que podem ser utilizados como insumos agrícolas. A partir da análise de área e capital de investimento disponível é possível determinar qual sistema de compostagem deve ser utilizado.

Sabe-se que o solo é um dos componentes naturais mais afetados com o descarte inadequado de lixos e substâncias tóxicas. A contaminação do solo contribuiu para o incentivo de pesquisas relacionadas com o processo de remediação, que se refere na redução dos teores de contaminantes a níveis seguros e compatíveis com a proteção à saúde humana, seja impossibilitando ou dificultando a dispersão de substâncias nocivas ao meio ambiente.

As técnicas de remediação *in situ*, por apresentarem baixos custos e não provocarem contaminações secundárias, são preferencialmente utilizadas em todo o mundo, mas seja qual for a tecnologia de remediação escolhida para a descontaminação de uma determinada área, esta deve ser aplicada conforme as características de cada sítio contaminado, além de atender as legislações ambientais vigentes, sendo compatível ao risco que a contaminação apresenta.

Por fim, quando os resíduos não podem ser tratados ou reciclados a melhor forma de descarte são os aterros sanitários, com um projeto adequado visando menores impactos ao ambiente. Dessa forma, destaca-se a importância desses locais serem devidamente controlados e obedecerem sua capacidade de suporte de lixo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. B. Torres de. *Resíduos sólidos*. Leme: Independente, 2011.

ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R. L. & MAHLER, C. F., 2007, *Fitorremediação, o uso de plantas na melhoria ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos. 176pp.

ANDREOLI, Cleverson Vitório. 2001. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: ABES.

ABNT NBR 1004. Resíduos Sólidos – Classificação. 2004. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ATERRO SANITÁRIO. Disponível em: < <http://www.ambientegaia.com.br/aterrosanitario.php> > Acesso em: 4 nov. 2017.

BERTÉ, Rodrigo; MAZZAROTTO, Ângelo A. V. S. *Gestão Ambiental no mercado empresarial*. Curitiba: InterSaberes, 2013, 200p.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade. 1996. *Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Domésticos*. Apostila. Porto Alegre: UFRGS.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade; POVINELLI, Jurandir. 1999. *Conceitos básicos de resíduos sólidos*. São Carlos, São Paulo: EESC – USP.

BRAGA, B. *Introdução à Engenharia Ambiental*. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRAGA, Maria C. B.; DIAS, Natália C.. *Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos*, v.1, Curitiba, 2008, 40f.

BRASIL, Anna M.; SANTOS, Fátima. *Equilíbrio ambiental e resíduos na sociedade moderna*. São Paulo: Faarte Editora Ambiental, 2004, 223p.

CARVALHO, Ana C.. *Revista Pensar Gestão e Administração*, Minas Gerais,, v.3, n.2, jan.2015.

CENTRO MINEIRO DE REFERÊNCIA EM RESÍDUOS (CMRR). *Curso de gestão e negócios de resíduos*. Belo Horizonte: W3 Propaganda, 2008.

ESALPL. *MANUAL DE COMPOSTAGEM*. 2005. Disponível em:<<http://www.ci.esalpl.pt/mbrito/compostagem/Manual Compostagem.htm>>. Acesso em: 04 dez. 2017.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira. 1999. *Manual Prático para Compostagem de Biossólidos*. Rio de Janeiro: ABES.

FIGUERÊDO, D. V. Manual para Gestão de Resíduos Perigosos de Instituições de Ensino e Pesquisa, 2006. Belo Horizonte: Conselho Regional de Química de Minas Gerais.

FIORILLO, Celso Antonio Pacheco. *Curso de Direito Ambiental brasileiro*. São Paulo: Saraiva, 2011.

FORLIN, Flávio J.; FARIA, José A. F.. Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.12, n.1, p.1-10, abr. 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v12n1/9876>> Acesso em: 4 nov. 2017.

GRIPPI, Sidney. Lixo, reciclagem e sua história. Rio de Janeiro: Interciência, 2001, 166p.

KIEHL, Edmar José. 1985. Fertilizantes Orgânicos. Piracicaba: Editora Ceres.

KIEHL, Edmar José. 1998. Manual de Compostagem. Piracicaba: Editora Ceres.

LEITE, Paulo R. Canais de Distribuição Reversos– 2a Parte. *Revista Tecnológica*, Ano IV No 29, 1998.

LIMA, L.M.Q. Biorremediação de Lixões– Biotecnologia Aplicada ao Meio Ambiente. 278 pg. SINDBIO. 2002.

MELLO, L A. O. Sistemas de Gestão Ambiental. Centro Universitário Plínio Leite, 2009. Pág. 6.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Versão Preliminar para Consulta Pública. Brasília, Setembro de 2011

MODESTO FILHO, P.. 1999. Reciclagem da matéria orgânica através da vermocompostagem. In: TEIXEIRA, B. A. N.; TEIXEIRA, E. N.; BIDONE, F. R.; GOMES, L. P.; ZANIN, M.; SAT, M.; MODESTO, P. F.; ZEILHOFER, P.; SCHALCH, V. Metodologias e técnicas de minimização, reciclagem e reutilização de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, RJ: ABES. 65 p.

MORENO, Paulo S. R.. A aceitação pelo consumidor por um produto de papel reciclado. 2007. 90f. Dissertação de Mestrado - Centro Universitário de Araraquara, Araraquara.NETO, João T. P. Manual de Compostagem: Processo de baixo custo. Viçosa: Editora UFV, 2007.

NOBRE, M. M.; NOBRE, R. C. M.; PEREIRA & GALVÃO, A. S. S., 2004. “A permeable Reactive Barrier to Control Mercury Contamination in Groundwater”. IN: *Fourth International Conference on Remediation of Chlorinated and Recalcitrant*

OFICINA DE COMPOSTAGEM. Disponível em: <<http://www.agronovas.com.br/oficina-de-compostagem/>> Acesso em: 4 nov. 2017.

PEREIRA NETO, João Tinoco; CUNHA, W. G. 1995. Influência da inoculação de composto orgânico maturado, no período de compostagem de resíduos orgânicos. In: XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Salvador.

PR (Presidência da República). Casa Civil. Lei nº12.305, de 2 de Agosto de 2010. Disponível em < <http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em 25 nov. 2017.

RUSSO, M A. T. Tratamento de Resíduos Sólidos, 2003. Universidade de Coimbra. Departamento de Engenharia Civi. Coimbra, Portugal.

SCHIANETZ, B. Passivos ambientais: levantamento histórico: avaliação da periculosidade: ações de recuperação. Curitiba, Editora Santa Mônica, 1999. 205p.

SHARMA, V. K.; CANDITELLI, M.; FORTUNA, F.; CORNACCHIA. 1997. Processing of Urban and Agro-Industrial Residues by aerobic composting: Review. In: Energy Conversion and Management, Inglaterra, v. 38, n. 5, p. 453-478.

SPINACÉ, Márcia A. S.; DE PAOLI, Marco A.. A tecnologia da reciclagem de polímeros. Química Nova, v.28, n.1, p.65-72, jan. 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v28n1/23041>> Acesso em: 27 nov. 2017.

SHAUB, S. M.; LEONARD, J. J. 1996. Composting: An alternative waste management option for food processing industries. Trends in Food Science & Technology August, v.7, p.263 – 267.

TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS EM YPRES NA BÉLGICA – Sistema integrado de Biodigestor e Usina de compostagem. Disponível em: < <http://www.portalresiduossolidos.com/tratamento-de-residuos-solidos-organicos-em-ypres-na-belgica-sistema-integrado-de-biodigestor-e-usina-de-compostagem/>> Acesso em: 4 nov. 2017.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. 1994. Composting of Yard Trimmings and Municipal Solid Waste, EPA/530/R91 – 003, 151 p.