

PAULO SERGIO BATISTA

**GERAÇÃO BIOGÁS E FERTILIZANTE ORGÂNICO
ATRAVÉS USINA DE COMPOSTAGEM PEQUENO PORTE**

**Monografia ou (Trabalho de Conclusão) apresentado
ao Departamento DEG da Universidade Federal de
Lavras como parte das exigências do curso de Pós-
Graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de
Energia, para a obtenção do título de especialista
Geração Biogás e Fertilizante Orgânico através Usina
de Compostagem Pequeno Porte**

**Orientador
Prof.Vítor Hugo Teixeira**

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2007**

PAULO SERGIO BATISTA

**GERAÇÃO BIOGÁS E FERTILIZANTE ORGÂNICO
ATRAVÉS USINA DE COMPOSTAGEM PEQUENO PORTE**

**Monografia ou (Trabalho de Conclusão) apresentado
ao Departamento DEG da Universidade Federal de
Lavras como parte das exigências do curso de Pós-
Graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de
Energia, para a obtenção do título de especialista
Geração Biogás e Fertilizante Orgânico através Usina
de Compostagem Pequeno Porte**

APROVADA em de de 2007

Prof.

Prof.

**Prof.Vitor Hugo Teixeira
UFLA
(Orientador)**

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL**

Aos meus pais,
Tabajara e Nivalda,
pelo incentivo e dedicação
a mim proporcionado

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS E FLUXOGRAMAS.....	3
LISTA DE FIGURAS.....	4
RESUMO.....	5
1- INTRODUÇÃO.....	6
1.1 - Introdução.....	6
2 – REVISÃO DE LITERATURA.....	8
2.1– BIOGÁS.....	8
2.1.1 – A História do Biogás.....	8
2.1.2 – Definição de Biogás.....	9
2.1.3 - Como se Forma.....	9
2.1.4 – Propriedades do Biogás.....	12
2.1.5 – Escolha de um sistema de digestão.....	13
2.1.5.1 – Sistema Digestão Contínuo.....	14
2.1.5.2 - Sistema Digestão Contínuo.....	14
2.1.6 – Exemplos Biodigestores no Brasil.....	15
2.1.7 – Sistema captação do biogás bruto.....	19
2.1.8 – Processamento do biogás.....	20
2.2 – COMPOSTAGEM.....	22
2.2.1 - Definição de Compostagem.....	22
2.2.2 - Formas de Compostagem.....	23
2.2.3 - Metodologia da Compostagem.....	24
2.2.4 - Classificação da Compostagem.....	25
2.2.5 - Fatores que Influenciam a Compostagem.....	27
2.2.5.1 - Microrganismos.....	27
2.2.5.2 - Umidade.....	32
2.2.5.3 - Temperatura.....	36
2.2.5.4 - Relação carbono/nitrogênio.....	39
2.2.5.5 - Granulometria.....	47
2.2.5.6 - Índice de pH na Unidade de Compostagem.....	48
2.2.6 - Fatores que Conduzem a Condições Anaeróbias na Compostagem.....	50
2.2.6.1 - Umidade.....	50
2.2.6.2 - Porosidade Inadequada.....	51
2.2.6.3 - Substratos Rapidamente Degradáveis.....	51
2.2.6.4 - Pilha Demasiadamente Grande.....	52
2.2.7 – Tempo de Compostagem.....	52

3 – MATERIAL E MÉTODOS.....	58
3.1 Sistema Integrado de Geração Biogás e Fertilizante Orgânico.....	58
3.2 –Descrição do Processo Integrado de Produção de Biogás e Compostagem	58
4- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
5- CONCLUSÃO.....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

SUMÁRIO TABELA E FLUXOGRAMA

2 – REVISÃO DE LITERATURA	8
Fluxograma 1.1 – Degradação Bioquímica Anaeróbica.....	10
Tabela 1.1 – Mostra a composição média da mistura gasosa.....	12
Tabela 1.2 – Mostra os P.C.I de diferentes gases.....	12
Tabela 2.1 - Relação de Bactérias aceleradoras do processo de compostagem.....	28
Tabela 2.2 - Relação de Fungos e Actinomicetes aceleradoras do processo de compostagem.....	29
Tabela 2.3 – Quantidades de fertilizantes a serem compostados para se obter uma tonelada do mesmo, com menos umidade.....	35
Tabela 2.4 – Temperaturas para bactérias.....	37
Tabela 2.5 – Materiais ricos em carbono.....	40
Tabela 2.6 – Materiais ricos em nitrogênio.....	41
Tabela 2.7 –Nitrogênio retido no composto, conforme a relação C/N inicial da matéria-prima empregada.....	44
Tabela 2.8 –Teores de matéria orgânica segundo a relação carbono/nitrogênio %.....	46
Tabela 2.9 - Tempos de Compostagem para "Estabilização" de Materiais com Diferentes Relações C/N	53
Tabela 2.10 - Mostra que a Bioestabilização se Completa quando a Relação C/N alcança o valor 17/1 e a humificação o valor de 10/1.....	54

SUMÁRIO DAS FIGURAS

2 – REVISÃO DE LITERATURA.....	8
Figura 2.1 - Classificação da compostagem.....	25
Figura 2.2 - Efeito da umidade no consumo de oxigênio na compostagem do resíduo sólido domiciliar.....	33
Figura 2.3 - Curva padrão de temperatura durante o processo de compostagem.....	38
Figura 2.4 - Fases da decomposição da matéria orgânica conforme a relação C/N e os dias necessários para a bioestabilização e humidificação da matéria orgânica.....	42
Figura 2.5- Variação do índice de pH do composto com o tempo de compostagem.....	50
Figura 2.6 - Relações entre o tempo de compostagem e temperatura.....	55
Figura 3.2 - Relações entre o tempo de compostagem e índice de pH.....	55
3 – MATERIAL E MÉTODOS	
Figura 3.1 - Sistema Integrado de Produção de Biogás e Compostagem.....	61
Figura 3.1 - Sistema Produção de Biogás.....	62

RESUMO

Neste trabalho busca-se uma técnica ideal de produzir um sistema integrado de biogás e compostagem em uma usina de compostagem de pequeno porte situada na zona rural de qualquer município do Brasil, para o desenvolvimento sustentável da propriedade agrícola, através do aproveitamento do biogás gerado, e também da biomassa residual podendo-se obter como subproduto o fertilizante biológico a ser utilizado no sistema de compostagem.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

O suprimento de energia tem sido um dos grandes problemas enfrentados pelas populações rurais, em especial de baixa renda. Cada vez mais as fontes alternativas de energia estão se destacando em substituição às energias derivadas do petróleo.

Atualmente, cerca de 5% de toda a energia produzida no planeta é de fonte renovável e estima-se que em 2060, quando a população do planeta deverá ser de 12 bilhões de pessoas, 70% de toda a energia produzida será renovável. Em geral, salvo algumas exceções, elas são energias “limpas”, isto é, que não produzem poluição e nem se esgotam e, pelo contrário, reciclam resíduos de alto poder energético.

Uma das maiores dificuldades na implantação do processo de bioconversão reside no alto custo dos biodigestores necessários, devido ao tempo prolongado durante a bioconversão. Mediante isto, estudos preliminares têm sido realizados em diversos laboratórios sobre a digestão anaeróbia, mostrando que bioreatores de multi-estágios e pré-tratamento dos resíduos sólidos e sua recuperação na forma de biomassa bacteriana como aditivo de alto valor para ração animal podem atenuar este problema (Felizard, 1988 e Scoth, 1989).

Outros problemas estão relacionados com a separação do CO₂ do biogás. A modelagem e simulação dos processos poderão facilitar o desenvolvimento, a otimização e a viabilidade econômica de projetos para a realidade do mercado regional (Pannir Selvam, 1980 e 1996).

A abundância das fontes de biomassa disponíveis no Brasil, a vasta gama de processos de transformação utilizados para sua valorização e a diversidade de energéticos obtidos para uso pelo consumidor final levaram o país a desenvolver um amplo espectro de atividades no campo da biomassa. O Brasil dispõe de condições climáticas favoráveis para explorar a imensa energia derivada dos resíduos orgânicos e liberar o biogás e fertilizantes.

Inúmeras vantagens podem ser descritas para a implantação de unidade para a produção de Biogás, porém um dos aspectos mais convenientes é com relação ao meio ambiente, pois nenhum prejuízo, em termos de impacto ambiental, terá o meio ambiente quando implantado um biodigestor, além do mais com o aproveitamento de efluentes orgânicos sólidos provenientes dos resíduos domiciliares ou industriais para geração de biogás e produção fertilizante orgânico em sistema de compostagem, também pode permitir às indústrias economizar outros combustíveis e simultaneamente, contribuir para o controle da poluição ambiental.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Biogás

2.1.1 História do biogás

Tudo nos leva a crer que o gás dos pântanos foi descoberto por Shirley em 1667. No entanto, foi só um século mais tarde que Volta reconheceu a presença de metano no gás dos pântanos. Já no século XIX, Ulysses Gayon, aluno de Louis Pasteur, realizou a fermentação anaeróbia de uma mistura de estrume e água, a 35 °C, conseguindo obter 100 litros de gás por m³ de matéria. Em 1884, Louis Pasteur, ao apresentar à Academia das Ciências os trabalhos do seu aluno, considerou que esta fermentação podia constituir uma fonte de aquecimento e iluminação.

Entretanto, na Índia, a idéia de aproveitar o gás metano produzido por digestão anaeróbia, já não era estranha. Remonta ao século passado, mais propriamente ao ano de 1859, quando numa colônia de leproso, em Bombaim, se realizou a primeira experiência de utilização direta de biogás. Cerca de 30 anos depois, em 1895, teve lugar a primeira experiência europeia, com a utilização do biogás para iluminação de algumas ruas da cidade de Exter, em Inglaterra, a que se seguiram outras experiências, motivadas principalmente pelo entusiasmo inicial que este processo atingiu. Apesar disso, este combustível não conseguiu substituir os tradicionais. Como tal, a exploração do biogás tem sido bastante reduzida, limitando-se a ser utilizado em alguns casos esporádicos. Foi apenas nos anos 40, devido a carências energéticas significativas, provocadas pela II Guerra Mundial, que o biogás voltou a ser utilizado, quer na cozinha e no aquecimento das casas, quer para alimentação de motores de combustão interna.

Nas décadas de 50 e 60, a relativa abundância das fontes de energia tradicionais, desencorajou a recuperação do biogás na maioria dos países desenvolvidos, e apenas em países com poucos recursos de capital e energia, como a Índia e a China, o biogás desempenhou um papel de certa importância, sobretudo em pequenos aglomerados rurais.

A partir da crise energética dos anos 70, o gás metano dos digestores anaeróbios voltou a despertar o interesse geral conduzindo a um aumento da sua produção nos países europeus.

Até há pouco tempo, o Biogás era simplesmente encarado como um subproduto, obtido a partir da decomposição anaeróbica (sem presença de oxigênio) de lixo urbano, resíduos animais e de lamas provenientes de estações de tratamento de efluentes domésticos. No entanto, o acelerado

desenvolvimento econômico dos últimos anos e a subida acentuada do preço dos combustíveis convencionais tem encorajado as investigações na produção de energia a partir de novas fontes alternativas e economicamente atrativas, tentando sempre que possível, criar novas formas de produção energética que possibilitem a poupança dos recursos naturais esgotáveis.

Relativamente ao grande volume de resíduos provenientes das explorações agrícolas e pecuárias, assim como aqueles produzidos por matadouros, destilarias, fábricas de laticínios, esgotos domésticos e estações de tratamento de lixo urbanos (a partir dos quais é possível obter Biogás), estes apresentam uma carga poluente de tal forma elevada que impõe a criação de soluções que permitam diminuir os danos provocados por essa poluição, gastando o mínimo de energia possível em todo o processo.

Assim, o tratamento desses efluentes pode processar-se por intermédio da fermentação anaeróbia (metânica) que, além da capacidade de despoluir, permite valorizar um produto energético (Biogás) e ainda obter um fertilizante, cuja disponibilidade contribui para uma rápida amortização dos custos da tecnologia instalada.

2.1.2 Definição de Biogás

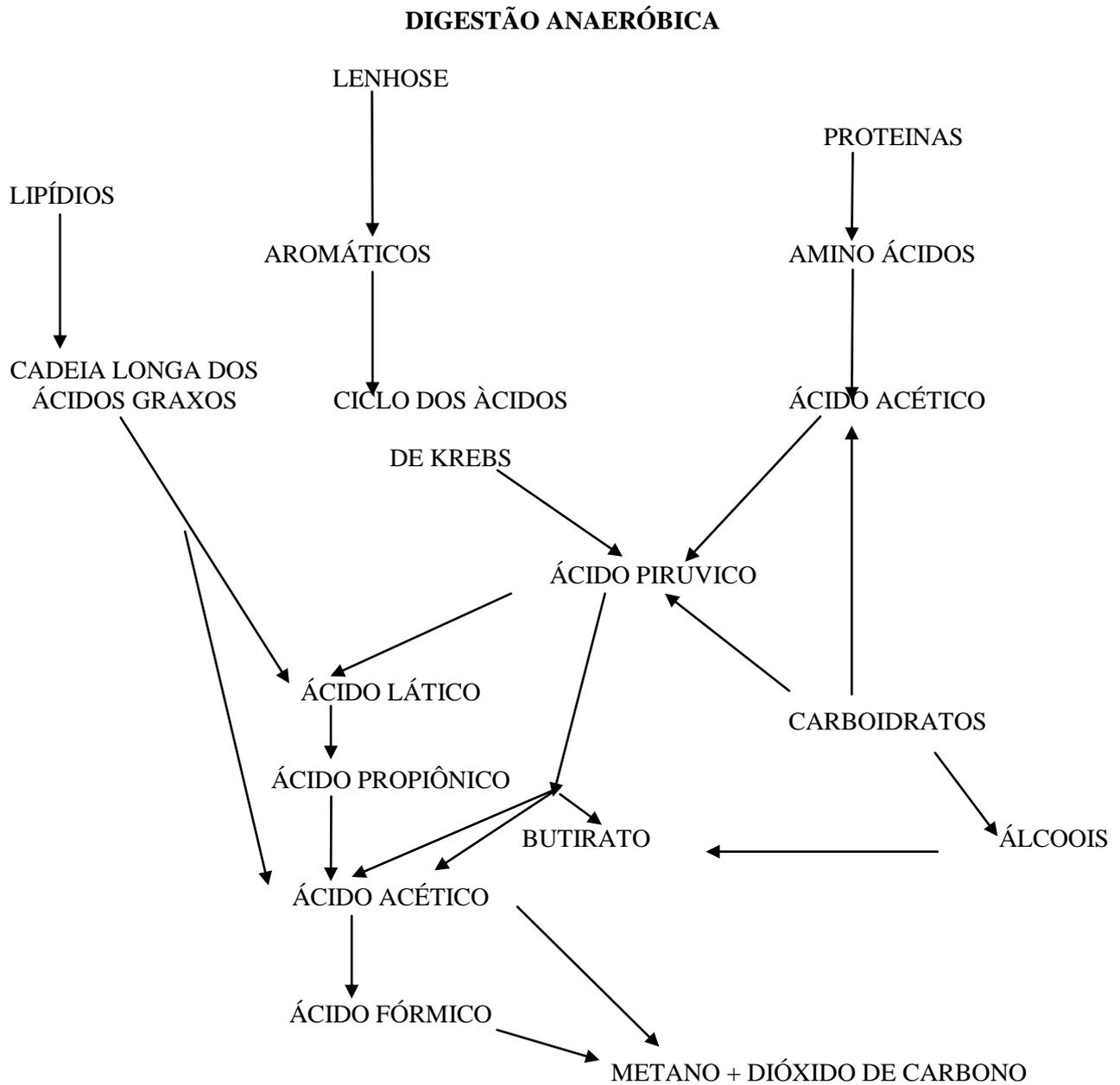
Atribui-se o nome de Biogás à mistura gasosa, combustível, resultante da fermentação anaeróbica da matéria orgânica. A proporção de cada gás na mistura depende de vários parâmetros, como o tipo de digestor e o substrato a digerir. De qualquer forma, esta mistura é essencialmente constituída por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), estando o seu poder calorífico diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura gasosa. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo, 1992.

2.1.3 Como se Forma

A digestão anaeróbia é um processo segundo o qual, algumas espécies de bactérias, que atuam na ausência de oxigênio, atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos, para produzir compostos simples: metano, dióxido de carbono, água, etc., extraindo em simultâneo, a energia e os

compostos necessários para o seu próprio crescimento. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo, 1992.

Esquema do fluxograma abaixo 1.1 explica a degradação bioquímica na digestão anaeróbica



Fluxograma 1.1 – Degradação Bioquímica Anaeróbica

Fonte: (Departamento Engenharia Mecânica –Universidade Federal Minas Gerais-2004)

A transformação da matéria orgânica em diversas substâncias químicas, no decurso da fermentação anaeróbica, processa-se através de uma cadeia de degradações sucessivas devidas a diferentes tipos de bactérias. Essencialmente distinguem-se duas fases nos processos de fermentação metanogênica. A primeira fase é uma transformação das moléculas orgânicas em ácidos gordos, sais ou gás. A segunda é a transformação destes numa mistura gasosa essencialmente constituída por metano e dióxido de carbono. Departamento Engenharia Mecânica- Universidade Federal Minas Gerais-2004.

A atividade enzimática das bactérias depende intimamente da temperatura. Ela é fraca a 10°C e nula acima dos 65°C. A faixa dos 20°C a 45°C, corresponde à fase mesófila, enquanto que entre os 50°C e os 65°C, temos a fase termófila. A opção por uma temperatura de trabalho terá de resultar do compromisso entre o volume de gás a produzir, o grau de fermentação e o tempo de retenção. Na fase mesófila, as variações de temperatura são aceitáveis desde que não sejam bruscas. O mesmo não acontece com a fase termófila, onde as variações não são aconselháveis. Todavia, ela permite cargas mais elevadas e um tempo de retenção menor, com maiores taxas de produção de gás. Departamento Engenharia Mecânica -Universidade Federal Minas Gerais-2004.

Outro parâmetro que influencia a digestão anaeróbica é o pH do meio. Em meio ácido, a atividade enzimática das bactérias é anulada. Num meio alcalino, a fermentação produz anidrido sulfuroso e hidrogênio. A digestão pode efetuar-se entre os pH de 6,6 e 7,6, encontrando-se o ótimo a pH=7. Para valores abaixo de 6,5, a acidez aumenta rapidamente e a fermentação para ocorrer.

Em relação à matéria a fermentar, há que levar em consideração a relação carbono/nitrogênio (C/N), que deve ter um valor compreendido entre 30 e 35. Acima deste valor, o processo é pouco eficaz, já que as bactérias não têm possibilidade de utilizar todo o carbono disponível. Para um valor baixo corre-se o perigo de aumentar a quantidade de amoníaco, que pode atingir os limites da toxicidade. É de considerar também a presença de fósforo, já que a sua ausência, conduz à interrupção da fermentação. Departamento Engenharia Mecânica –Universidade Federal Minas Gerais-2004

A presença de matérias tóxicas, detergentes e outros produtos químicos, devem ser evitadas ao máximo, pois basta uma concentração muito baixa destes produtos, para provocar a intoxicação e morte das bactérias. Departamento Engenharia Mecânica –Universidade Federal Minas Gerais-2004

2.1.4 Propriedades do Biogás

Numa análise global, o biogás é um gás incolor, geralmente inodoro (se não contiver demasiadas impurezas) e insolúvel em água. A tabela 1.1 e 1.2 mostram as propriedades da mistura gasosa e poder calorífico de diferentes gases.

Tabela 1.1- Mostra a composição média da mistura gasosa

COMPOSIÇÃO MÉDIA DA MISTURA GASOSA	
Metano	50 a 75 %
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 a 40 %
Hidrogênio (H ₂)	1 a 3 %
Nitrogênio (N ₂)	0,5 a 2,5 %
Oxigênio (O ₂)	0,1 a 0,5 %
Amônia (NH ₃)	0,1 a 0,5 %
Monóxido de Carbono (CO)	0 a 0,1 %
Água (H ₂ O)	variável

Fonte: (CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo, 1992).

O Biogás é, devido à presença do metano, um gás combustível, sendo o seu poder calorífico inferior (P.C.I.) cerca de 5500 kcal/m³, quando a proporção em metano é aproximadamente de 60 % . A título de comparação, a tabela 2.2 que abaixo mostra-se os PCI's para os outros gases correntes

Tabela 1.2- Mostra os P.C.I de diferentes gases

Gás	PCI em Kcal/m³
Metano	8500
Propano	22000
Butano	28000
Gás de Cidade	4000
Gás Natural	7600
Biometano	5500

Fonte: (CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo, 1992).

O biogás é um gás leve e de fraca densidade. Mais leve do que o ar, contrariamente ao butano e ao propano, ele suscita menores riscos de explosão na medida em que a sua acumulação se torna mais difícil. A sua fraca densidade implica, em contrapartida, que ele ocupe um volume significativo e que a sua liquefação seja mais difícil, o que lhe confere algumas desvantagens em termos de transporte e utilização.

O biogás, em condições normais de produção, devido ao seu baixo teor de monóxido de carbono (inferior a 0,1 %) não é tóxico, contrariamente, por exemplo, ao gás de cidade, cujo teor neste gás, próximo dos 20 %, é mortal. Por outro lado, devido às impurezas que contém, o biometano é muito corrosivo. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo, (1992).

O gás mais corrosivo desta mistura é o sulfureto de hidrogênio que ataca, além de outros materiais, o cobre, o latão, e o aço, desde que a sua concentração seja considerável. Quando o teor deste gás é fraco, é, sobretudo o cobre que se torna mais sensível. Para teores elevados, da ordem de 1 % (excepcionais nas condições normais de produção do biogás) torna-se tóxico e mortal. A presença do sulfureto de hidrogênio pode constituir um problema a partir do momento em que haja uma combustão do gás e que sejam inalados os produtos desta combustão, dado que a formação do dióxido de enxofre (SO₂) é extremamente nocivo, causando, nomeadamente, perturbações a nível pulmonar. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo, (1992).

O amoníaco, sempre em concentrações muito fracas, pode ser corrosivo para o cobre, sendo os óxidos de azoto libertados durante a sua combustão, igualmente tóxicos.

Os outros gases contidos no biogás, não suscitam problemas em termos de toxicidade ou nocividade. O gás carbônico, em proporção significativa (35 %), ocupa um volume perfeitamente dispensável e obriga, quando não suprimido, a um aumento das capacidades de armazenamento. O vapor de água pode ser corrosivo para as canalizações, depois de condensado. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo, (1992).

2.1.5 Escolha de um sistema de digestão

Vários foram os sistemas de digestão concebidos, sendo impressionante o número de digestores diferentes que existem. No entanto, distinguem-se dois grandes tipos de digestores: **os contínuos e os descontínuos.**

A escolha de um sistema depende essencialmente das características do substrato, das necessidades de depuração, da disponibilidade de mão-de-obra e de condições de ordem econômica.

2.1.5.1 Sistema de Digestão Contínuo

Num sistema contínuo, a matéria orgânica é introduzida na cuba de fermentação, com uma determinada taxa de diluição (a qual depende do tipo de matéria orgânica a fermentar), onde fica retida durante vários dias. O tempo de retenção resulta de um certo compromisso entre o volume de gás a produzir, o grau de digestão que se pretende e a temperatura de funcionamento. Depois de carregada a cuba e iniciada a fermentação, impõe-se a estabilização do sistema. É imperativa a verificação de todos os parâmetros como o pH, temperatura, qualidade do efluente, produção e qualidade do gás. É de notar que a estabilização poderá ser demorada e exigir correções. Neste tipo de fermentação, é absolutamente necessária a agitação da matéria orgânica incubada, a fim de evitar a formação de crostas na superfície, a deposição de matéria no fundo, permitir uma homogeneização na concentração das bactérias e manter uma temperatura uniforme no interior da cuba. A produção de biogás é uniforme no tempo e a quantidade produzida é função do tipo de matéria orgânica utilizada.

2.1.5.2 Sistema de Digestão Descontínuo

Ao contrário do sistema contínuo, o funcionamento deste sistema não é regular. Assim, a cuba de fermentação é totalmente carregada periodicamente. Neste processo, o fator diluição não é considerado um problema, já que a matéria orgânica é fermentada praticamente sem adição de água. O processo inicia-se com uma fase de fermentação aeróbia, fortemente exotérmica, que permite a degradação das moléculas pouco polimerizadas e que podem ser um fator de acidificação do meio. A duração desta fermentação é de 2 a 8 dias, seguindo-se a fermentação anaeróbia durante

um período de 30 a 40 dias. Neste tipo de fermentação a temperatura é um fator menos crítico. Em relação aos outros fatores, pouco se poderá fazer durante a fermentação. Se houver problemas durante o processo, a melhor opção é começar novamente. No entanto a experiência diz que se trata de um processo simples que normalmente funciona bem. A produção de gás é irregular e o volume produzido é da ordem dos 60 m³ por tonelada de matéria bruta.

2.1.6 Exemplos Biodigestores no Brasil

No Brasil, os modelos de biodigestores de sistema contínuo mais divulgados são: o indiano, o chinês e o da marinha.

Os três tipos têm ligados ao corpo do biodigestor (digestor e gasômetro) uma caixa de carga, onde é colocada a quantidade diária de matéria-prima que entrará no aparelho e uma outra de descarga, por onde ela sai transformada em biofertilizante. Além dessas duas caixas, pode ser construído também um primeiro tanque, que é o de pré - fermentação, onde é preparada a matéria-prima. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo, (1992).

Essa preparação consiste em se fazer uma mistura homogênea de 50 % de esterco com 50 % de água. Ela deve ser feita no final da tarde e descansar aí durante 24 horas, para que haja uma precipitação do material sólido no fundo do tanque e um pré - aquecimento da matéria orgânica, que entrará no biodigestor numa temperatura próxima a de seu interior, facilitando a ação das bactérias.

A caixa de carga é construída do tamanho exato da quantidade diária de biomassa, necessária para alimentar o biodigestor. O material previamente misturado e aquecido da caixa de pré-fermentação passa pela caixa de carga e vai para o interior do digestor. A partir do momento que chega no digestor, inicia-se o processo de fermentação anaeróbica. O biogás produzido fica armazenado na campânula e o biofertilizante (matéria orgânica processada) sai pela caixa descarga.

A diferença dos três modelos, indiano, chinês e o da marinha, está praticamente na maneira como cada um foi construído e no tipo de cúpula. A cúpula do indiano, feita geralmente de ferro ou de fibra, é móvel, se movimentando para cima e para baixo de acordo com a maior ou menor produção de biogás. Sobre essa cúpula são amarradas seis pedras, cada uma de 100 kg, para

que o gás saia do biodigestor com pressão suficiente para alimentar os equipamentos da propriedade.

O da marinha é um modelo de tipo horizontal, ou seja, tem largura maior e uma profundidade menor do que o indiano, por isso sua área de exposição solar é maior, o que acarreta uma maior produção de biogás. Sua cúpula é de plástico maleável, tipo PVC, que infla com a produção de gás, como um balão. Para que o gás saia do biodigestor com pressão suficiente para ser utilizado costuma-se colocar sacos de areia ou pneus velhos sobre a campânula.

O chinês é um modelo de peça única, todo construído de alvenaria. Desenvolvido na China, que tem propriedades rurais muito pequenas, este tipo de biodigestor foi projetado de forma que economizasse todo o espaço possível. A forma encontrada foi construí-lo enterrados no solo e, desta maneira, é possível cultivar-se em sua volta. Enquanto os biodigestores indiano e o da marinha precisam de artifícios para dar pressão ao biogás, tais como uso de pedras e sacos de areia sobre a cúpula, Norton* explica que no chinês não precisa de nada disso, pois o próprio biofertilizante contido na caixa de descarga serve como peso para fazer pressão.

Um ponto importante, que não pode ser esquecido, é o selo de água. Normalmente, ele serve para impedir vazamento de biogás, mas, quando há uma superprodução de biogás e a pressão no interior do biodigestor ultrapassar a pressão de sua coluna de água, é por ali que o gás deve escapar. No modelo da marinha, ele fica localizado dentro de uma canaleta de, aproximadamente, 20 cm de profundidade, em torno do digestor. "Se a pressão do gás for superior a 20 cm de coluna de água, ele borbulhará neste selo", explica Norton. No chinês, o selo fica dentro de uma caixinha sobre o gasômetro e, no indiano, o selo é a própria biomassa, que fica entre o digestor e a cúpula.

No Brasil, os modelos de biodigestores de sistema contínuo mais divulgados são: o indiano, o chinês e o da marinha.

Os três tipos têm ligados ao corpo do biodigestor (digestor e gasômetro) uma caixa de carga, onde é colocada a quantidade diária de matéria-prima que entrará no aparelho e uma outra de descarga, por onde ela sai transformada em biofertilizante. Além dessas duas caixas, pode ser construído também um primeiro tanque, que é o de pré - fermentação, onde é preparada a matéria-prima. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo, (1992).

Essa preparação consiste em se fazer uma mistura homogênea de 50 % de esterco com 50 % de água. Ela deve ser feita no final da tarde e descansar aí durante 24 horas, para que haja uma

precipitação do material sólido no fundo do tanque e um pré - aquecimento da matéria orgânica, que entrará no biodigestor numa temperatura próxima a de seu interior, facilitando a ação das bactérias.

A caixa de carga é construída do tamanho exato da quantidade diária de biomassa, necessária para alimentar o biodigestor. O material previamente misturado e aquecido da caixa de pré-fermentação passa pela caixa de carga e vai para o interior do digestor. A partir do momento que chega no digestor, inicia-se o processo de fermentação anaeróbica. O biogás produzido fica armazenado na campânula e o biofertilizante (matéria orgânica processada) sai pela caixa descarga.

A diferença dos três modelos, indiano, chinês e o da marinha, está praticamente na maneira como cada um foi construído e no tipo de cúpula. A cúpula do indiano, feita geralmente de ferro ou de fibra, é móvel, se movimentando para cima e para baixo de acordo com a maior ou menor produção de biogás. Sobre essa cúpula são amarradas seis pedras, cada uma de 100 kg, para que o gás saia do biodigestor com pressão suficiente para alimentar os equipamentos da propriedade.

O da marinha é um modelo de tipo horizontal, ou seja, tem largura maior e uma profundidade menor do que o indiano, por isso sua área de exposição solar é maior, o que acarreta uma maior produção de biogás. Sua cúpula é de plástico maleável, tipo PVC, que infla com a produção de gás, como um balão. Para que o gás saia do biodigestor com pressão suficiente para ser utilizado costuma-se colocar sacos de areia ou pneus velhos sobre a campânula.

O chinês é um modelo de peça única, todo construído de alvenaria. Desenvolvido na China, que tem propriedades rurais muito pequenas, este tipo de biodigestor foi projetado de forma que economizasse todo o espaço possível. A forma encontrada foi construí-lo enterrados no solo e, desta maneira, é possível cultivar-se em sua volta. Enquanto os biodigestores indiano e o da marinha precisam de artifícios para dar pressão ao biogás, tais como uso de pedras e sacos de areia sobre a cúpula, Norton* explica que no chinês não precisa de nada disso, pois o próprio biofertilizante contido na caixa de descarga serve como peso para fazer pressão.

Um ponto importante, que não pode ser esquecido, é o selo de água. Normalmente, ele serve para impedir vazamento de biogás, mas, quando há uma superprodução de biogás e a pressão no interior do biodigestor ultrapassar a pressão de sua coluna de água, é por ali que o gás deve escapar. No modelo da marinha, ele fica localizado dentro de uma canaleta de, aproximadamente, 20 cm de profundidade, em torno do digestor. "Se a pressão do gás for superior a 20 cm de coluna

de água, ele borbulhará neste selo", explica Norton. No chinês, o selo fica dentro de uma caixinha sobre o gasômetro e, no indiano, o selo é a própria biomassa, que fica entre o digestor e a cúpula.

Abaixo segue as vantagens do modelo indiano:

a)Vantagens:

- O digestor do modelo indiano é construído enterrado no solo e, como a temperatura do solo é pouco variável, o processo de fermentação que ocorre em seu interior tem a vantagem de sofrer pouca variação de temperatura. A temperatura elevada favorece a ação das bactérias (responsáveis pelo processo de fermentação anaeróbica) e a sua queda provoca uma menor produção de biogás.
- Ocupa pouco espaço do terreno (em relação ao da marinha), porque sua maior extensão é vertical.
- Em termos de custos, sendo as paredes de seu digestor construídas dentro do solo, o modelo dispensa o uso de reforços, tais com cintas de concreto, o que barateia as despesas.

b)Desvantagens:

- Quando a cúpula for de metal, ela está sujeita ao problema de corrosão. Para evitá-lo, recomenda-se fazer uma boa pintura com um antioxidante, com, por exemplo, o zarcão.
- Temos aqui o custo da cúpula, que o modelo chinês não tem e o da marinha é mais baixo.
- O sistema de comunicação entre a caixa de carga e o digestor, sendo feito através de tubos, pode ocorrer entupimentos.
- Sua construção é limitada para áreas de lençol freático alto, ou seja, não é um modelo indicado para terrenos superficiais, pois nestes casos pode ocorrer infiltração.

Abaixo segue as vantagens do modelo chinês:

a)Vantagens:

- Este modelo tem um custo mais barato em relação aos outros, pois a cúpula é feita alvenaria.
- O biodigestor chinês é o que ocupa menos espaço na superfície do solo.
- Como é construído completamente enterrado no solo (tanto o digestor, como o gasômetro), sofre muito pouca variação de temperatura.

b)Desvantagens:

- O sistema de comunicação entre a caixa de carga e o digestor sendo feito através de tubos, está sujeito a entupimentos.
- Tem limitação ao tipo de solo. Sua construção em solos superficiais não é indicada.
- Não é um biodigestor próprio para acúmulo de gás, devido a sua construção de cúpula fixa (a área de reserva de gás é menor). É um modelo mais indicado na produção de biofertilizante.

Abaixo segue as vantagens do modelo marinha:

a)Vantagens:

- A sua área sujeita à exposição solar é maior, porque sua cúpula em relação aos outros modelos é maior, facilitando com isto uma maior produção de gás nos dias quentes.
- Sua construção não exige restrições a tipo de solo, pois além de não exigir solos profundos porque é um modelo de tipo horizontal (sua maior extensão é horizontal), seu digestor tanto pode ser construído enterrado, como também sobre a superfície do solo.
- A comunicação da caixa de carga para o digestor, feita de alvenaria, é mais larga, evitando com isso entupimento e facilitando a manutenção.
- A limpeza do digestor é mais fácil porque a cúpula sendo de lona de PVC é mais fácil de ser retirada.

b)Desvantagens:

- Neste modelo, como no indiano, temos o custo da cúpula

2.1.7 Sistema de captação do biogás bruto

O biogás bruto tem duas formas de ser captado: por poço vertical ou horizontal. O poço vertical é feito conforme especificado nos itens de construção dos aterros. O poço horizontal é

utilizado em aterros já formado, onde não foram tomados os cuidados preliminares da drenagem do chorume que constantemente irá entupir os poços verticais que forem instalados nestes aterros.

A implantação deste tipo de captador é assim da seguinte forma:

- Escava-se até a profundidade média de 2,50 metros, faz-se a impermeabilização do leito da cova com lona plástica para evitar a ascensão do chorume e o posterior entupimento dos captadores. Coloca-se uma camada de aproximadamente 0,50 metros de brita número 3 sobre a tubulação dos captadores, sendo estes em tubos de PVC perfurados, com 110 mm de diâmetro. Coloca-se mais uma camada de brita número 3, de 0,50 metros. Faz-se a impermeabilização superior com uma lona de plástico seguida de uma camada de 0,15 metros de argila. Coloca-se uma camada de sacaria com 0,40 metros e cobre-se o restante com argila compactada.

A composição volumétrica analisada do biogás bruto é 55% de metano (CH_4), 38% de gás carbônico (CO_2), 5% de nitrogênio (N_2), 2% de oxigênio (O_2), e 30 ppm de gás sulfídrico (H_2S).
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo, 1992.

2.1.8 Processamento do biogás

Para ser acondicionado em cilindros o biogás precisa antes ser purificado e comprimido, passando pelos seguintes equipamentos:

- a. Sopradores: o biogás bruto por ter uma pressão muito baixa é succionado passando pelo separador primário onde é feita a separação preliminar do vapor de água;
- b. Combustor: queima o gás captado quando o sistema está parado para manutenção, para evitar a migração do biogás para terrenos vizinhos ao aterro;
- c. Filtros dessulfurizadores: contendo limalha de aço, os filtros fazem a retenção do H_2S , que reage quimicamente com o óxido de ferro (Fe_2O_3). Enquanto um dos filtros está filtrando o gás o outro está se regenerando, pois são dois filtros em paralelo, e esta regeneração é feita introduzindo-se água e ar no filtro. O biogás sai desses filtros com menos de 15 ppm de H_2S ;
- d. Reservatório pulmão de baixa pressão: armazena gás para os compressores de média

pressão que podem funcionar em paralelo ou separadamente caso a demanda do resto do sistema aceite vazões menores;

- e. Filtros de sucção: fazem a retenção das partículas sólidas;
- f. Compressores de média pressão: elevam a pressão do biogás até 16 MPa;
- g. Pós-resfriador: ate o momento o gás esta a uma temperatura de 80° C, nesta etapa ele troca calor com a água ate que sua temperatura se abaixe a 35° C,
- h. Filtro desoleador: este filtro contém carvão ativado, que age para a eliminação da maior parte do óleo lubrificante absorvido nos compressores;
- i. Torre de lavagem: depura o biogás em contra-corrente com a água na situação de pressurização efetiva na faixa de 16 kgf/cm². O dióxido de carbono integrante do biogás bruto devido a sua afinidade por absorção em água, é absorvido pela água. Para evitar perda de grande quantidade de água no processo, encaminhamos esta água saturada de CO₂ à terra de desorção onde é feita a remoção deste CO₂. Para tanto, fazemos o líquido descer em cascata pelo interior da torre por onde circula forte corrente ascendente de ar atmosférico, proveniente da utilização de um poderoso exaustor no topo da torre. Desta forma, operamos em circuito fechado o conjunto de lavagem do biogás, visto que a água após passar pela torre de desorção é novamente encaminhada ao sistema. Devemos completar normalmente apenas a quantidade de água evaporada nesta operação e periodicamente a substituição total da água da caixa quando se atingir a saturação. Esta evaporação provoca um abaixamento da temperatura da água devido ao calor latente de troca de estado da água evaporada. Completa o conjunto de lavagem do biogás um par de bombas de recalque da água de lavagem, encarregada de bombear o líquido para o interior da torre, à uma pressão igual à do biogás que lá se encontra.
- j. Separador de gotículas: faz a separação da água absorvida durante a passagem pela terra;
- k. Filtro purificador: faz a remoção dos condensados remanescentes (água e óleo);
- l. Concentrador-secador: é efetuada simultaneamente a secagem do biogás ao nível de ponto de orvalho de -5°C e concentração final do metano pela eliminação de parte do CO₂ remanescente da etapa de lavagem até um ponto final mínimo de 87% de pureza em volume;
- m. Odorizador: introduz características olfativas no gás, facilitando a detecção em caso de

vazamento;

- n. Reservatório pulmão de baixa pressão: armazena o biogás purificado para alimentação dos compressores de alta pressão;
- o. Compressores de alta pressão: elevam a pressão do biogás até 20 MPa, para enchimento dos cilindros, usados no transporte até os locais de uso.

A composição volumétrica do biogás purificado é tipicamente 87% de metano, 2% de gás carbônico, 8% de nitrogênio, 3% de oxigênio, 8 ppm de gás sulfídrico e 10 ppm de vapor de água. Este processo de depuração não é necessariamente seguido em todas as suas etapas. Sendo feito desta forma é obtido um produto de alta qualidade que pode ser usado em substituição ao álcool, gasolina, diesel e acetileno como combustíveis. Quando o gás for utilizado na obtenção de calor, em caldeiras, por exemplo, o processo pode ser simplificado, pois não é necessário um gás tão puro.

2.2 COMPOSTAGEM

2.2.1 Definição de Compostagem

A compostagem é definida como o ato ou ação de transformar os resíduos orgânicos, através de processos físicos, químicos e biológicos, em uma matéria biogênica mais estável e resistente à ação das espécies consumidoras. O composto é a denominação genérica dada ao fertilizante orgânico resultante do processo de compostagem (BREINDENBACH 1971).

A palavra composto, como já foi visto, vem sendo muito utilizada para designar o fertilizante orgânico preparado pelo amontoamento de restos de animais e vegetais, ricos em substâncias nitrogenadas, misturadas com outros resíduos vegetais pobres em nitrogênio e ricos em carbono. A mistura tem por finalidade sujeita-la a um processo fermentativo que conduza essas

respectivas matérias-primas, por um processo de decomposição microbiológica ao estado parcial ou total de humidificação.

O composto é, portanto, o resultado de um processo controlado de decomposição bioquímica de materiais orgânicos, transformando-os em um produto mais estável e utilizado como fertilizante. O processo de transformação que se passa no composto é semelhante ao que acontece na natureza com a manta florestal.

Do vocabulário inglês a palavra "compost" deu origem composto, para indicar o fertilizante, e aos termos compostar e compostagem, para indicar a ação ou ato de preparo do adubo. Pessoas que trabalham ou que comercializam esse adubo empregam as palavras composto orgânico para este respectivo fertilizante orgânico. A expressão apesar de redundante vem se popularizando não mais causando estranheza em seu uso na agricultura (KIEHL, 1998).

A compostagem é, pois, uma técnica idealizadora para se obter mais rapidamente e em melhores condições uma maior estabilização ou humidificação da Matéria Orgânica e se dá em prazo indeterminado, ocorrendo de acordo com as condições em que ela se encontra. A metodologia da compostagem consiste, em linhas gerais, no seguinte: a partir de matérias-primas que contenham um balanço de relação entre carbono e nitrogênio favorável ao metabolismo dos organismos que vão efetuar sua biodigestão e também facilitar a digestão dessa matéria-prima dispõe-se em local adequado, de acordo com o tipo de fermentação desejada, desta forma, a compostagem produz o pré-composto que pela maturação será transformado em composto curado.

O pré-composto é aquele material orgânico triturado e homogêneo, resultante da fase inicial da preparação do composto, que é utilizada na agricultura sem ser digerida. A adição de pré-composto em culturas deve ser orientada pela relação carbono e nitrogênio.

O composto curado é aquela matéria digerida é bioestabilizada resultante da fase final do processo de compostagem, recomendada para ser aplicada na agricultura sem envolver quaisquer níveis de concorrência entre a atividade microbiológica e as plantas que recebem o composto (KIEHL, 1998).

2.2.2 Formas de Compostagem

A compostagem pode ser levada a cabo de formas distintas:

- em grandes instalações centralizadas;
- em explorações agrícolas ou agro-pecuárias;
- em pequenas unidades de carácter familiar (e neste caso chama-se compostagem doméstica).

No caso da compostagem realizada em instalações centralizadas, há que distinguir claramente entre duas situações possíveis:

- caso em que os resíduos são recolhidos da forma convencional, todos misturados, e depois separados parcialmente por processos manuais e mecânicos em estações de triagem antes de serem encaminhados para compostagem;
- caso em que é efetuada uma coleta seletiva à porta de cada casa da fração orgânica dos resíduos que podem ser diretamente encaminhados para compostagem.

A primeira situação apresenta a vantagem de não ser necessário efetuar qualquer mudança no sistema de coleta de lixos e, conseqüentemente não ser necessário um investimento por parte dos municípios ou associações de municípios na educação dos cidadãos para a separação de resíduos. As desvantagens associadas a este processo são claras; depois de os resíduos terem sido misturados na origem é muito difícil proceder-se a uma correta separação, sendo mesmo impossível eliminar determinados resíduos de pequenas dimensões. Vários estudos científicos comprovam que o composto produzido nestas situações é de má qualidade, encontrando-se contaminado, por exemplo, por metais pesados presentes nas pilhas, por plásticos, pedaços de metais e vidro. Além do problema da má qualidade do composto produzido, há que realçar os custos do processo e o problema do alheamento da população em solução ambiental (KIEHL, 1998).

Na segunda situação, visto os resíduos serem separados na fonte, já que não se coloca o

problema da contaminação, pelo menos de uma forma tão grave. No entanto, para que a separação na fonte resulte, é necessário repensar os circuitos de coleta de resíduos e investir em campanhas de sensibilização e educação ambiental da população. As maiores parte das autarquias ainda não reconhecem à matéria orgânica a importância e prioridade que se impõe.

Em explorações agrícolas há uma grande produção de resíduos orgânicos que se não forem tratados convenientemente podem dar origem a graves fontes de poluição. Os dejetos, restos de vegetais e águas residuais compostadas com feno, palha, aparas de madeira podem ser utilizadas como fertilizante na agricultura.

Quanto a compostagem realizada em pequenas unidades de carácter familiar em composteiras ou pilhas no quintal, tem a grande vantagem de fazer diminuir os custos com a coleta de resíduos, produzindo um composto de excelente qualidade. Tem ainda a vantagem de permitir um envolvimento da população na questão do tratamento de resíduos. Este processo tem a desvantagem de exigir alguma formação e empenho por parte dos cidadãos. Algumas autarquias já iniciaram alguns programas de compostagem em escolas e têm em curso programas de compostagem doméstica em zonas piloto (KIEHL, 1995).

2.2.3 Metodologia da Compostagem

O processo de fazer composto orgânico é fundamentado em duas fases distintas: tratamento físico e tratamento biológico.

O tratamento físico destina-se ao preparo dos resíduos, favorecendo a ação biológica. Nesta fase, o lixo sofre um processo de triagem manual ou mecânica onde os componentes não-biodegradáveis são retirados da massa. A seguir, os resíduos restantes são gradualmente triturados e homogeneizados. Em alguns sistemas costuma-se adicionar lodo de esgoto ao lixo para favorecer a digestão, acelerando o processo (co-compostagem).

O tratamento biológico consiste na decomposição ou digestão dos resíduos pela ação dos microrganismos presentes ou inoculados pela adição de lodo de esgoto. Em geral, nos sistemas de compostagem moderna, procura-se estimular o processo aeróbio, por ser mais rápido e isento de mau cheiro. Entretanto, é válido lembrar que a classificação segundo a ação biológica encerra três

tipos de processamento, o aeróbio, anaeróbio e o misto. A escolha do melhor processo depende de uma série de estudos que vão desde a origem e formação dos resíduos até sua coleta e manejo. Nestes estudos devem ser incluídas observações sobre o comportamento populacional e sua evolução percentual em função do tempo. A tipologia dos resíduos deve ser conhecida, principalmente o teor de matéria orgânica decomponível, do qual dependerá a quantidade e qualidade do composto orgânico. O peso e volume específico devem ser determinados, pois deles dependem a capacidade nominal do sistema e o tempo de processamento. Como se pode observar, a especificação de um sistema de compostagem é um processo complexo e exige, além de boa vontade, estudos de ordem técnica (KIEHL, 1995).

2.2.4 Classificação da Compostagem

O processo de compostagem, de acordo com a Fig. 2.2, é classificado da seguinte forma:

Classificação da Compostagem	Quanto a Biologia	Aeróbio Anaeróbio Misto
	Quanto a Temperatura	Criófilo Mesófilo Termófilo
	Quanto ao Ambiente	Aberto Fechado
	Quanto ao Processamento	Estático/Natural Dinâmico/Acelerado

FIGURA 2.1 - Classificação da Compostagem.

Processo aeróbio: quando a decomposição ocorre na presença de ar. Neste processo a temperatura da massa em decomposição é sempre elevada havendo desprendimento de gases (CO_2) e vapor d'água.

Processo anaeróbio: quando a fermentação é processada na ausência de ar. Neste processo, a temperatura da massa em decomposição permanece baixa. Há desprendimento de gases

CH₄, H₂S mercaptanas e outros.

Processo misto: resulta da combinação dos dois processos anteriormente descritos. Inicialmente, a matéria orgânica é submetida ao processo aeróbio devido à presença de oxigênio no meio. Com a redução do O₂ presente, desenvolve-se o processo anaeróbio. Os métodos de compostagem utilizados pelos chineses envolvem estes processos. Presentemente o processo misto está sendo usado, recebendo o nome "dry composting", em inglês, ou compostagem a seco, em português (KIEHL, 1998).

Processo criófilo: relativo à baixa temperatura. Em geral, a matéria orgânica é digerida a uma temperatura próxima ou inferior à do ambiente.

Processo mesófilo: relativo às temperaturas médias, variando de 40°C a 55°C. Nesta fase, observa-se que a temperatura varia em função da população de microrganismos; quanto maior o número populacional, mais elevada a temperatura. Também se observam neste processo a transformação da matéria orgânica em ácidos orgânicos e uma sensível redução do pH do meio.

Processo termófilo: quando a fermentação se processa em temperaturas superiores a 55°C. A temperatura deste processo pode alcançar valores próximos à 70°C, se a atividade microbiológica for muito intensa e se existirem condições de contorno especiais que favoreçam o processo. Este estágio termófilo é preferido nos processos de compostagem, pois permite a destruição de sementes e ovos viáveis, além de reduzir as condições de sobrevivência de formas vegetativas patogênicas. Vale ressaltar que a temperatura de 70°C não é suficiente para eliminar todos os microrganismos patogênicos, algumas espécies, as termoresistentes, podem sobreviver em temperaturas próximas de 120°C.

Processos abertos: são aqueles em que a compostagem é realizada a céu aberto, em pátio de maturação.

Processo fechado: são aqueles em que a compostagem é feita através de dispositivos especiais tais como digestores, bioestabilizadores, torres e células de fermentação, etc. Nestes sistemas o processo de compostagem pode ter suas fases inteiramente controladas obtendo-se um excelente produto final.

Processo estático/natural: são aqueles em que o revolvimento da massa em fermentação é

feita esporadicamente.

Processo dinâmico/acelerado: são aqueles em que a massa em digestão é revolvida continuamente, favorecendo a aeração, a atividade e o controle biológico.

2.2.5 Fatores que influenciam a Compostagem

A compostagem é um processo biológico de transformação da matéria orgânica crua em substâncias húmicas, estabilizadas, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem.

Os principais fatores que governam a compostagem, são os microrganismos, a umidade, temperatura, a relação carbono/nitrogênio, granulometria, e índice de pH na unidade de compostagem, fatores estes que serão comentados a seguir:

2.2.5.1 Microrganismos

A conversão da matéria orgânica crua, biodegradável, ao estado de matéria-prima humificada, realizada pela compostagem, é um processo microbiológico operado na natureza por organismos indígenas classificados como bactérias, fungos e actinomicetes, principalmente.

Durante a compostagem há uma sucessão de predominância de microrganismos, é que, conforme a influência de determinados fatores, como as substâncias químicas da matéria-prima que esta sendo digerida com maior intensidade, o teor de umidade, a disponibilidade de oxigênio (governada pela aeração que se dá à massa), a temperatura (selecionando os microrganismos mesófilos e termófilos), a relação carbono/nitrogênio e o pH. Certos organismos multiplicam-se mais rapidamente, predominando no meio da fermentação, digerindo a substância química responsável pelo aumento de determinadas populações de microrganismos, alternando-se também alguns dos fatores como tais microrganismos que vão morrendo e cedendo lugar para uma nova e diferente população, ao qual passará a dominar a massa.

No início da decomposição de restos orgânicos, na fase mesófila predominam bactérias e fungos mesófilos produtores de ácidos. Com a elevação da temperatura caminhando para a fase

termófila a população dominante será de actinomicetes, bactérias e fungos termófilos ou termotolerantes.

A elevação desta temperatura e conseqüentemente à alteração da flora microbiana são influenciada em grande parte pelo aumento da disponibilidade de oxigênio. As pilhas de composto mais intensamente revolvidas no início do processo devem alcançar temperaturas mais elevadas chegando até 75°C, enquanto que as menos arejadas não chegam a ultrapassar 55°C a 60°C. As bactérias formadoras de esporos se desenvolvem em temperaturas acima de 70°C (KIEHL, 1998).

Passada a fase termófila o composto vai perdendo calor e retornando à fase mesófila, porém, agora com outra composição química, pois os açúcares e o amido já devem ter sido consumidos pelos microorganismos. Os fungos e bactérias caracteristicamente mesófilos tem uma fase de duração geralmente mais longa em relação à termófila, o processo termina com a fase final em que a temperatura do composto se torna próxima ou igual à ambiente (criófila).

Nesta fase final em que a temperatura diminui podem ser encontrados protozoários, nematóides, formigas, miriápodes, vermes e insetos os mais diversos. Os microrganismos encontrados em um composto, querem vivos ou mortos podem constituir até 25% do seu peso.

As Tabs. 2.1 e 2.2 relacionam os principais microrganismos isolados de um composto.

TABELA 2.1 - Relação de Bactérias aceleradoras do processo de compostagem.

BACTÉRIAS TERMÓFILAS	BACTÉRIAS MESÓFILAS
<i>Bacillus stearothermophilis</i>	<i>Cellomonas folia</i>
	<i>Chondrococcus exiguus</i>
	<i>Myxococcus fulrus</i>
	<i>Thiaobacillus thiooxidans</i>
	<i>Thiobacillus denitrificans</i>
	<i>Aerobacter sp.</i>
	<i>Proteus sp.</i>

Fonte: (KIEHL 1995).

TABELA 2.2 - Relação de Fungos e Actinomicetes. aceleradoras do processo de compostagem.

FUNGOS MESÓFILAS	ACTNOMICETES - TERMOTELERANTES E TERMÓFILOS	FUNGOS TERMOTOLERANTES E TERMÓFILOS
<i>Fusarium culmorum</i>	<i>Micronospora vulgaris</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>
<i>Fusarium roseum</i>	<i>Nocardia brasiliensis</i>	<i>Hucola insolens</i>
<i>Stysanus stemonitis</i>	<i>Pseudonocardia thermophila</i>	<i>H. griseus var. thermoideus</i>
<i>Coprinus cinereus</i>	<i>Streptomyces rectus</i>	<i>Mucor pussillus</i>
<i>Coprinus megacephalus</i>	<i>Streptomyces thermofuscus</i>	<i>Chaetomium thermophile</i>
<i>Coprinus lagopus</i>	<i>Streptomyces thermophilus.</i>	<i>Absidia ramosa</i>
<i>Clitopilus pinsitus</i>	<i>Streptomyces thermoviolaceus</i>	<i>Talaromyces (penicillium) duponti</i>
<i>Aspergillus niger</i>	<i>Streptomyces thermovulgaris</i>	<i>Talaromyces emersonii</i>
<i>Aspergillus terreus</i>	<i>Thermoactinomyces vulgaris</i>	<i>Talaromyces thermophilus</i>
<i>Geotrichum candidum</i>	<i>Thermonospora curvata</i>	<i>Sporotrichum thermophile</i>
<i>Rhizopus nigricans</i>	<i>Thermonospora fusca</i>	<i>Sporotrichum chlorinum</i>
<i>Trichoderma viride</i>	<i>Thermonospora glaucus</i>	<i>C.t6.6 (Mycelia sterilia)</i>
<i>T. (lignorum) harzianum</i>	<i>Thermopolyspora poyspora</i>	<i>Stilbella thermophilia</i>
<i>Oospora Variabilis.</i>		<i>Malbranchea pulchella var. sulfurea (Thermoidium sulfureum)</i>
<i>Mucor spinescens</i>		<i>Dactylomyces crustaceous (thermoascus aurantiascus)</i>
<i>Mucor abundans</i>		<i>Byssochlamys sp.</i>
<i>Mucor variens</i>		<i>Torula thermophila</i>
<i>Cephalosporium acremonium</i>		
<i>Chaetomium globosum</i>		
<i>Glomerularia sp.</i>		
<i>Pullularia</i>		
<i>(Aureobasidium)</i>		
<i>Fusidium sp</i>		
<i>Actinomucor</i>		
<i>corymbosus.</i>		

Fonte: (KIEHL 1995)

Já se tem tentado isolar grupos de microrganismos partindo de culturas puras obtidas em laboratório, reunindo-os em uma espécie de coquetel para inocular materiais orgânicos e obter a decomposição e humificação.

Neste particular tem aparecido no comércio produtos geralmente sem fazer a menor referência à sua composição química e microbiológica recomendados para serem incorporados a restos vegetais a serem compostados. Nos prospectos aparecem informações vagas anunciando que o produto contém "raças selecionadas de microrganismos", "enzimas", "hormônios", "biocatalizadores", etc.

Na América do Norte vendem-se preparados especiais para provocar a decomposição de resíduos de diferentes origens como o lixo domiciliar (rico em frutas, verduras e restos de comida). O lixo comercial (com muito papel e papelão) e os resíduos agrícolas e industriais.

Segundo (PEREIRA NETO 1996) pesquisas realizadas em diversos países demonstraram a inoperância desses "produtos milagrosos", quando aplicados ao lixo, ao esgoto, às camas ou esterco animais e a muitos dos restos vegetais.

Os microrganismos indígenas existentes nesses materiais são em quantidade e qualidade suficientes para produzir a decomposição desde que se lhe proporcione condições adequadas à fermentação.

O lixo ou outra matéria-prima rica em microrganismos indígenas possa ser inoculado com sucesso por raças puras selecionadas em laboratório teria primeiramente que ser esterilizado.

Outra maneira seria a grande quantidade de massa a ser inoculada e pequena quantidade de inoculante. Ter-se-ia que proceder segundo o método do pé-de-cuba, isto é, provocar a fermentação inicial em pequena massa de material esterilizado depois de obtida à multiplicação dos micróbios usar essa massa em fermentação para inocular uma quantidade maior de matéria orgânica.

Depois de esterilizada emprega-se como inoculante de outra massa em quantidade dez vezes maior, e assim procede-se até obter uma apreciável massa em fermentação como cultura pura, então poderá ter inoculante para decompor uma grande quantidade de resíduos.

Resíduos vegetais palhosos pobres em microrganismos com poucas condições para proliferação de bactérias, fungos e actinomicetes podem ser compostados empregando-se como inoculante esterco animais, lixo cru, lodo de esgoto, tortas e outros materiais que entram em

fermentação espontâneas, dispensando em si o uso de culturas puras de laboratório.

O número de microrganismos existentes em uma massa com boas condições para fermentação raramente, é um fator limitante, porém, acontece que tais materiais ou tem quantidade suficiente para iniciar a multiplicação ou acabam recebendo do seu próprio meio ambiente as condições favoráveis; desta forma os organismos indígenas necessários para multiplicar-se rapidamente, se sobrepõem aos oriundos de cultura pura mais exigentes em qualidade e quantidade de macro e micronutrientes, de fontes de energia da reação e do meio.

Portanto, havendo um bom arejamento da pilha de composto verifica-se que os principais organismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica as bactérias, os fungos e os actinomicetes se multiplicam espantosamente por toda massa.

No início da decomposição as bactérias classificadas como mesófilas predominam no meio passando mais tarde a ceder lugar para as bactérias termófilas quando as temperaturas ultrapassarem 45°C a 55°C.

Os fungos termófilos ou termotolerantes geralmente desenvolvem-se a partir do décimo ou quinto dia, enquanto que os actinomicetes são organismos que predominam nas últimas fases da compostagem, sendo assim, os fungos e os actinomicetes menos exigentes em umidade do meio de cultura. Desta forma localizam-se na capa mais ressecada que envolvem a pilha de composto, a uma espessura de 5 a 15 centímetros.

A presença desses organismos é visível à olho nu graças aos micélios esbranquiçados em forma de finos fios como os de teia de aranha ou então parecendo pó de giz.

Os fungos e actinomicetes termófilos ou termotolerantes são encontrados desenvolvendo-se em temperaturas que variam de 48°C até 58°C, encontradas nas camadas mais externas, até 58°C (KIEHL 1995).

Desta maneira fica comprovado que as bactérias termófilas realizam seu principal papel decompondo os açúcares, amidos, proteínas e outros compostos orgânicos de fácil digestão, e são também intensamente ativas na primeira fase da fermentação, quando a temperatura atinge 60°C a 70°C, ocorrendo as maiores alterações na natureza da matéria orgânica em processo de compostagem nas fases seguintes. As bactérias continuam ativas principalmente no interior do

monte de composto, onde a temperatura é completamente desfavorável para fungos e actinomicetes.

Apesar de tudo, ainda se situam em camadas mais externas e predominam na massa na fase mais avançada da compostagem. Já os fungos e os actinomicetes desempenham papel importante na decomposição da celulose e outros materiais mais resistentes, os quais são atacados depois da digestão daqueles mais facilmente decomponíveis.

Muitas bactérias atacam a celulose, entretanto nas camadas em que predominam os fungos e actinomicetes e no período final da compostagem onde a temperatura começa a declinar são estes respectivos organismos responsáveis, por esta decomposição. Desta maneira para preservar a boa atividade dos mesmos deve-se na fase final, efetuar revolvimentos freqüentes que levariam para o interior da pilha as camadas mais externas ricas em fungos e actinomicetes.

2.2.5.2 Umidade

Uma determinada quantidade de umidade é necessária no processo uma vez que os microrganismos só são capazes de absorver os nutrientes que se encontram na fase dissolvida. Além disso, a água é fundamental nos processos metabólicos e para construção da biomassa, uma vez que esta é constituída majoritariamente por água (mais de 70%).

Desta forma teores elevados de água na mistura a compostar são indesejáveis, pois a água em excesso pode provocar inchaço, isto é ocupando espaço poroso entre as partículas, dificultando a circulação de ar e condicionando, conseqüentemente as condições anaeróbias.

A estrutura física e a capacidade de retenção da água variam muito conforme o material a compostar.

Por se tratar de um processo biológico de decomposição da matéria orgânica, a presença de água é fundamental para a necessidade fisiológica dos organismos os quais não vivem sem a presença de umidade.

Se esta umidade do substrato a ser compostado estiver abaixo de 40% a decomposição

será aeróbia predominando ação dos fungos, pois as bactérias estarão pouco ativas.

Se a umidade estiver acima de 60%, o material se mostrara molhado ou encharcado e nesse caso, a água toma os espaço livre do ar e a decomposição será em parte anaeróbia podendo causar ou produzir maus odores.

A Fig. 2.2 abaixo mostra que a umidade deve sempre estar acima de 40% e abaixo de 60% sendo o valor ótimo de 55%. Na figura observamos que o consumo de oxigênio, isto é, portanto a digestão da matéria aumenta consideravelmente com a elevação do teor de umidade de 25% até 55% caindo quase verticalmente quando ultrapassa este último valor.

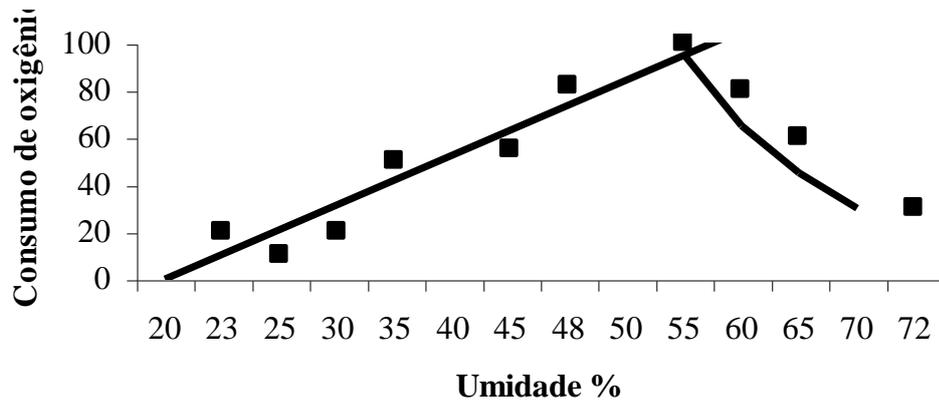


FIGURA 2.2 - Efeito da umidade no consumo de oxigênio na compostagem do resíduo sólido domiciliar. (Fonte: GOLUEKE 1975)

Desta maneira fornecendo-se oxigênio artificialmente ao meio de cultura, a matéria orgânica poderia se decompor aerobicamente até em ambiente saturado de água. No entanto, devido a necessidade de se fornecer água e ar ao mesmo tempo, torna-se obrigação encontrar os limites mínimos e máximos que os diferentes resíduos devem apresentar para serem atendidos esses dois fatores acima.

Portanto, saturando-se uma massa orgânica os seus espaços vazios serão tomados pela água não restando lugar algum para o ar. Inversamente, desidratando-se esta massa, todos os

espaços vazios serão tomados pelo ar. Quanto mais finas forem as partículas dos resíduos orgânicos a serem compostados maior será a capacidade de retenção de água.

A medida que esta matéria orgânica vai se humificando vão aumentando também sua capacidade de retenção de água. Esta capacidade de retenção pode ser determinada através da Eq. (1) na seguinte forma:

- Emprega-se uma lata pequena;
- Fazem-se furos no fundo desta lata com pregos, pesando-a vazia (P);
- Enche-se esta lata com matéria orgânica e mergulha-se a mesma em água (P1);
- Deixa-se escorrer esta água pelos furos, isto é elimina o excesso;
- Depois secar em estufa e pesar novamente (P2);
- Determina-se a capacidade de retenção de água através da equação (1).

$$CRA(\%) = \frac{P1 - P2}{P2 - P} * 100 \quad (1)$$

Determinando esta capacidade máxima de retenção de água no material (CRA) ainda ele cru pode-se verificar que depois que ele vai se compostando. Notamos que a capacidade de retenção de água vai aumentando cada vez mais até o fertilizante chegar a ponto de cura total onde o valor pode ser 80% inicialmente e atingir até a 150% ao final (KIEHL 1979-a).

Desta forma, um composto ou fertilizante orgânico bem humificado pode atingir uma retenção de uma quantidade de água igual a uma vez e meia do seu próprio peso.

A matéria orgânica a ser compostada deve ter uma umidade ótima em torno de 55% sendo respeitados o limite máximo de 60% e 40% o mínimo.

O teor de umidade da matéria-prima em processo de compostagem é influenciado pelo tamanho e composição das partículas e pela sua capacidade de resistir à compactação, características que dão também um poder de governar a porosidade total da pilha.

No composto podemos encontrar dois tipos de porosidade:

- A microporosidade é aquela que retém água por capilaridade.
- A macroporosidade é aquela cujos espaços vazios são ocupados pelo ar ou pela água quando temos encharcamento, mas que perdem por efeito da força da gravidade tão logo cesse o efeito da saturação.

O excesso de umidade do composto pode ser reduzido pelos revolvimentos da leira que podem ser da seguinte forma:

- Umidade entre 60% e 70%, revolver a cada dois dias por 4 a 5 vezes.
- Umidade entre 40% e 60%, revolver a cada três dias por 3 a 4 vezes.
- Umidade abaixo de 40% requer irrigação a não ser que o processo de compostagem esteja já em sua fase final.

Como na compostagem há perda de água, a Tab. 2.3 abaixo, dá uma idéia detalhada da quantidade inicial de fertilizante orgânico com a umidade mais elevada, que é necessária para obter-se exatamente uma tonelada do mesmo adubo com a menor porcentagem de água.

TABELA 2.3 - Quantidades de fertilizantes a serem compostados para se obter uma tonelada do mesmo, com menos umidade.

Umidade Final % B	Umidade Inicial % A									
	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15
60	1000									
55	1125	1000								
50	1250	1111	1000							
45	1375	1222	1100	1000						
40	1500	1333	1200	1090	1000					
35	1625	1444	1300	1180	1083	1000				
30	1750	1555	1400	1270	1166	1077	1000			
25	1875	1666	1500	1360	1249	1154	1071	1000		
20	2000	1777	1600	1450	1332	1231	1142	1067	1000	
15	2125	1888	1700	1540	1415	1308	1213	1134	1063	

Fonte: (KIEHL 1979-a).

A Tab. 2.3 acima pode ser usada da seguinte forma:

Tem-se um fertilizante orgânico com 55% de umidade (adubo mais úmido) desta forma pretendemos obter por secagem com 40% de umidade (adubo mais seco).

Então se utiliza a tabela da seguinte maneira:

- Na linha superior da tabela, letra A, estão os teores em porcentagem dos fertilizantes com maior umidade inicial.
- Na coluna da esquerda letra B estão os teores de menor umidade final, em porcentagem, que se deseja obter.
- Como exemplo: então o valor 55 da linha A com valor 40 da linha B encontra-se pelo cruzamento o número 1333. Este valor encontrado quer dizer que são necessários 1.333 kg. de adubo orgânico com 55% de umidade para se obter uma tonelada de fertilizante com 40% de umidade final.

2.2.5.3 Temperatura

A decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos gera calor. A temperatura do sistema depende do equilíbrio entre o calor produzido e o calor perdido para o exterior. O calor produzido depende do tamanho da pilha, do teor de umidade, arejamento e razão carbono/nitrogênio.

A temperatura é um fator determinante no processo, uma vez que diferentes temperaturas são geradas pelo desenvolvimento de diferentes comunidades microbianas. Além disso, a maioria dos microrganismos não sobrevive a temperaturas superiores a 70°C o que faz com que a decomposição seja muito lenta a partir desse valor.

O metabolismo dos microrganismos é exotérmico na decomposição aeróbia, principalmente porque se desenvolve um processo rápido e natural através do aquecimento da

massa com a multiplicação da população microbiana. De maneira generalizados certos grupos de organismos geram uma faixa de temperatura ótima de desenvolvimento. Desta forma é tão importante a manutenção da temperatura ótima para que estes microrganismos, que uma variação para mais ou para menos, provoca uma redução da população e da atividade metabólica.

Quando a matéria orgânica é decomposta em pequeno volume o calor criado pelo metabolismo dos micróbios se dissipa e o material não se aquece. No entanto, quando se processa a compostagem de resíduos orgânicos em montes ou leiras, por serem materiais bons isolantes térmicos fazem com que o calor desenvolvido acumule e a temperatura alcance valores elevados podendo alcançar valores até 80°C. As altas temperaturas são consideradas desejáveis, pelo fato de destruírem sementes de ervas más e organismos patogênicos, os quais são pouco resistentes a temperaturas em torno de 50°C a 60°C por um período de tempo.

As faixas de temperatura que definem a predominância de determinados grupos de organismos podem ser classificadas em criófilos, mesófilos e termófilos. A compostagem se dá na fase mesófila e termófila, pois quanto maior o calor mais rápido será decomposição, considerando uma faixa ótima para compostagem a que vai de 50°C a 70°C, sendo a 55°C a mais indicada.

As temperaturas consideradas mínimas, ótimas e máximas para as bactérias são mostradas na Tab. 2.4.

TABELA 2.4 - Temperaturas para bactérias.

Bactéria	Temperatura Mínima	Temperatura Ótima	Temperatura Máxima
Termófila	25 a 45 °C	50 a 55 °C	85 °C
Mesófila	15 a 25 °C	25 a 40 °C	43 °C

Fonte: (Pereira Neto 1996)

As pilhas de composto apresentam diferentes temperaturas entre as regiões situadas na parte mais interna e externa e entre as da parte alta e junto à base. A temperatura ambiente não tem grande influencia na temperatura da pilha, pois nos dias frios a massa permanece aquecida, despreendendo calor e vapor d'água ao qual se percebe pela fumaça que se desprende do composto ao ser revolvido.

A perda de calor é proporcional as dimensões da pilha, as mais largas e altas tem maior superfície de exposição proporcionando menor perda do que as pilhas menores.

O desenvolvimento da temperatura está relacionado com vários fatores tais como materiais ricos em proteínas, relação carbono/nitrogênio baixa, pois aquecem mais rapidamente e alcançam maior temperatura que os celulósicos, com elevada relação carbono/nitrogênio. Os materiais moídos e peneirados, com granulometria fina e maior homogeneidade formam pilhas com melhor distribuição e menor perda de calor, já pilhas com material grosseiro proporciona boa aeração mas alcançam altas temperaturas e sujeitos a perdas de calor que os anteriores.

Na Fig. 2.3 esta representada uma curva padrão de temperatura, a qual não é obrigatoriamente comum a todos os casos. O gráfico mostra que composto partindo da temperatura ambiente, passa rapidamente pela fases de temperatura mesófila, subindo para a termófila onde se mantém por um espaço de tempo formando um platô; prosseguindo a decomposição, se não faltar umidade e oxigênio, a temperatura baixará criando no gráfico um novo platô. Na fase mesófila é por tempo geralmente mais longo que o da fase anterior; finalmente, após 100 a 120 dias dificilmente em menor prazo, temos a cura completa do composto quando a matéria orgânica estará toda humificada e a temperatura baixará mais ainda, mantendo-se próxima ou igual à ambiente; nesse ponto atingiu-se a cura completa do composto, estando a matéria orgânica humificada.

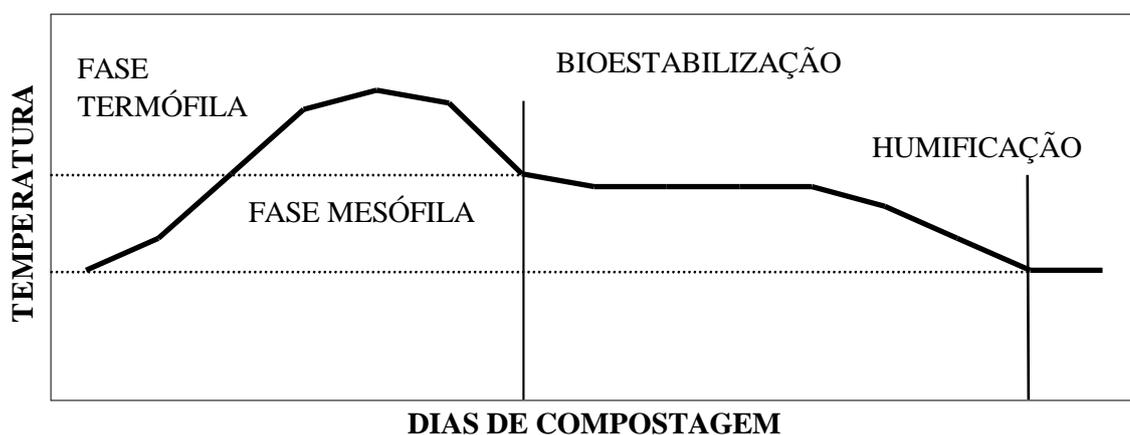


FIGURA 2.3 - Curva padrão de temperatura durante o processo de compostagem (Fonte: KIEHL 1995)

A prática demonstrou que se pode estabelecer uma relação aproximada entre a temperatura do processo de compostagem e o grau de decomposição, quando tudo ocorrer normalmente, isto é, a temperatura não baixar por falta de água ou por encharcamento.

Considera-se que após a fase termófila o composto deve estar semicurado ou bioestabilizado e, após a nova fase mesófila, quando esfriar estará completamente curado ou humificado. A bioestabilização e a humificação devem ser confirmadas por outros parâmetros.

Como foi relatado na Fig. 2.3 a curva típica indica as alterações de temperatura que ocorrem durante a compostagem, não estando representadas as quedas de temperatura que se dão pelos revolvimentos do composto e pela ocorrência da compactação que conduz à anaerobiose pelo encharcamento.

2.2.5.4 Relação carbono/nitrogênio

A compostagem é um processo biológico sendo por isso necessário criar as condições corretas para o crescimento de seres vivos em particular, satisfazendo os seus requisitos nutricionais. Dos muitos elementos necessários à decomposição microbológica, o carbono e o nitrogênio são considerados importantes. O carbono fornece energia e constitui 50% da massa celular dos microrganismos. O nitrogênio é um componente essencial nas proteínas, ácidos nucleicos, amionocidos, enzimas e co-enzimas necessárias ao crescimento e funcionamento celular.

Os microrganismos utilizam cerca de trinta vezes mais carbono do que nitrogênio sendo este valor freqüentemente encontrado na literatura como o recomendado para o início do processo. No caso de os substratos a degradação contém muitos compostos complexos, como celulose e lignina e alguns polímeros orgânicos, é aconselhável que a razão carbono/nitrogênio (razão C/N) inicial seja cerca de 30:1, porque uma parte considerável do carbono não está disponível nas primeiras fases do processo. O tamanho das partículas também é um fator importante, porque estas partículas pequenas degradam-se mais depressa do que as partículas maiores do mesmo material; boa disponibilidade também pode ser um problema quando se usa um fertilizante mineral como

fonte de nitrogênio, porque a disponibilidade quase instantânea desse elemento pode exceder a capacidade de assimilação dos microrganismos e o nitrogênio ser libertado na forma de amônia ou ser lixiviado.

No caso de esta razão ser muito superior a 30:1 o crescimento dos microrganismos é atrasado pela falta de nitrogênio e, conseqüentemente, a degradação dos compostos torna-se mais demorada. Se, pelo contrário, a razão C/N for muito baixa, o excesso de nitrogênio acelera o processo de decomposição, mas faz com que o oxigênio seja gasto muito rapidamente, podendo levar à criação de zonas anaeróbias no sistema. O excesso de nitrogênio é libertado na forma de amônia, o que além dos maus odores que provoca, corresponde a uma perda desse nutriente, com a conseqüente produção de um composto mais pobre e por isso, menos valioso em termos comerciais.

É comum misturar-se diferentes resíduos, de forma a obter uma relação carbono/nitrogênio adequada:

- Uma relação inicial C/N demasiado alto poderá ser corrigida juntando à mistura, materiais tais como: estrume de galinha, resíduos de carnes e de peixes.
- Uma relação inicial de C/N demasiado baixo poderá ser corrigida juntando à mistura materiais tais como: palha, papel, serragem ou aparas de madeira.

A adição dos verdes e castanhos deve ser aproximadamente 1:1, assim se obtém os 30:1 de carbono/nitrogênio, como é verificado nas Tabs. 2.5 e 2.6.

TABELA 2.5 - Materiais ricos em carbono.

Material	Folhas	Espigas de milho	Palha	Cortiça	Papel	Aparas de madeira e serragem
Razão Carbono / Nitrogênio	30- 80:1	60:1	40-100:1	100-130:1	150-200:1	100-500:1

Fonte: (LIMA 1983)

TABELA 2.6 - Materiais ricos em nitrogênio.

Material	Vegetais	Estrume de cavalo	Estrume de galinha	Café	Aparas de reivas	Estrume de porco	Estrume de vaca
Razão Carbono / Nitrogênio	12- 20:1	25-60:1	10-18:1	20:1	12-25:1	5-7:1	20:1

Fonte: (LIMA 1983)

Quando um fertilizante orgânico com relação C/N é aplicado no solo ocorre o seguinte: os microrganismos, além de reciclarem o nitrogênio dos que morrem, retiram também nitrogênio do solo na forma nítrica ou amoniacal, procurando com isso reduzir mais rapidamente a elevada proporção de carbono em relação de nitrogênio. Costuma-se dizer que esses organismos apenas "emprestam" o nitrogênio do solo, empregando-se essa palavra pelo fato de que, quando o excesso de carbono for eliminado, a matéria húmica estará sendo mineralizada, ou seja, o nitrogênio orgânico estará se transformando em nitrogênio mineral solúvel, voltando a ser disponível às raízes.

A matéria orgânica bioestabilizada é característica, dentre outros parâmetros, exatamente pelo fato de apresentar uma relação C/N que indica o início do processo de mineralização do nitrogênio.

A Fig. 2.4 mostra como ocorrem as fases de decomposição da matéria orgânica, conforme a relação C/N. Através da mesma pode-se verificar que a matéria orgânica com relação C/N igual a 60/1 (costuma-se representar a relação só pelo numerador, uma vez que o denominador é sempre igual a unidade), despenderá aproximadamente de 30 a 60 dias para ser bioestabilizada. Vê-se também, que a matéria orgânica com relações C/N entre 60 e 33 se colocada no solo, irá imobilizar nitrogênio, isto é, a transformação de nitrogênio mineral, na forma nítrica ou amoniacal, solúveis, em nitrogênio orgânico, não solúvel.

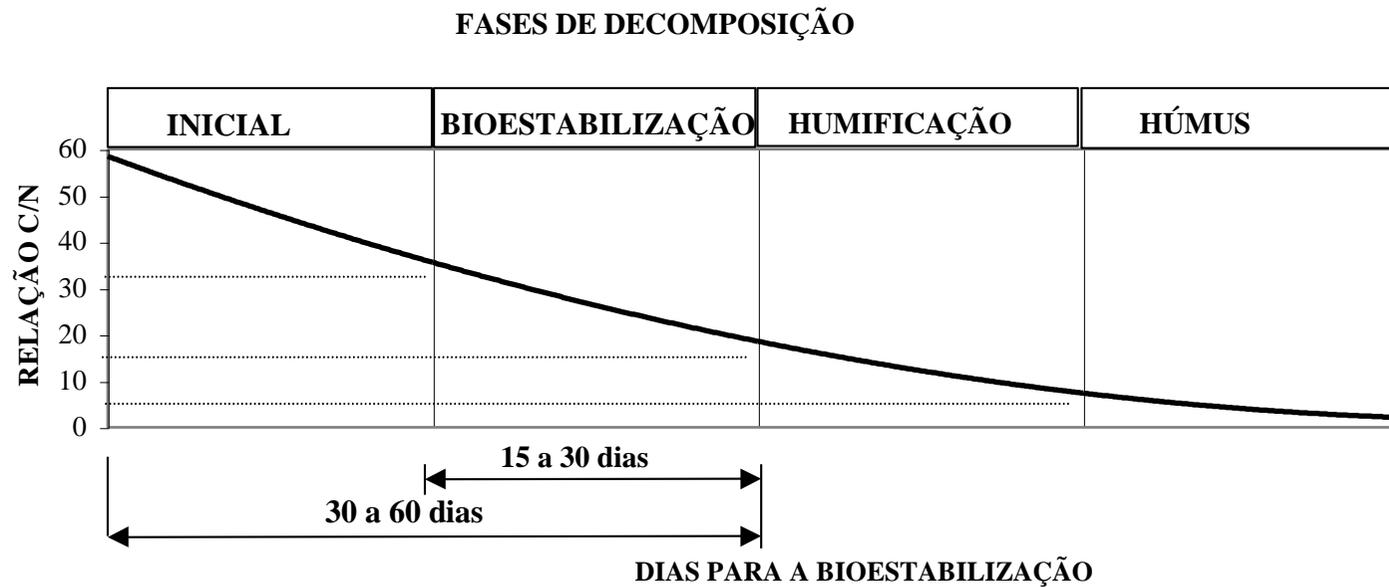


FIGURA 2.4 - Fases da decomposição da matéria orgânica conforme a relação C/N e os dias necessários para a bioestabilização e humificação da Matéria Orgânica (Fonte: KIEHL 1999).

Se a relação for 33 o prazo para a matéria orgânica crua atingir a bioestabilização será de 15 a 30 dias. Entre as relações 33 e 17, quando se está processando a bioestabilização, não haverá imobilização do nitrogênio mineral do solo, mas também não estará se dando o processo de mineralização ("devolução do nitrogênio" emprestado"), o qual se dará efetivamente a partir da relação C/N inferior a 17/1".

A Fig. 2.4 mostra ainda a fase de decomposição inicial, de bioestabilização, de humificação e do húmus já formado em função da relação C/N da matéria orgânica.

Os materiais orgânicos com elevada relação C/N podem, quando aplicados ao solo produzir deficiência de nitrogênio nas plantas com sintomas de clorose, podendo chegar em casos mais extremos até à necrose das folhas e morte do vegetal.

Se a quantidade de matéria orgânica celulósica crua aplicada como fertilizante não for grande a deficiência fisiológica observada não chega a causar danos à cultura ao qual depois de algum tempo reagirá e se beneficiará da adubação feita.

Se os efeitos forem mais sérios recomenda-se fazer uma aplicação de fertilizante nitrogenado preferivelmente se o solo estiver muito seco, na forma de irrigação ou de fertilização foliar nitrogenada, contornando assim os danos que poderiam causar a adubação orgânica incorreta.

Quando ocorre o caso oposto, ou seja, a relação C/N da matéria prima a ser compostada é excessivamente baixa, em torno de 5/1 ou 10/1, como acontece com os resíduos animais oriundos frigoríficos os organismos tendo à disposição alto teor de nitrogênio e baixo de carbono como fonte de energia utilizam todo o carbono disponível e eliminam o excesso de nitrogênio na forma amoniacal. Essa liberação de amônia na atmosfera causa perdas de nitrogênio reduzindo o teor do elemento no produto acabado.

As perdas de nitrogênio são mais acentuadas quando se procura preparar o composto em curto prazo, realizando mais revolvimentos para garantir melhor arejamento da massa que por suas características naturais tende a se compactar. As perdas são mais pronunciadas na fase termófila e com pH na faixa da alcalinidade a qual favorece o desprendimento de amônia. A volatilização é auxiliada pela elevada temperatura e pelo revolvimento a que vem sendo submetido o desprendimento de amônia é tão intenso que se chega a sentir o cheiro característico de amoníaco

desprendendo do composto ao ser revolvido (Fonte: KIEHL 1999).

Quando se tem muito resíduo animal rico em proteína, recomenda-se juntar restos vegetais celulósicos para elevar a relação C/N a um valor próximo do ideal que é de 33/1 para matéria - prima a ser decomposta.

A Tab. 2.7 mostra a influência da relação C/N no teor de nitrogênio do composto acabado. Pela tabela pode-se observar que relações entre 30 e 35 permitiram uma retenção de 99.3 % de nitrogênio no composto, justo as relações tidas como boas para início de compostagem. A relação 76, apesar de reter 108% de nitrogênio tem a desvantagem de exigir muita reciclagem desse elemento, alongando o tempo de compostagem e de ocupação de espaço no pátio. No preparo de composto nas fazendas, onde não há problema de espaço, não havendo pressa em se obter o fertilizante acabado, o inconveniente apontado torna-se irrelevante.

TABELA 2.7 - Nitrogênio retido no composto, conforme a relação C/N inicial da matéria - prima empregada.

Relação C /N Inicial	% nitrogênio final (base seca)	% nitrogênio retido
20	1,44	61,2
22	1,63	85,2
30	1,21	99,5
35	1,32	99,5
76	0,86	108,0

Fonte: (KIEHL 1979-b)

Consideram-se os limites 26 e 35 como sendo as relações C/N mais recomendadas para uma rápida e eficiente compostagem. Relações baixas causam perdas praticamente inevitáveis de nitrogênio na forma de amônia, enquanto que altas relações tornam o processo prolongado.

A Eq. (2) mostra que se pode avaliar a relação C/N de misturas de matéria-primas de diferentes origens, conhecendo-se a relação C/N e o teor de nitrogênio pode-se calcular teoricamente o conteúdo de matéria orgânica. Suponha-se que um fertilizante orgânico apresenta relação C/N igual a 20/1 e teor de nitrogênio igual 1,5 % , o teor de matéria orgânica será:

$$\frac{20}{1} = \frac{C\%}{1,5} \quad \text{donde } C\% = \frac{20}{1} * 1,5 = 30\% \quad (2)$$

Em seguida através da Eq. (3), podemos calcular o teor de matéria orgânica (MO).

$$\text{Matéria Orgânica}\% = C\% * 1,8 = 30\% * 1,8 = 54\% \quad (3)$$

Partindo desses cálculos organizamos a Tab. 2.8 que dá uma idéia da relação C/N e da porcentagem de matéria orgânica contida no composto. Pela tabela percebe-se que materiais com elevada relação C/N e baixo teor em nitrogênio como o lixo rico em papel e restos vegetais celulósicos, produzirão fertilizantes com baixos teores de matéria orgânica e alta relações C/N, inversamente matéria-primas com maiores teores de nitrogênio produzirão adubos mais ricos em matéria orgânica e com mais baixas relações C/N.

TABELA 2.8 - Teores de matéria orgânica segundo a relação carbono/nitrogênio e nitrogênio%.

ESTADO MATERIAL	N%	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
	C/N													
Relação C/N da matéria orgânica de difícil fermentação	60/1	64,8	86,4											
	55/1	59,4	79,2	99,0										
	50/1	54,0	72,0	90,0										
	45/1	48,6	64,8	81,0	97,2									
	40/1	43,2	57,6	72,0	86,4									
	35/1	37,8	50,4	63,0	75,6	88,2								
Relação C/N da matéria orgânica de fácil fermentação	30/1	32,4	43,2	54,0	64,8	79,6	86,4	97,2						
	28/1	30,2	40,3	50,4	60,5	70,5	80,6	90,7						
	26/1	28,1	37,4	46,8	56,1	65,5	74,9	84,2	93,6					
	24/1	25,9	34,5	43,2	51,8	60,5	69,1	77,7	86,4	95,0				
	22/1	23,7	31,7	39,6	47,5	55,4	63,3	71,3	79,2	87,1	95,0			
	20/1	21,6	28,8	36,0	43,2	50,4	57,6	64,8	72,0	79,2	86,4	93,6		
	19/1			34,2	41,0	47,9	54,7	61,5	68,4	75,2	82,1	88,9	95,7	
Relação C/N de adubo semi-curado (bioestabilizado)	18/1			32,4	38,9	45,4	51,8	58,3	64,8	71,3	77,7	84,2	90,7	97,2
	17/1			30,6	36,7	42,8	48,9	55,1	61,2	67,3	73,4	79,5	85,7	91,8
	16/1			28,8	34,5	40,3	46,1	51,8	57,2	63,3	69,1	74,9	80,6	86,4
	15/1				32,4	37,8	43,2	48,6	54,0	59,4	64,8	70,2	75,6	81,0
Relação C/N de adubo curado (humidificado)	14/1				30,2	35,3	40,3	45,3	50,4	55,4	60,5	65,5	70,5	75,6
	13/1				28,1	32,8	37,4	42,1	46,8	51,5	56,1	60,8	65,5	70,2
	12/1					30,2	34,5	38,9	43,2	47,7	51,8	56,1	60,5	64,8
	11/1						31,7	35,6	39,6	43,5	47,5	51,5	55,4	59,4
	10/1						28,8	32,4	36,0	39,6	43,2	46,8	50,4	54,0

Fonte: (KIEHL 1978)

2.2.5.5 Granulometria

A granulometria do material a compostar é determinante porque influencia as restantes condições em que o processo irá decorrer.

A diminuição do diâmetro provoca um aumento na superfície específica de uma determinada partícula envolvida no processo, facilitando o ataque pelos microrganismos e favorecendo a homogeneização do material em termos de densidade, composição e temperatura. No entanto partículas demasiadamente pequenas favorecem uma excessiva compactação do material, o que pode tornar-se prejudicial em termos de difusão de oxigênio e circulação de água, aumentando o risco de aparecimento de zonas de anaerobiose.

A granulometria da matéria-prima ou o tamanho das partículas, usando um termo mais técnico, a sua textura tem grande importância no processo de compostagem governando o movimento de líquidos e gases na leira. A granulometria pode ser definida também como a proporção relativa dos diferentes grupos de tamanho de partículas existentes e separáveis por peneiramento.

A legislação brasileira classifica os fertilizantes orgânicos, segundo a granulometria em farelado grosso, farelado e pó.

Na compostagem do resíduo sólido domiciliar uma importante característica física desse resíduo, e que afeta o processo é o tamanho das partículas. Quanto menor a partícula maior será a superfície que pode ser atacada e digerida pelos microrganismos, e mais rápida a decomposição da matéria orgânica (KIEHL 1979-b).

Partículas minúsculas tem uma área imensa e receberiam um ataque intenso dos microrganismos, se as condições de arejamento forem corretas. Entretanto teoricamente partículas diminutas teriam rapidíssima decomposição, mas na prática da compostagem granulometria muito fina traz sérios problemas de aeração, compactação e encharcamento, entre outros.

Os microrganismos na compostagem reduzem a matéria orgânica ao estado de húmus, micelas coloidais com superfície específica de 700 m² por cada grama.

A granulometria de um material a ser compostado influencia nos seguintes parâmetros:

Aeração: Quanto mais grosseira a granulometria mais intensas as trocas do ar saturado de gás carbônico dos espaços vazios existentes no material em compostagem pelo ar atmosférico, rico em oxigênio, pelos fenômenos de difusão e convecção.

Controle de umidade: O controle da umidade da leira também está associado com a granulometria. Quanto mais grosseiras as partículas, mais facilmente o ar penetra na massa e mais rapidamente a umidade é removida.

Compactação: A granulometria não pode ser muito fina, como no caso do lodo de esgoto, que tem tendências de se adensar, transformando, o composto em uma massa compacta quando molhado. Se encharcado, o composto de granulometria fina pela alta capacidade de retenção de água, compacta-se, permitindo que o processo entre em anaerobiose, putrefação, desprendendo gás sulfídrico, mercaptanas e outros gases. Com granulometria grosseira o material resseca-se mais facilmente, porém em contrapartida, a aeração é facilitada não havendo tendência para compactação sendo a decomposição aeróbia garantida.

Temperatura: Assim como a umidade, a granulometria também afeta a temperatura. Material mais grosseiro forma leira pouco densa "engaiolada" expressão dita ou empregada para indicar que os resíduos se sobrepõem deixando muitos e grandes espaços vazios, facilitando a remoção do ar excessivamente aquecido.

Microrganismos: Quanto menor a granulometria do resíduo, maior será o ataque dos microrganismos às suas partículas e menor tempo de maturação.

2.2.5.6 Índice de pH na Unidade de Compostagem

O pH é um parâmetro muito importante para o desenvolvimento de uma comunidade biológica e torna-se difícil de controlar num processo como a compostagem. Felizmente, diferentes microrganismos têm capacidade de se adaptar às diferentes pH, evoluindo assim o pH da mistura a compostar para um valor próximo do neutro.

Um pH inicial entre 5.5 e 8.5 é o mais adequado aos microrganismos presentes na

compostagem, mas o processo pode decorrer com sucesso fora desta gama de valores.

Nas primeiras fases da compostagem os compostos são degradados produzindo ácidos orgânicos, diminuindo o pH e promovendo o crescimento de fungos que são capazes de degradar celulose e lignina (KIEHL 1995).

Estes ácidos são geralmente decompostos a moléculas mais simples (principalmente dióxido de carbono e água), mas se o sistema se tornar anaeróbio a acumulação destes ácidos pode baixar drasticamente o pH e reduzir a atividade biológica. O aumento do arejamento é suficiente para que o pH retome valores adequados.

Com a compostagem há formação de ácidos húmicos que também reagem com os elementos químicos básicos, formando humatos alcalinos. Como consequência, o pH do composto se eleva à medida que o processo se desenvolve, passando pelo pH 7.0 (neutro) e alcançando pH superior a 8.0 (básico).

Cerca de 98% do nitrogênio da matéria orgânica estão na forma orgânica. Pela compostagem o nitrogênio orgânico transforma-se em nitrogênio amídico e depois em nitrogênio amoniacal, dando à massa em decomposição um pH mais elevado ainda, pela reação alcalina, característica da amônia (NH₃).

As Nitrosomonas e Nitrobactérias transformam esse nitrogênio amoniacal em nitrato (NO₂), que é o produto final da degradação do nitrogênio orgânico.

Observa-se então que no final da compostagem todo o nitrogênio orgânico deverá estar mineralizado na forma de nitrato. Daí se dizer ao agricultor da velha Europa que a matéria orgânica era amontoada para fazer uma "nitreira" e não uma composteira, como se diz presentemente.

Desta forma a curva da Fig. 2.5, mostra que durante os primeiros 10 a 15 dias (fase fitotóxica de atraso), além da decomposição da matéria orgânica ser lenta, e o pH ácido, após esse prazo o pH se eleva enquanto contiver nitrogênio amoniacal, alcalino, baixando um pouco em seguida, quando este passar para a forma de nitrato.

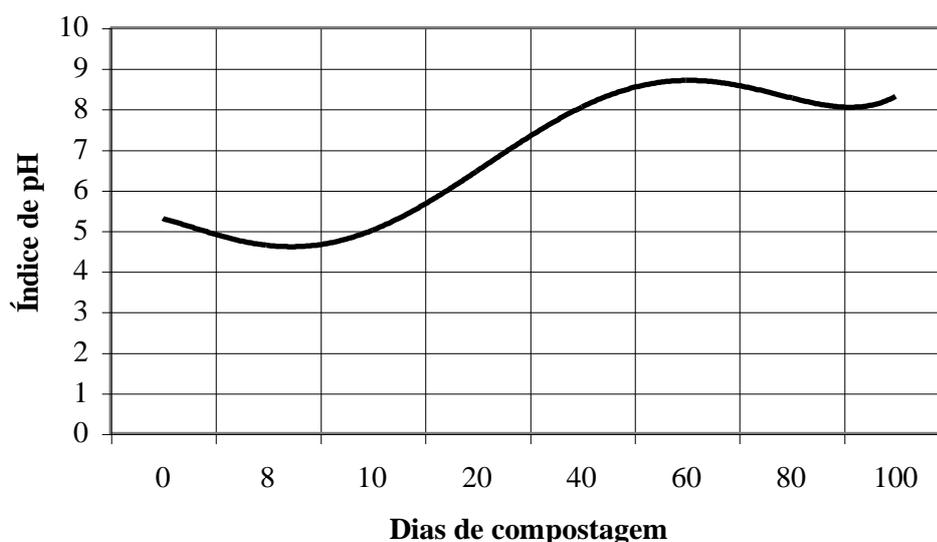


FIGURA 2.5 - Variação do índice pH do composto com o tempo de compostagem. Fonte: (Eira, P.A e P.C.T 1970)

2.2.6 Fatores que conduzem a condições anaeróbias na compostagem

Odores são geralmente um sintoma de que o processo de compostagem não está a ser controlado de uma forma correta.

As causas mais comuns de condições anaeróbias são: a umidade, a porosidade, substratos e a pilha demasiadamente grande. Estas causas são relatadas nas seções seguintes:

2.2.6.1 Umidade

O processo desenvolve-se melhor com teores de umidade da ordem de 40 a 60% em peso.

A decomposição pelos microrganismos ocorre mais rapidamente nos filmes líquidos situados à superfície das partículas orgânicas.

Desta forma, o teor de umidade muito baixo (inferior a 30%) inibe a atividade biológica demasiadamente. A umidade superior a 65% provoca uma decomposição muito lenta provocando

zonas anaeróbias e odores desagradáveis e lixiviados.

Uma análise e teste prático que se usa para ver o teor umidade de um material ou uma mistura materiais que se pretende compostar é; conhecido como teste da esponja. O material deve ter um teor de umidade adequado se estiver tão molhado como uma esponja acabada de espremer.

2.2.6.2 Porosidade Inadequada

A distribuição de partículas, a densidade do material e a porosidade da mistura são o segundo grupo de fatores que podem provocar condições anaeróbias.

Estas características físicas da mistura podem interagir como os elevados teores de umidade reduzindo a transferência de oxigênio; partículas muito pequenas reduzem o número e tamanho dos poros dificultando a passagem de oxigênio.

Misturas com altas densidades, provocadas pela forma e tamanho das partículas ou por compactação (mecânica ou por excesso de peso na pilha) geram também, uma grande dificuldade de circular o oxigênio.

2.2.6.3 Substratos Rapidamente Degradáveis

A difusão de oxigênio está relacionada com a rapidez com que esse elemento químico é gasto, o que por sua vez depende da composição do material a compostar.

Substratos rapidamente degradáveis como restos de comida ou aparas de relva usam oxigênio mais depressa do que este é repostado. Estes substratos consomem oxigênio mais rapidamente que as folhas ou ramos de podas. O consumo de oxigênio é função das características do substrato (razão carbono/nitrogênio, disponibilidade biológica, teor de umidade, tamanho das partículas) e de condições ambientais (temperatura, umidade, concentração de oxigênio, pH).

No caso de estarmos fazendo compostagem de um material que se degrada rapidamente e

que consome muito oxigênio, é necessário fornecer muito ar à leira. Em sistemas de arejamento forçado é fácil fornecer mais ar aumentando o tamanho das bombas ou o tempo durante o qual está funcionando. Em sistemas passivos ou estáticos é preciso reduzir as restrições ao transporte de oxigênio do exterior para o interior da leira.

Uma outra alternativa ou forma usualmente usada é o emprego de restos de comida e aparas de relva (gramados), e de se reduzir o tamanho da pilha (GOLUEKE 1975).

2.2.6.4 Pilha Demasiadamente Grande

A compostagem pode ser feita em sistemas de qualquer tamanho e forma, mas em qualquer deles o tamanho regula a quantidade de calor perdido para o exterior.

Em qualquer tipo de sistema e quaisquer que sejam os materiais utilizados a compostar há sempre uma razão área superficial / volume ótimo. Pilhas demasiadamente grandes, com uma razão pequena entre área superficial/volume, tem tendência de se aquecerem, enquanto que pilhas pequenas não aquecem o suficiente.

Os limites de altura admissíveis para uma pilha variam desde 1 a 2 metros, dependendo dos materiais. Para materiais mais densos, facilmente degradáveis, como restos de comida, aparas de relva e estrume, aconselha-se o limite inferior do intervalo.

Materiais que proporcionam uma estrutura porosa podem ser compostados em pilhas de até 3 metros de altura em sistemas em que o ar é introduzido por um compressor as considerações são equivalentes podem ser adotadas, nestes casos, uma altura da pilha entre 2 a 3 metros.

2.2.7 TEMPO DE COMPOSTAGEM

O tempo necessário para compostar os resíduos orgânicos depende de vários fatores como relação C/N, teor de nitrogênio da matéria-prima, dimensões das partículas, aeração da pilha, número e frequência dos revolvimentos.

Antes de se discorrer sobre o tempo de compostagem é necessário esclarecer qual o produto final que se pretende obter e qual o conceito que se tem sobre as qualidades desse material.

Na literatura norte americana é empregada a expressão "composting" (compostagem em português) como sinônimo de bioestabilização, e "ripening" ou "maturing" como sinônimo de cura, maturação ou humificação.

Há uma diferença entre o conceito de material compostado ou bioestabilizado empregado na América do Norte, segundo o qual esse material "antes da maturação está longe de estar pronto para o uso ou armazenamento".

O conceito exposto coincide com a atual legislação brasileira, pois para os norte americanos o material que sofreu "composting" não deve ser empregado imediatamente como fertilizante, já para nós brasileiros o bioestabilizado, com parâmetros estabelecidos pela lei, pode ser juntado ao solo sem causar danos às sementes ou plantas.

Por experiência sabemos que não se consegue um composto bioestabilizado antes de 30 a 60 dias, ou um humificado antes de 90 a 120 dias.

Estudos realizados na Universidade de Califórnia com resíduos sólidos domiciliares passados por moinhos e compostados em pilhas aeróbias com umidade abaixo de 70 %, estão na Tab. 2.9 e indicaram os seguintes tempos de compostagem para "estabilização" de materiais com diferentes relações C/N:

TABELA 2.9 - Tempos de Compostagem para "Estabilização" de Materiais com Diferentes Relações C/N

Relação C/ N inicial	Tempo de Compostagem
20/1	9 a 12 dias
30/1 a 50/1	10 a 16 dias
78/1	21 dias

Fonte: (KIEHL 1979-a).

Examinando os resultados analíticos contidos na Tab. 2.10 verifica-se que após os citados

tempos de compostagem, as relações C/N finais nem sempre correspondem às condições de composto bioestabilizado.

TABELA 2.10 - Mostra que a bioestabilização se completa quando a relação C/N alcança o valor 17/1 e a humificação o valor de 10/1

Relação C/N inicial	Relação C/N final	Dias de Compostagem
20/1	19/1	14
22/1	19/1	14
28/1	19/1	16
30/1	23/1	15
35/1	24/1	16
50/1	24/1	16
78/1	35/1	21
78/1	37/1	21

Fonte: (KIEHL 1995)

Relações carbono/nitrogênio altas correspondem, geralmente, a baixas porcentagens de nitrogênio, em torno de 0,5 %, caso em que haverá reciclagem desse elemento pelos microrganismos para que o processo entre em estabilização, alongando assim o tempo de compostagem. Partículas grosseiras necessitam de maior prazo para serem demolidas pelos microrganismos, sendo a demolição ajudada pelos revolvimentos.

As decomposições anaeróbias são mais demoradas que as aeróbias e o excesso de umidade retarda o processo e a falta de água paralisa a fermentação. O formato e as dimensões das pilhas também interferem no andamento do processo.

Os revolvimentos se forem feitos manualmente, com pá carregadeira ou com máquinas especiais, e influenciam no tempo de compostagem a temperatura e o pH, como é verificado nas Figs. 2.6 e 2.7.

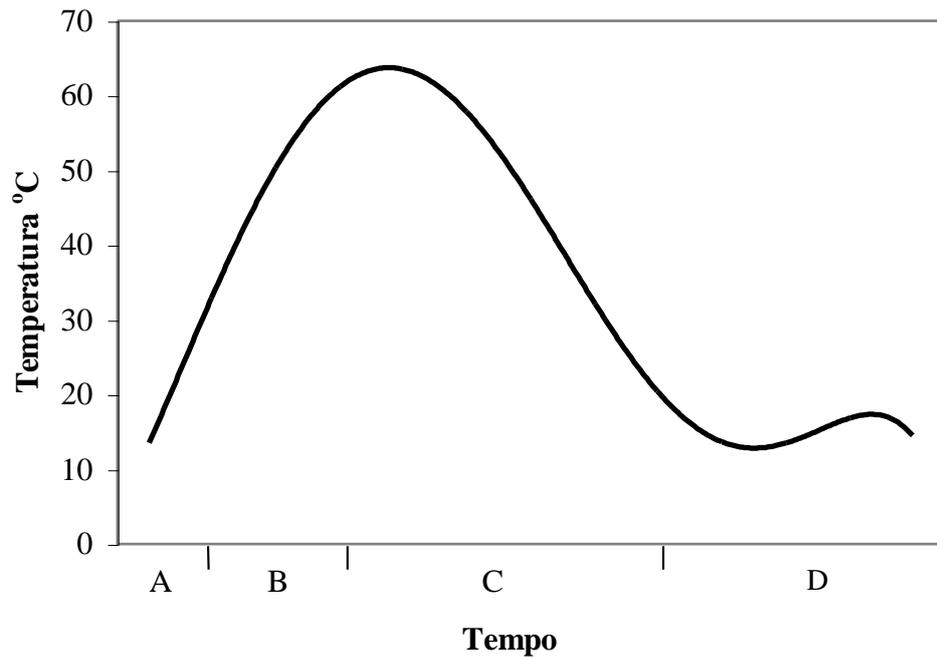


FIGURA 2.6 - Relação entre tempo de compostagem e temperatura. Fonte: (KIEHL 1995)

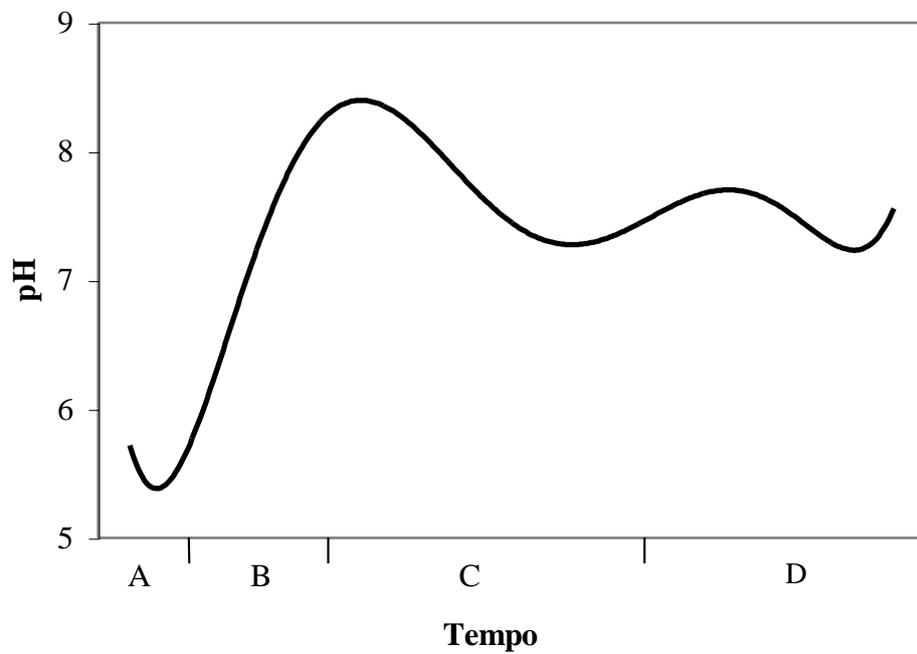


FIGURA 2.7 - Relação entre tempo de compostagem e índice de pH. Fonte: (KIEHL 1995)

O tempo de compostagem para muitas situações não tem grande importância, nas usinas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares e de lodo de esgotos, por exemplo, o composto é preparado durante todo o ano, porém como as vendas são reduzidas nas entre-safras, há tempo suficiente para uma decomposição mais prolongada. Nas fazendas o tempo de compostagem também pode ser fator secundário, pois se prepara o fertilizante o ano todo para ser empregado apenas em determinada época.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Sistema Integrado de Geração Biogás e Fertilizante Orgânico

Neste sistema integrado de geração biogás e fertilizante orgânico visa diminuir o acúmulo grande volume de resíduos provenientes das explorações ou produções agrícolas e pecuárias de alguma propriedade. Estes apresentam uma carga poluente de tal forma elevada que impõe a criação de soluções práticas que permita, diminuir os danos provocados por essa poluição da própria propriedade conseqüentemente gastando o mínimo de energia possível em todo o processo. Portanto desta forma o sistema integrado utilizando um biodigestor na fazenda pode contribuir por intermédio da fermentação anaeróbica (metânica), que além da capacidade de despoluir, permite valorizar um produto energético (Biogás) e ainda obter um fertilizante que pode ainda voltar para o próprio sustento da terra e também contribuir com disponibilidade de uma rápida amortização dos custos da tecnologia instalada na pequena propriedade.

3.2 Descrição do Processo Integrado de Produção de Biogás e Compostagem

Neste sistema integrado proposto na Figura 3.1 os resíduos sólidos gerados na pequena propriedade como esgoto doméstico e animal podem sofrer um processo completo de tratamento baseado na separação dos sólidos (tratamento) e conseqüentemente do produto final seria um fertilizante orgânico que voltaria para adubar a terra da própria propriedade agrícola, em seguida um processo digestão anaeróbia (bioestabilizador) baseado na Figura 3.2, em que o produto depois de passado na etapa de separação sofra uma digestão anaeróbia produzindo um gás (metano) para o reaproveitamento sustentável da propriedade.

Este sistema integrado compreende basicamente, os seguintes processos que podem ser propostos neste trabalho e seriam as suas principais funções: captação do esgoto doméstico e

animal, armazenamento, espalhamento, separação dos sólidos, digestão anaeróbica, aproveitamento do biogás, tratamento aeróbio e o processo de irrigação.

As principais características de cada processo baseadas na Figura 3.1 podem ser descritas abaixo:

1-Captação do esgoto bruto (animal e domestico)

Os resíduos sólidos provenientes do esgoto domiciliar e animal (esgoto bruto) seriam captados por um sistema de bombeamentos até a unidade de separação dos sólidos.

2-Armazenamento

Os resíduos sólidos provenientes do esgoto domiciliar e animal seriam captados e armazenados num reservatório.

3-Espalhamento

Os resíduos sólidos provenientes do armazenamento em um reservatório seriam captados por um sistema bombeamento onde depois poderiam ser espalhados na terra por um sistema transporte tracionado.

4-Separação dos Sólidos

Na unidade de separação de resíduos sólidos provenientes dos esgotos domiciliares e animais são separados os sólidos do líquido. Onde o material sólidos é destinado para o sistema de compostagem para ser inserido na terra para adubação e material líquido e enviado por sistema de bombeamento para a unidade de biodigestão onde ocorre a fermentação biológica.

5-Digestão Anaeróbia ou Bioestabilização.

Esta é a parte mais importante do sistema, onde os resíduos orgânicos líquidos provenientes da unidade de separação de sólidos são fermentados ou biodigeridos para formar o gás

metano.

O bioestabilizador é um cilindro metálico com sistema de aquecimento por serpentina. O tempo de retenção da massa líquida no bioestabilizador varia. Neste período, a temperatura, umidade e pH são controlados.

Para que a decomposição se realize de forma aeróbia, introduz-se também ar na massa. As condições especiais inerentes ao sistema o tornam eficientes e bastante ágil em relação aos outros sistemas.

A produção de biogás ou aproveitamento de biogás é visto na Figura 3.2, onde com a entrada do esgoto bruto já separado dos resíduos sólidos, através de um sistema de bombeamento no topo de cilindro e com o aquecimento através de uma serpentina faz com que se produza biogás na saída do topo de cilindro e este é captado até uma unidade armazenamento de gás (metano). O que não é aproveitado sai como efluente onde será tratado aerobicamente.

O gás misturado (metano, sulfídrico e carbônico) proveniente da unidade armazenamento de gás é levado à unidade de mistura, onde uma parte volta pelo fundo do biodigestor e a outra é enviada para a unidade de controle (caldeira, painel de controle e geradores) que fazem a separação da mistura e conseqüentemente a produção de biogás, e também manter funcionando o sistema de serpentina instalado no biodigestor.

6-Aproveitamento do Biogás

Esta é unidade capta o gás metano da unidade controle e distribui para propriedade agrícola.

7-Tratamento Aeróbio

Neste processo o efluente não aproveitado no biodigestor é enviado para unidade tratamento aeróbico, onde será tratado e destinado no processo de irrigação da propriedade.

8-Processo de Irrigação

Nesta etapa todo efluente tratado é captado por sistema bombeamento e posteriormente levado para irrigar geralmente alguma área plantada da propriedade.

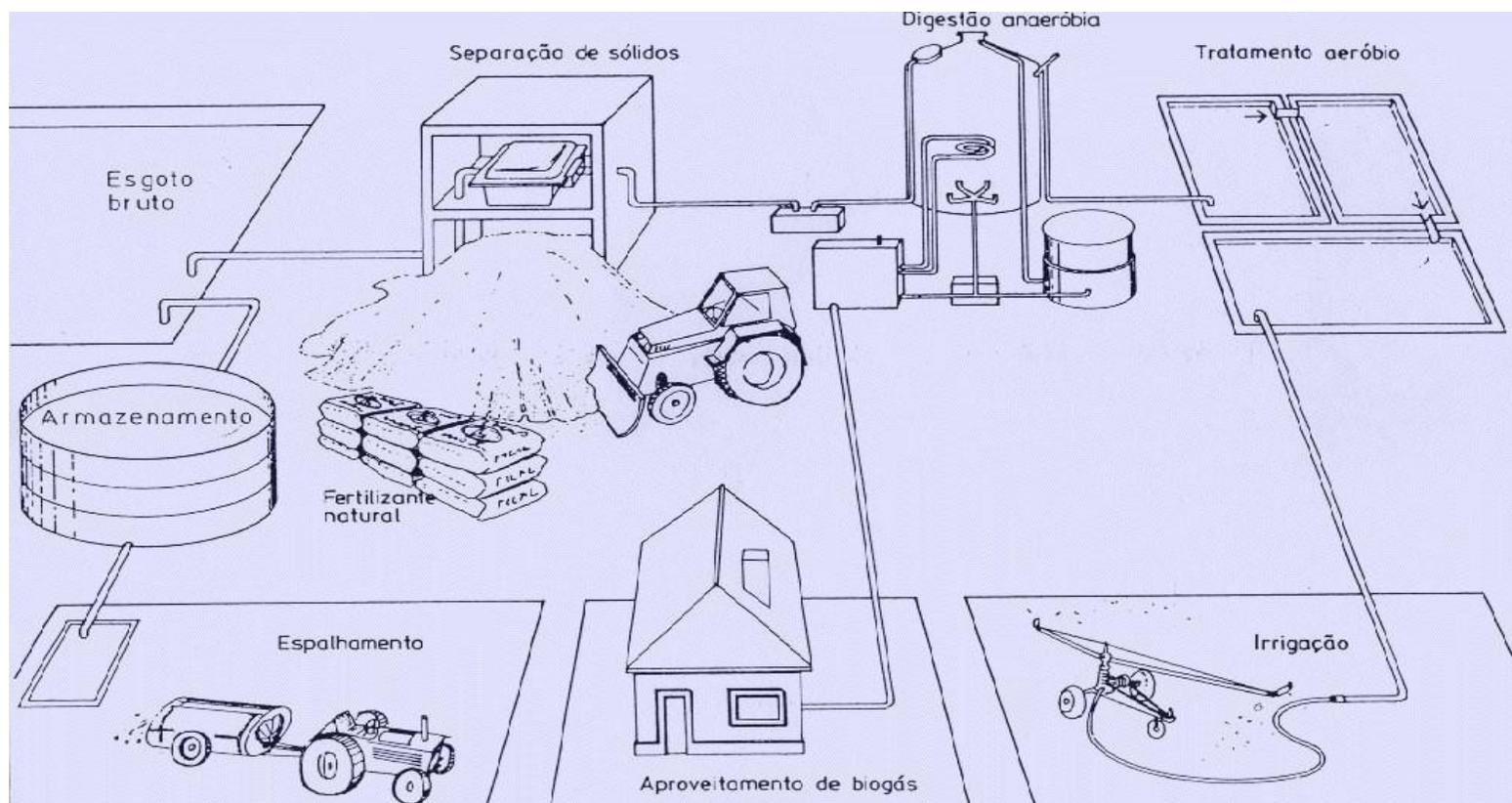


FIGURA 3.1 - Sistema Integrado de Produção de Biogás e Compostagem

Fonte: (Departamento Engenharia Mecânica –Universidade Federal Minas Gerais-2004)

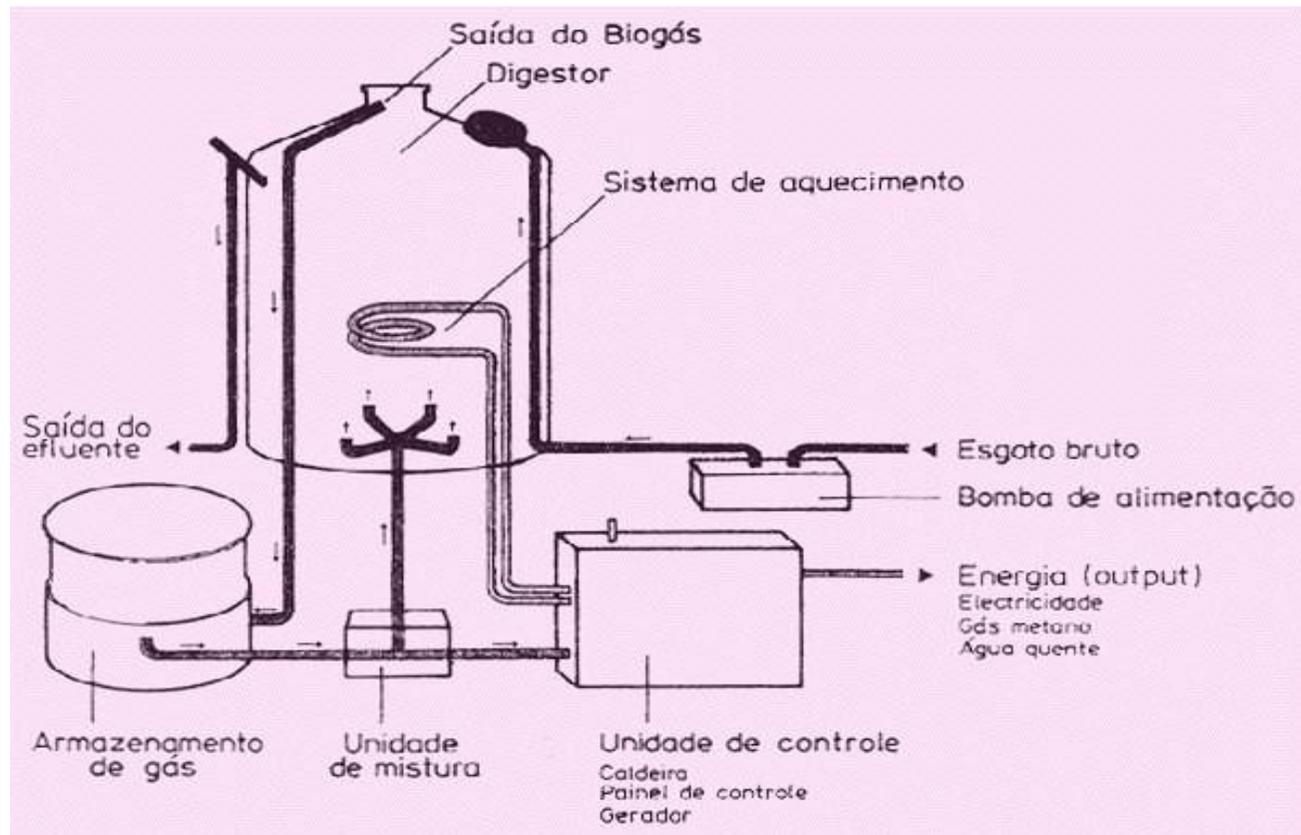


FIGURA 3.2 - Sistema Produção de Biogás

Fonte: (Departamento Engenharia Mecânica –Universidade Federal Minas Gerais-2004)

4. RESULTADOS E DISCUSÃO

Com a técnica do biodigestor, o produtor rural pode transformar sua propriedade rural em uma excelente alternativa energética, além de obter um excelente e poderoso adubo orgânico.

Desenvolvendo e aplicando esta técnica sugerida neste trabalho em sua propriedade biodigestor, o produtor rural pode, entre outras facilidades, tornar-se auto-suficiente em termos de energia.

O gás metano, apesar de vir misturado a gases como o carbônico, que não queima, e o sulfídrico, que é um pouco corrosivo, nos casos em que é usado na forma de queima direta, não precisa ser filtrado. A filtragem, por ser um processo dispendioso, só é aconselhada quando o metano tiver que ser engarrafado.

A matéria-prima que pode ser mais utilizada no biodigestor, o esterco animal (bovinos, suínos, aves etc.) e esgoto doméstico (fossa) pode ser adquirida sem qualquer despesa pelo produtor.

Com o emprego do biodigestor, aquele esterco e esgoto podem ser recolhidos diariamente dos estábulos, pocilgas e fossas, que muitas vezes é jogado nos rios, ou então simplesmente amontoado num canto, ganha novo destino. Assim, além de produzir biogás e biofertilizante, o biodigestor resolve também o problema de saneamento da propriedade, erradicando o mau cheiro, a proliferação de moscas e diminuindo a poluição dos recursos hídricos.

O biofertilizante, produzido na compostagem (também usado como adubo), apresenta como vantagem uma concentração maior de nitrogênio, fósforo e potássio, macronutrientes importantes para a fertilização do solo e possuir também ou constituir de partículas menores. Assim, outra de suas vantagens é a sua maior capacidade de retenção de umidade no solo. É um material que não apresenta mau cheiro, evitando, dessa forma, a presença de moscas e outros insetos. Ele pode ser utilizado em pastagens, ou em qualquer plantação, substituindo com eficácia outros tipos de adubos.

Além de representar uma grande economia para o produtor, com o aumento de produtividade das culturas e a redução do uso de adubo químico, o biofertilizante diminui a propagação de pragas.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho propõe-se tratar da geração de biogás e fertilizante juntos utilizando uma usina de compostagem de pequeno porte no meio rural, através de resíduos sólidos animais e domiciliares da própria propriedade, procurando sempre demonstrar os processos e as técnicas possíveis baseados nas figuras 3.1 e 3.2, que foram utilizados como padrão para acompanhar a quantidade de gás produzido para consumo e o grau de decomposição do composto e que podem ser realizados no campo, bem como o controle da decomposição e a forma do controle do tempo de compostagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1-BREINDENBACH, A. W. Composting of municipal solid wastes in the United States. U. S. Environmental Protection Agency, 1971.
- 2- EIRA, P. A. e P. C. T. de Carvalho. A decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos do solo e sua influencia nas variações do pH. Revista de Agricultura, 45: 15-21, 1970.
- 3- KIEHL, E. J., Fertilizantes Orgânicos. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda., 1995.
- 4- KIEHL, E. J, Fertilizantes Organominerais. Piracicaba, Editora Degaspari, 1999.
- 5- KIEHL, E. J., Manual de Compostagem. Piracicaba, Editora Degaspari, 1998.
- 6- KIEHL, E. J. Matéria Orgânica na Agricultura, ESALQ - USP, Piracicaba, 1979-a.
- 7-LIMA-E-SILVA, P.P.; GUERRA, A.J.T.;MOUSINHO, P.; SOUZA JR., A.B. *Dicionário brasileiro de ciências ambientais*. 2. ed. Rio de Janeiro: Thex Ed., 2002.
- 8-LIMA , L. M .Q , Lixo Tratamento e Biorremediação. São Paulo , Hemus Editora Ltda.,1995.
- 9-GOLUEKE , C. G. Composting , a review of rationale principles , and public health. *Compost Science* , 17 (3) : 11 -14 , 1975.
- 10-LIMA , L. M .Q , Lixo Tratamento e Biorremediação. São Paulo , Hemus Editora Ltda.,1995.
- 11-LIMA , L .M .Q . "O Tratamento do Lixo no Brasil " , 1º Simpósio paranaense sobre destinação final de resíduos sólidos urbanos , Curitiba , 1983
- 12-ALANO OLIVEIRA RUAS, ANDRE TOLEDO LAENDER, GERALDO BARBOSA DE OLIVEIR, SEGUNDO JUAN CARLO MILEIB RAMIRES, RODRIGO CESAR JUNQUEIRA MOREIRA. Departamento Engenharia Mecânica –Universidade Federal Minas Gerais-2004
- 13-SITE INTERNET. www.pt.wikipedia.org/wiki/Biogás, www.cetesb.sp.gov.br/biogas/default, www.cenbio.org.br/pt/downloads/papers/aterro.pdf, www.ibam.org.br/publique/media/Boletim2a.pdf