

Contextualização teórica: compostagem e vermicompostagem

Tatiane Cristina Dal Bosco

Flávia Gonçalves

Francine Conceição de Andrade

Ivan Taiatele Junior

Jaqueline dos Santos Silva

Mariana Sbizzaro

1 Potencialidades para a prática de compostagem e vermicompostagem

O Decreto nº 7.404/2010, que regulamenta a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), determina uma escala de prioridades (Figura 1.1) para as ações que envolvem o gerenciamento dos resíduos sólidos: deve-se, inicialmente, evitar a geração de resíduos de qualquer natureza (não geração), ou pelo menos gerá-los em menor quantidade (redução); em seguida, o reaproveitamento dos resíduos para outras utilidades deve ser otimizado (reutilização), mesmo que para isso necessitem ser reprocessados (reciclagem); para aqueles resíduos que não são passíveis de reciclagem, tratamentos adequados devem ser aplicados de modo a reduzir seu impacto ao meio ambiente; por fim, apenas os resíduos que configuram como rejeitos, não existindo nenhuma tecnologia que torne viável seu tratamento, devem ser adequadamente dispostos em aterros sanitários (BRASIL, 2010a).



Figura 1.1 Escala de prioridades para o gerenciamento dos resíduos sólidos.

Fonte: Adaptado de Brasil (2010a).

Nota¹: RS: Resíduos Sólidos.

Nota²: Disposição final ambientalmente adequada.

Nota³: O tamanho da fonte, assim como a coloração em *dégradé*, foram propositalmente utilizados de modo a ilustrar a escala de prioridades decrescente da esquerda para a direita.

De modo especial, os resíduos orgânicos gerados nos domicílios encontram-se no quinto patamar da escala de prioridades da PNRS – Tratamento dos RS –, uma vez que sua geração é inevitável, por se constituir basicamente de restos de comida, e seu reprocessamento ainda não é possível diante da tecnologia disponível atualmente e da forma como os municípios realizam a coleta dos resíduos. Dentre os tratamentos possíveis para os resíduos orgânicos estão a compostagem, a biodigestão anaeróbia e a incineração.

Além de ser considerada uma destinação ambientalmente adequada, a compostagem possui diversas outras vantagens, que dependem da abrangência de implementação da técnica. Localmente, pode-se ressaltar que o processo resulta em um composto final rico em matéria orgânica humificada que pode ser utilizado como fertilizante para o plantio de diversas espécies vegetais, inclusive alimentícias¹. Já a compostagem realizada em âmbito municipal prolonga a vida útil do aterro sanitário, uma vez que a matéria orgânica constitui uma fração significativa dos resíduos sólidos urbanos, a qual deixaria de ser destinada às células do aterro. Outro benefício que essa técnica apresenta, principalmente quando aplicada em escalas maiores, é a redução do potencial poluidor dos Gases de Efeito Estufa (GEE's), já que o gás carbônico evoluído do processo aeróbio de compostagem é cerca de 20 vezes menos poluente que o metano, gás emitido no processo anaeróbio convencional no interior de aterros (OECD, 2014).

1 Ressalta-se que, para o composto orgânico ser utilizado como fertilizante, o mesmo deve ser submetido a diversas análises laboratoriais, devendo estar de acordo com os parâmetros estabelecidos pela Instrução Normativa nº 25 (MAPA, 2009).

Algumas realidades podem se mostrar mais adequadas para a implantação e prática da compostagem como tratamento de resíduos sólidos. Nesse sentido, pode-se elencar algumas circunstâncias das quais depende a potencialidade de aplicação dessa técnica: a geração de resíduos orgânicos, o teor de umidade desses resíduos e a demanda pelo composto final.

Como a compostagem é aplicada somente à fração orgânica dos resíduos sólidos, obviamente é necessário que exista uma geração suficiente desse tipo de resíduo que justifique a implantação da técnica. Uma forma de se verificar isso é por meio da análise da composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados. A partir dessa análise, se obtém uma estimativa de geração de cada tipo de resíduo (reciclável, orgânico, rejeito, etc.), sendo possível assim saber a contribuição apenas da fração orgânica. Quanto maior essa contribuição – diante do total de resíduos – maior será a potencialidade de aplicação da compostagem.

Algumas características dos resíduos sólidos orgânicos devem ser levadas em consideração, em especial a umidade. Isso porque os microrganismos envolvidos no processo aeróbio da compostagem necessitam de concentrações adequadas de água no meio para se desenvolver e, conseqüentemente, realizar a degradação da matéria orgânica. Teores de umidade na faixa de 40 a 70% são apontados na literatura como ideais para que o processo ocorra em condições ótimas (KIEHL, 2004).

Resíduos muito secos não impossibilitam a compostagem, pois uma correção pode ser feita pela adição de água até que se atinja a faixa ideal. Por outro lado, resíduos com teor de umidade muito elevado dificultam a realização da compostagem, sendo nesse caso, mais apropriado um tratamento anaeróbio. Resíduos de esgotamento sanitário, águas residuárias provenientes da higienização de baias de animais ou até certos efluentes industriais, por exemplo, são resíduos ricos em matéria orgânica, porém, devido à grande quantidade de água em sua composição, indica-se que sejam tratados por meio de processos anaeróbios, como reatores biológicos, biodigestores, entre outros tratamentos.

Como já dito, o processo de compostagem resulta em um substrato rico em matéria orgânica, que pode ser utilizado como fertilizante. Obviamente, mesmo que isso não aconteça, as outras vantagens da utilização da compostagem ainda justificam a adoção dessa técnica, uma vez que o composto final já possui volume e massa muito menores que o inicial, podendo ser utilizado ao menos como cobertura diária das valas de um aterro sanitário, por exemplo. Porém, isso configuraria um verdadeiro desperdício, já que o material resultante da compostagem pode ser melhor aproveitado quando empregado ao solo em áreas de plantio. Por essa razão, realizar um estudo de demanda desse composto final é fundamental para seu melhor aproveitamento.

1.1 Potencialidade para a compostagem no Brasil

Ao se verificar a realidade dos resíduos sólidos no Brasil, percebe-se que a potencialidade de aplicação da compostagem é alta, a começar pela grande geração de resíduos orgânicos. No âmbito dos resíduos sólidos domiciliares, por exemplo, a fração orgânica chega a representar mais da metade do total coletado no país, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2013). Mais precisamente, a contribuição da matéria orgânica diante do total de resíduos coletados em todo Brasil chega a 51,4%, o que justifica uma alta potencialidade de aplicação da compostagem como tratamento dessa parcela dos resíduos sólidos domiciliares nos municípios brasileiros (Figura 1.2).

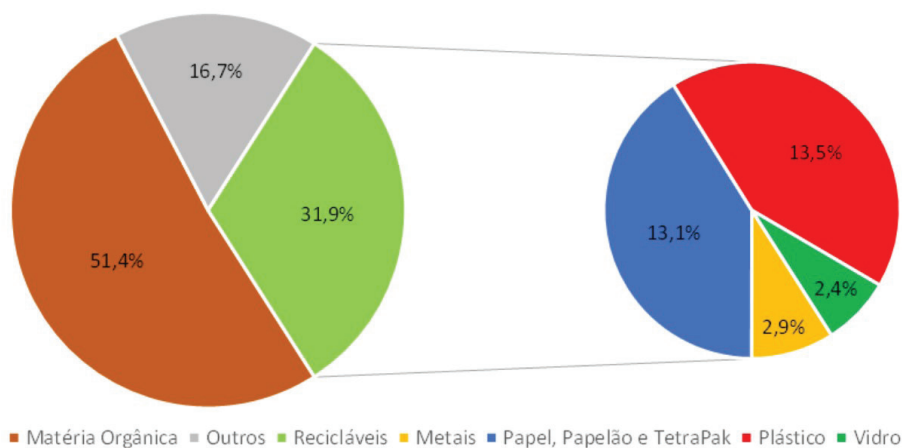


Figura 1.2 Estimativa da composição gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos coletados no Brasil em 2012.

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2013).

Além dos resíduos sólidos urbanos, também há grande geração de resíduos orgânicos no âmbito rural. Os resíduos agrossilvopastoris, como são classificados pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos, são constituídos basicamente de matéria orgânica por abrangerem subprodutos da indústria agropecuária (BRASIL, 2010b). Soma-se a isso o fato de que o Brasil é um país cuja economia gira em torno da agroindústria, que é responsável pela geração de grande quantidade de subprodutos diversos, boa parte atualmente sem reaproveitamento. Estima-se a geração anual de 291,2 milhões de toneladas de resíduos pela agroindústria associada às treze principais culturas brasileiras. Desse total, 201,4 milhões de toneladas são gerados apenas pela cultura de cana-de-açúcar, ou seja, cerca de 69,2% (IPEA, 2012a). Portanto, existe também uma alta potencialidade de imple-

mentação da compostagem como destinação para os resíduos agrossilvopastoris gerados no Brasil.

Pode-se apontar ainda a demanda que o setor agroindustrial possui de fertilizante para o solo, vinculados aos altos custos associados a sua aquisição. Em 2015, mais de 30,2 milhões de toneladas de fertilizante foram comercializados no Brasil. O país também importou cerca de 21,1 milhões de toneladas de fertilizante no mesmo ano. Ou seja, se considerado que todo o fertilizante importado em 2015 chegou ao consumidor final no mesmo ano, pode-se afirmar que cerca de 70% de todo o fertilizante consumido no Brasil adveio de matéria-prima importada (ANDA, 2016). Dessa forma, a utilização de composto orgânico – seja ele advindo do tratamento de resíduos urbanos ou rurais – como fertilizante na agricultura representa um grande potencial de redução desses custos.

Contrariando a escala de prioridades determinada pela PNRS, o gerenciamento de resíduos sólidos da maioria dos municípios brasileiros acaba por deslocar os resíduos orgânicos domiciliares para o último patamar – disposição em aterros sanitários. Um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012b) mostra o baixo investimento do governo brasileiro no tratamento de resíduos orgânicos via compostagem: apenas 211 municípios possuem usinas de compostagem, conseguindo processar cerca de 1,61% do total de resíduos orgânicos coletados em todo país. Ou seja, quase todo o resíduo orgânico gerado no Brasil ainda é destinado, junto aos rejeitos, a aterros sanitários, ou pior, a aterros controlados e lixões. Isso só reforça o alto potencial existente para a implementação da compostagem em todo território nacional.

2 Compostagem

A compostagem é um processo biológico aeróbio, exotérmico e controlado onde substratos orgânicos são decompostos por meio da ação de microrganismos, com liberação de gás carbônico (CO₂) e vapor de água, produzindo, ao final, um produto estável, rico em matéria orgânica e mais humificado, com propriedades e características diferentes do material que lhe deu origem (KIEHL, 1985; KIEHL, 2004; REIS, 2005).

A compostagem de resíduos orgânicos apresenta diversas vantagens ambientais dentre as quais podem ser destacadas: a decomposição de matéria orgânica potencialmente putrescível para um estado estável, a reciclagem de nutrientes, o aumento da vida útil de aterros sanitários e a redução na emissão de gás metano resultante de processos anaeróbicos de decomposição (MASSUKADO, 2008; INÁCIO et al., 2009).

No entanto, por se tratar de um processo biotecnológico, a eficiência da compostagem é determinada pela ação e interação dos microrganismos, que são

dependentes da ocorrência de condições favoráveis dos fatores temperatura, aeração, umidade, relação carbono/nitrogênio (C/N), pH e granulometria do material. As implicações de cada um destes fatores na realização da compostagem de resíduos orgânicos estão descritas a seguir.

2.1 Parâmetros de controle do processo de compostagem

2.1.1 Microrganismos envolvidos no processo

A matéria orgânica é o habitat de vários microrganismos que utilizam de seus minerais, compostos orgânicos, água e oxigênio para crescimento e atividades metabólicas (FIALHO, 2007).

Conforme Kiehl (2004) os principais microrganismos presentes no processo da compostagem são bactérias, fungos e actinomicetos, porém outros organismos (não necessariamente na escala micro) como algas, protozoários, nematóides, vermes, insetos e larvas podem vir a aparecer também, dependendo principalmente das características do material a ser compostado. Esses microrganismos normalmente já se encontram nos resíduos, sendo que o processo de compostagem promove um ambiente com condições favoráveis de umidade, nutrientes e oxigênio para que eles possam degradar e estabilizar a matéria orgânica.

Nas leiras de compostagem, as bactérias têm a função de decompor açúcares, amido, proteínas e outros compostos de fácil decomposição, atuando principalmente na fase termofílica do processo e, por isso, são consideradas por alguns autores como as responsáveis pela liberação de calor. Além disso, são responsáveis pela disponibilização de nutrientes e fixação de nitrogênio. Elas possuem também uma vasta dieta devido à grande diversidade de enzimas que produzem e pela sua rápida reprodução, o que as tornam o grupo mais numeroso presente no composto (de 80 a 90% dos bilhões de microrganismos por grama de composto) (MASSUKADO, 2008).

Os fungos são menos numerosos, mas superiores em biomassa. São fundamentais por destruírem a celulose, facilitando a ação das bactérias. São os mais favorecidos quando o processo ocorre ou permanece em condições ácidas ($\text{pH} < 5$), conseguindo degradar resíduos mais secos ou pobres em nitrogênio. Os fungos destroem, sobretudo, o exterior da pilha, mas as hifas têm capacidade de colonizar também o interior devido ao seu crescimento vigoroso (FIALHO, 2007).

Já os actinomicetos, bactérias filamentosas semelhantes a fungos no aspecto, são afetados por condições ácidas. Também são importantes para a decomposição da celulose, hemicelulose, quitina e proteínas, podendo atacar madeira, cascas e papel. Uma característica muito específica destes microrganismos é a

responsabilidade pelo odor de “terra fresca” quando próximo do final do processo (MASSUKADO, 2008). Muitas das espécies de actinomicetos são termofílicas, com temperatura ótima de 55°C (LACEY, 1997).

Durante as etapas da compostagem há uma sucessão de predominância de microrganismos que varia conforme as características do composto, como o teor de umidade, a disponibilidade de oxigênio, a temperatura (selecionando microrganismos mesófilos e termófilos), relação C/N e pH (KIEHL, 1985).

Durante a fase mesófila de aquecimento há predomínio de bactérias e fungos mesófilos produtores de ácidos. Na fase termofílica as bactérias, fungos e actinomicetos termofílicos são predominantes (KIEHL, 1985). Nessa fase as bactérias heterotróficas apresentam um pico em seu crescimento populacional, devido à grande disponibilidade de compostos de moléculas simples de fácil digestão, tornando a atividade desses microrganismos intensamente ativa. A degradação inicial do composto pelos microrganismos torna o meio acidificado devido à liberação de ácidos orgânicos, propiciando o desenvolvimento de fungos. A redução da disponibilidade de moléculas simples de fácil digestão no composto faz com que haja a redução da população de bactérias e da temperatura do material (fase mesófila de resfriamento). O meio acidificado e a disponibilidade de compostos mais complexos propicia o crescimento da população de fungos. Além disso, a redução populacional de bactérias contribui para o desenvolvimento de fungos, visto que estes são mal competidores. Em relação aos actinomicetos, apesar da maioria das espécies serem termofílicas (LACEY, 1997), esses microrganismos predominam na fase de maturação, junto com os fungos, desempenhando papel importante na decomposição da celulose e outros materiais mais resistentes, que são atacados depois da digestão das moléculas de digestão mais fácil (KIEHL, 1985).

2.1.2 Temperatura

A compostagem caracteriza-se por ser um processo exotérmico de degradação de resíduos orgânicos, porque gera calor em consequência da atividade microbiana (KIEHL, 1985). Assim, a temperatura é importante principalmente no que diz respeito à rapidez do processo de biodegradação do material e à eliminação dos possíveis patógenos presentes (COSTA et al., 2009). Ressalta-se que a manutenção da temperatura elevada (50 e 75°C) no início do processo, bem como com um tempo de exposição suficiente, é fundamental para a eliminação de algumas espécies (VALENTE et al., 2009).

A temperatura varia durante o processo de compostagem. Inácio et al. (2009) referem-se a quatro fases principais (Figura 1.3): fase mesófila de aquecimento, fase termofílica, fase mesofílica e de resfriamento e maturação.

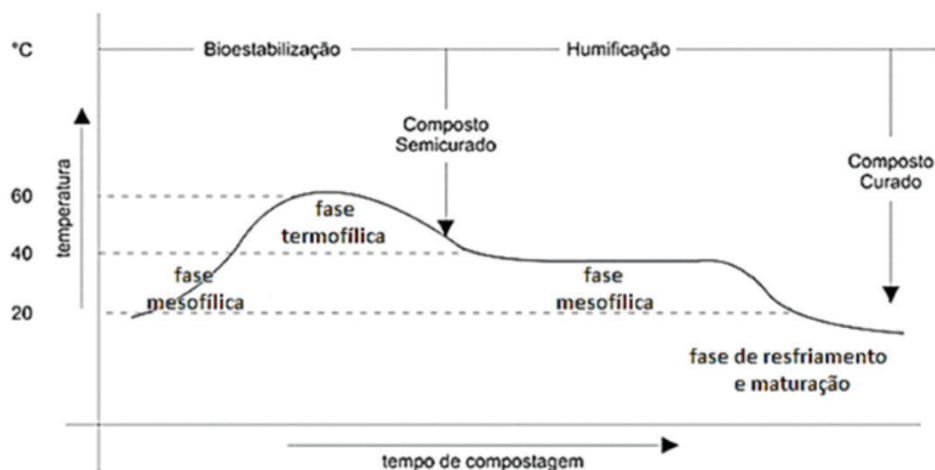


Figura 1.3 Perfil idealizado da temperatura durante o processo da compostagem.

Fonte: Adaptado de Kiehl (1985).

Kiehl (1985) destaca que as faixas de temperatura definem o predomínio de determinados grupos de microrganismos, sendo eles classificados em: criofílicos (temperatura ambiente $\sim 25^{\circ}\text{C}$), mesofílicos (algo em torno de $30\text{-}45^{\circ}\text{C}$) e termofílicos (acima de 50°C). Kiehl (2004) ainda destaca que quando mantidas por longos períodos temperaturas superiores a 70°C torna-se reduzida a atividade dos microrganismos. Já valores em torno de 80°C resultam na paralisação do processo e risco de combustão espontânea do material compostado.

A primeira fase, conhecida como mesofílica (de aquecimento), tem duração de poucos dias e fornece condições necessárias para que o processo se inicie. Durante sua manutenção predominam temperaturas moderadas, entre 30 e 45°C . No início do processo ocorre a expansão das colônias de microrganismos mesofílicos que utilizam os componentes solúveis e rapidamente degradáveis da matéria orgânica e propiciam um aumento gradativo na temperatura. Com a elevação da temperatura, os microrganismos mesofílicos tornam-se menos competitivos, dando espaço para a proliferação dos microrganismos termofílicos, atingindo-se assim a fase termofílica (VALENTE et al., 2009).

A segunda fase de temperatura evidenciada pela compostagem é a fase termofílica. É nesta fase que o material atinge a temperatura máxima, geralmente maior que 55°C . Neste momento é que ocorre a máxima decomposição dos compostos orgânicos, sendo considerada uma fase de degradação ativa. Há formação de água metabólica e manutenção da geração de calor e vapor d'água (PEREIRA NETO, 2007). Esta fase tem tempo de duração de acordo com as características do material que está sendo compostado.

Somente quando o substrato orgânico é em sua maior parte degradado é que a temperatura volta a decair (fase mesofílica de resfriamento) e a população termofílica tende a ser desativada, fazendo com que a atividade biológica reduza significativamente e os microrganismos mesofílicos voltem a se instalar (ANDREOLI et al., 2001). Esta é a fase de degradação das substâncias orgânicas mais resistentes e perdas mais intensas de umidade. Neste momento também se inicia o processo de humificação e maturação da matéria orgânica.

Ressalta-se que os intervalos de temperatura que caracterizam as fases mesofílicas e termofílicas são variáveis e dependentes de outros fatores como a composição química do material a ser compostado, granulometria, dimensões da leira, disponibilidade de oxigênio, teor de umidade, entre outros (BARREIRA, 2005; MASSUKADO, 2008).

Por fim, a maturação é a última etapa da degradação do material na compostagem. Para este momento o oxigênio requerido é menor, a temperatura tem valor próximo à temperatura ambiente e há a mineralização da matéria orgânica. A atividade microbiana decai. A decomposição ocorre a taxas muito baixas e o composto já apresenta propriedades físico-químicas e biológicas desejáveis à aplicação no solo e pode ser denominado “maturado”, propício para liberar nutrientes (KIEHL, 2004; MASSUKADO, 2008; INÁCIO et al., 2009).

2.1.3 Nível de oxigênio – Aeração

A compostagem é um processo fundamentalmente aeróbico, ambiente este que propicia uma decomposição mais rápida de matéria orgânica, podendo ser o oxigênio, então, um fator limitante para o processo (KIEHL, 1985).

A aeração de uma leira de compostagem, segundo Fernandes e Silva (1999), é responsável por atender principalmente aos objetivos de: aumentar a porosidade do meio, que sofre compactação natural devido seu próprio peso; diminuir o teor de umidade dos resíduos; expor as camadas externas às temperaturas mais elevadas e também eliminar o calor excessivo do interior da leira, ou seja, controlar a temperatura do processo. Além disso, Kiehl (2004) salienta que na presença de oxigênio livre há ausência de maus odores e o tempo de degradação é mais rápido.

A quantidade necessária de oxigênio para a compostagem depende do estágio em que ela se encontra. Nas primeiras etapas, de rápida degradação, verifica-se uma grande necessidade para a realização adequada do processo. Já nas etapas finais, com a redução da atividade microbiana, preferem-se condições menos oxidativas, fazendo com que a necessidade decaia (SHARMA et al., 1997; ANDREOLI et al., 2001). Segundo Fernandes e Silva (1999) são necessárias 2g de oxigênio por grama de sólidos voláteis biodegradáveis para oxidação da matéria orgânica biodegradável. Para dimensionamento de equipamentos eletro-mecâni-

cos de insuflamento de ar em leiras recomendam-se valores de 0,3 a 0,6 m³ de ar por quilograma de sólidos voláteis por dia (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Kiehl (2004), Barreira (2005) e Massukado (2008) afirmam que os revolvimentos devem ser feitos obrigatoriamente em algumas situações, como por exemplo, quando a temperatura estiver muito elevada (acima do 70°C), quando a umidade estiver acima de 55-60% ou quando há presença de moscas e maus odores. Porém, Kiehl (2004) ressalta que em condições de aparente normalidade (de temperatura e umidade), que não se tenha realizado revolvimento a um período considerável, é indicado fazê-lo para que se introduza ar rico em oxigênio e se libere o ar saturado de gás carbônico. Assim, a proposição de intervalos pré-fixados para o revolvimento também é válida. O mesmo autor ainda ressalta que as partes da leira que devem merecer maior atenção durante o revolvimento são as mais externas, expostas ao sol e ao vento, mais frias e ressecadas.

2.1.4 Umidade

A umidade é um fator importante a ser controlado, pois é a água que promove o transporte de nutrientes dissolvidos, imprescindíveis para as atividades metabólicas e fisiológicas dos microrganismos (KIEHL, 1985). O conteúdo ótimo de umidade varia bastante conforme as condições do material compostado, o tamanho das partículas e o estágio de decomposição no qual a leira já se encontra. Mesmo assim, sugere-se que o valor esteja entre 40-70% (KIEHL, 2004).

Segundo Barreira (2005) e Valente et al. (2009) elevados teores de umidade precisam ser evitados durante a compostagem. O excesso de umidade faz com que os poros no interior da matriz sólida passem a ser preenchidos com água livre. A matéria orgânica decomposta, que apresenta caráter hidrofílico, adere moléculas de água à superfície, saturando os seus micro e macroporos, impedindo, assim, a difusão de oxigênio e propiciando condições anaeróbias. Esta ocorrência pode ser percebida pela exalação de odores característicos, como, por exemplo, o gás sulfídrico (H₂S). Além disso, há a formação de um líquido escuro com odor desagradável, denominado “chorume”, que escorre do material em decomposição, caracterizando a lixiviação de nutrientes da massa a ser compostada. Quando a umidade está em excesso, há a necessidade de se fazer injeção de ar ou adicionar material seco.

Entretanto, teores de umidade inferiores a 40% também devem ser evitados, uma vez que podem fazer com que a atividade biológica seja reduzida, retardando o desenvolvimento do processo (VALENTE et al., 2009). Quando a umidade estiver baixa, é necessário fazer a irrigação da leira, de preferência no momento do revolvimento para que a água seja distribuída por igual (MASSUKADO, 2008).

A umidade pode também ser um indicativo para determinar o grau de decomposição da matéria orgânica no processo de compostagem. Um teste simples e rápido, importante para a prática cotidiana de observação dos processos, é o conhecido “teste da mão”. Ele consiste em umidificar e esfregar um pouco do composto entre as palmas das mãos; assim se o composto estiver pronto deixará as mãos sujas soltando-se facilmente (NUNES, 2009).

2.1.5 Relação carbono/nitrogênio (C/N)

A relação entre carbono e nitrogênio (C/N) é um índice utilizado para avaliar os níveis de maturação de materiais orgânicos (VALENTE et al., 2009). Para o pleno desenvolvimento da compostagem, muitos autores recomendam que no início do processo a relação C/N esteja no entorno de 30/1, ou seja, trinta partes de carbono para uma de nitrogênio. Kiehl (2004) ainda aponta que valores entre 26/1 e 35/1 são considerados como favoráveis. Na prática, estudos realizados com diferentes fontes de dejetos e resíduos da produção animal e vegetal apresentam uma variação grande na relação C/N inicial, de 5/1 até 513/1, indicando ser possível a ocorrência da compostagem mesmo em valores fora da faixa de relação ótima.

Exemplos de valores da relação C/N de diversos materiais que podem ser compostados encontram-se na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 Relação Carbono/Nitrogênio de materiais empregados na compostagem.

MATERIAIS RICOS EM NITROGÊNIO					MATERIAIS RICOS EM CARBONO				
Material	M.O. (%)	C (%)	N (%)	C/N	Material	M.O. (%)	C (%)	N (%)	C/N
Algodão: semente ardida	95,62	54,96	4,58	12 / 1	Arroz: casca	54,55	30,42	0,78	39 / 1
Amoreira: folhas	86,08	45,24	3,77	12 / 1	Arroz: palha	54,34	30,42	0,78	39 / 1
Banana: folhas	88,89	49,02	2,58	19 / 1	Aveia: casca	85,00	47,25	0,75	63 / 1
Borra de café	90,46	50,60	2,30	22 / 1	Aveia: palha	85,00	47,52	0,66	72 / 1
Cacau: película	91,10	51,84	3,24	16 / 1	Algodão: resíduo de semente	96,14	53,00	1,06	50 / 1
Café: semente desnaturada	92,83	52,32	3,27	16 / 1	Banana: talo e cacho	85,28	46,97	0,77	61 / 1
Cevada: bagoço	95,07	51,30	5,13	10 / 1	Bagoço de cana	96,14	39,59	1,07	37 / 1

Continua

Tabela 1.1 Relação Carbono/Nitrogênio de materiais empregados na compostagem. (Continuação)

MATERIAIS RICOS EM NITROGÊNIO					MATERIAIS RICOS EM CARBONO				
Material	M.O. (%)	C (%)	N (%)	C/N	Material	M.O. (%)	C (%)	N (%)	C/N
Couro em pó	92,03	43,75	8,74	5 / 1	Cacau: casca e frutos	85,28	48,64	1,28	38 / 1
Esterco de suíno	53,10	29,50	1,86	16 / 1	Café: cascas	71,44	30,04	0,86	53 / 1
Esterco de aves	52,21	29,01	2,76	11 / 1	Café: palha	86,88	51,73	0,62	83 / 1
Esterco de equino	96,19	25,50	1,67	18 / 1	Capim gordura	82,20	51,03	0,63	81 / 1
Eucalipto: resíduos	77,60	42,45	2,83	15 / 1	Capim guiné	93,13	49,17	1,49	33 / 1
Feijão guandu: palha	55,90	52,49	1,81	29 / 1	Capim jaraguá	92,38	50,56	0,79	64 / 1
Feijão guandu: semente	96,72	54,50	3,64	15 / 1	Capim cidreira	88,75	58,84	0,82	62 / 1
Fumo: resíduos	70,92	39,06	2,17	18 / 1	Cevada: casca	85,00	47,60	0,56	85 / 1
Laranja: bagaço	22,58	12,78	0,71	18 / 1	Cevada: palhas	85,00	47,25	0,75	63 / 1
Mandioca: folhas	91,64	52,20	4,35	12 / 1	Esterco de ovino	82,94	46,08	1,44	32 / 1
Penas de galinha	88,20	54,20	13,55	4 / 1	Esterco de bovino	96,19	53,44	1,67	32 / 1
Serrapilheira	30,68	16,32	0,96	17 / 1	Feijoeiro: palhas	94,68	52,16	1,63	32 / 1
Sangue seco	84,96	47,20	11,80	4 / 1	Gramma batatais	90,80	50,04	1,39	36 / 1
Torta de algosão	92,40	51,12	5,68	9 / 1	Gramma seda	90,55	50,22	1,62	31 / 1
Torta de amendoim	95,24	53,55	7,65	7 / 1	Milho: palhas	96,75	53,76	0,48	112 / 1
Torta de linhaça	94,85	50,94	5,66	9 / 1	Milho: sabugo	45,20	52,52	0,52	101 / 1
Torta de mamona	92,20	54,40	5,44	10 / 1	Samambaia	95,90	53,41	0,49	109 / 1
Torta de soja	78,40	45,92	6,56	7 / 1	Serragem de madeira	93,45	51,90	0,06	865 / 1
Torta de usina de cana-de-açúcar	78,78	43,80	2,19	20 / 1	Trigo: palha	92,40	51,10	0,73	70 / 1

Fonte: PASCHOAL (1994).

Neste sentido, a prática demonstra que não é possível determinar um valor absoluto para relação C/N inicial (VALENTE et al., 2009). A evolução do processo na proporção idealizada (30/1) reconhecidamente caracteriza a melhor condição para a evolução do processo, mas se, por exemplo, parte do carbono disponível é de difícil degradação (celulose, hemicelulose e lignina) é aconselhável que a relação C/N inicial seja maior, pois o carbono biodisponível é inferior ao carbono total mensurado. O balanço de nutrientes na compostagem prediz, portanto, indicações variadas ao início da aplicação da técnica de acordo com as características do material a compostar.

No processo de compostagem, o carbono é considerado fonte de energia para os microrganismos heterotróficos que degradam a massa, enquanto o nitrogênio é um elemento importante para a síntese de proteínas e conseqüente crescimento de suas colônias (SHARMA et al., 1997). Considerando a relação idealizada de 30/1, os microrganismos absorvem o carbono para duas finalidades: dez partes do carbono assimilado são imobilizadas, convertidas da forma mineral para orgânica e incorporadas ao protoplasma, enquanto que vinte partes são eliminadas na forma de gás carbônico (KIEHL, 2004). Já o nitrogênio sofre mineralização durante o processo (KIEHL, 1985), o que agrega ao composto final valor nutricional para aplicação no solo.

Durante o processo de compostagem é observada a redução da relação C/N em decorrência da oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos (liberação de CO₂ pela respiração, diminuindo assim a concentração de C) (ZHANG e HE, 2006). O tempo necessário para que ocorra a estabilização ou a maturação dos resíduos orgânicos é condicionado à relação C/N inicial dos materiais utilizados como substratos. O produto final da compostagem também deve ser analisado para efeito de qualidade do composto (MOREL et al., 1985). Barreira (2005) reforça que ao final do processo a relação deve decair chegando próxima a 10/1, indicando, assim, que o material foi compostado.

A relação C/N constitui um parâmetro confiável para o acompanhamento da compostagem até se chegar ao produto acabado, porém, para a confirmação de chegada à fase final de decomposição, Kiehl (2004) indica que a constatação deve ser feita por meio de dois ou mais parâmetros, garantindo maior confiabilidade.

2.1.6 Potencial hidrogeniônico (pH)

Os resíduos orgânicos destinados à compostagem apresentam uma grande variação do pH inicial, sendo encontrados valores de 3 até 11 (DIAZ et al., 2007). Kiehl (1985) relata que no início da compostagem é observada a formação de ácidos orgânicos e a incorporação de carbono orgânico ao protoplasma celular microbiano, o que torna o meio mais ácido em relação ao inicial. No entanto, com

o decorrer do processo de degradação, os ácidos minerais dão lugar aos ácidos orgânicos que reagem com as bases liberadas da matéria orgânica, neutralizando e transformando o meio em alcalino.

A degradação do material durante a compostagem é dependente da atividade microbiana presente em cada fase. Neste sentido, o pH é fator interferente, uma vez que propicia a predominância de colonizações de microrganismos diferentes ao longo destas fases. As bactérias envolvidas no processo preferem valores de pH neutros, enquanto que os fungos se desenvolvem melhor em ambientes mais ácidos (DIAZ et al., 2007).

O pH considerado ótimo para o desenvolvimento do processo está entre 5,5 e 8, uma vez que a maioria das enzimas encontram-se ativas nesta faixa (KIEHL, 1985). Alguns autores relatam, no entanto, que valores superiores ou inferiores àqueles (na faixa de 4,5-9,5) não limitam definitivamente o processo, uma vez que os microrganismos conseguem regular o meio via degradação de compostos, produzindo subprodutos ácidos ou básicos, conforme a necessidade (PEREIRA NETO, 2007).

O processo de compostagem pode ser prejudicado se o pH estiver com valores muito extremos (seja para mais ou para menos). Quando os níveis de pH estiverem abaixo de 4,5, é provável que ocorra a redução da atividade microbiana, fazendo com que não se alcance a fase termofílica do processo (ANDREOLI et al., 2001). Já para valores altos de pH, acima de 9,5, há no processo a deficiência de micronutrientes e fósforo, além de perdas de nitrogênio por volatilização, devido à transformação do íon amônio (NH_4^+) em amônia (NH_3) (MASSUKADO, 2008).

Ao final do processo espera-se que o composto apresente pH entre 6 e 7, intervalo este em que os macro e micronutrientes estão mais disponíveis para a aplicação do composto no solo.

2.1.7 Granulometria

Granulometria refere-se ao tamanho das partículas dos resíduos a serem compostados e sua importância no processo está em reger o movimento de gases e líquidos na leira (KIEHL, 2004). Quanto menor a partícula, maior a superfície de contato atacada por microrganismos, o que conseqüentemente facilita a degradação do material. No entanto, partículas diminutas, que em tese seriam de mais rápida degradação, conferem problemas à leira quanto à aeração e à compactação, por impossibilitar a manutenção da porosidade, causando anaerobiose no meio (FERNANDES e SILVA, 1999; INÁCIO et al., 2009).

Portanto, do mesmo modo que o teor de umidade, a aeração e a relação C/N, é difícil o estabelecimento de uma granulometria ótima para a compostagem, uma vez que esta determinação depende do material a ser compostado. Bidone e

Povinelli (1999) sugerem que a granulometria ideal para a montagem da leira está compreendida entre 1 e 5 cm. No entanto, Valente et al. (2009) indicam misturar vários tipos de resíduos orgânicos como sendo a maneira mais adequada para tentar corrigir o tamanho das partículas, favorecendo a homogeneização da massa em compostagem e obtendo assim uma melhor porosidade.

2.2 Métodos para a realização de compostagem

A compostagem pode ser realizada de diversas formas, sendo que a escolha do método para a sua realização depende do local, da quantidade e do tipo de resíduos e da disponibilidade financeira para a implantação/manutenção do processo. Pode ser feita em leiras, silos, covas feitas no chão ou em reatores, também conhecidos como composteiras, com diversos formatos e técnicas de funcionamento (KIEHL, 1985).

A compostagem em leiras sobre o solo é o mais utilizado, por se tratar de um método simples e de baixo custo. Pode ser realizada em piso pavimentado ou sobre o solo coberto com lona, a fim de evitar o percolamento de chorume pelo solo e a mistura deste com os resíduos. As leiras de compostagem podem ser de formato triangular ou trapezoidal (Figura 1.4).

A escolha do formato está relacionada ao período de realização da compostagem, ou seja, se ele for seco ou chuvoso, nos casos da realização do processo em ambientes sem cobertura. O formato triangular é recomendado para períodos chuvosos, visto que sua ponta mais afunilada favorece o escoamento da água, evitando a entrada excessiva de umidade. Já o formato trapezoidal, por apresentar maior área superficial de escoamento, permite maior entrada de água na leira de compostagem, sendo mais indicada para períodos mais secos (KIEHL, 1985). Quando não se tem um sistema de aeração mecanizado e a aeração do composto for feita de maneira manual, recomenda-se que as dimensões das leiras tenham na faixa de 2,5 e 3,5 metros de largura e 1,5 a 1,8 metros de altura (KIEHL, 1985). A configuração do pátio de compostagem deve prever a distribuição das leiras de forma a manter um espaçamento entre elas que permita o seu revolvimento.

Outro método de se realizar compostagem é por meio do uso de composteiras, como por exemplo, bombonas de plástico (tambor) (Figura 1.4). O uso desse método é apropriado quando não se tem uma quantidade elevada de resíduos a serem compostados, podendo ser utilizado para compostagem doméstica, por exemplo. As composteiras podem ser fechadas com tampa para evitar a proliferação de insetos e de mau odor, porém devem conter furos em suas laterais para promover oxigenação e evitar anaerobiose. Outros tipos de composteiras estão disponíveis no mercado. Deve-se, portanto, avaliar sua funcionalidade para o manejo e respeitos às condições ideais para o desenvolvimento da compostagem.

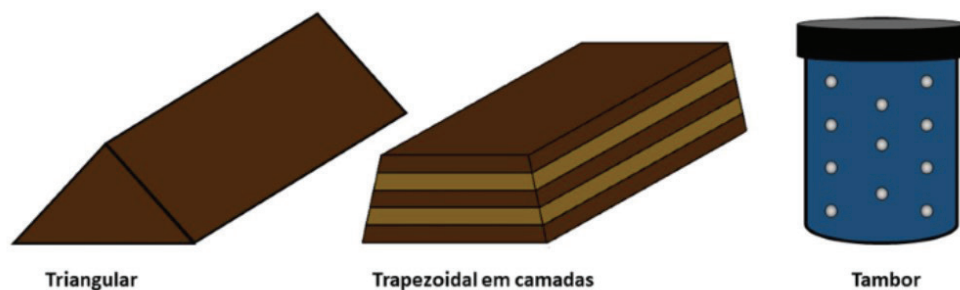


Figura 1.4 Formatos para realizar o processo de compostagem.

3 Vermicompostagem

A vermicompostagem faz parte da recente ciência denominada “Vermitecnologia”, um ramo da Engenharia Ambiental que compreende conceitos como: vermidepuração (tratamento de efluentes com auxílio de minhocas), vermifertilização (utilização de produtos e subprodutos da vermicompostagem para a fertilização orgânica de solos), vermiponia (combinação entre vermicompostagem e a hidroponia para produção de culturas), vermicultura (produção de minhocas) e vermirremediação (recuperação de solos e substratos contaminados por meio da ação das minhocas) (LOURENÇO, 2014).

Vermicompostagem é um processo controlado que utiliza a ação conjunta de minhocas e microrganismos, sob condição aeróbica, com a finalidade de estabilizar a matéria orgânica, inviabilizando o grau poluente e contaminante dos resíduos (KIEHL, 1985; LORES et al., 2006; LOURENÇO, 2014). Neste método, a maior parte dos compostos orgânicos é degradada e os resíduos são transformados em compostos ricos em nitrogênio, fósforo, potássio e substâncias húmicas (SONG et al., 2014).

Embora os microrganismos sejam responsáveis pela degradação bioquímica da matéria orgânica, as minhocas são as principais responsáveis pelo processo de fragmentação e condicionamento do substrato. As minhocas agem como “liquidificadores mecânicos” triturando a matéria orgânica, modificando as características físicas, químicas e biológicas, reduzindo gradualmente a relação C/N, aumentando a área de superfície exposta à ação microbiana, tornando assim, o material mais facilmente decomposto (DOMÍNGUEZ, 2004).

A técnica de vermicompostagem pode ser dividida em três principais etapas, sendo elas:

- 1) Etapa inicial ou de degradação: Nesta etapa os microrganismos realizam o “ataque” inicial dos resíduos, ocorrendo os primeiros processos de mineralização.

- 2) Etapa de colonização dos resíduos por parte das minhocas: Nesta etapa as moléculas orgânicas são transformadas em constituintes mais simples, por meio da ação dos microrganismos e processo de digestão das minhocas. Todos os compostos orgânicos são colonizáveis pelas minhocas, em menor ou maior grau, e a dificuldade de colonização advém das características de cada resíduo.
- 3) Etapa de maturação: Nesta etapa ocorre a mineralização e humificação dos compostos. Tal processo origina substâncias de elevada estabilidade.

3.1 Principais características das minhocas utilizadas na vermicompostagem

As minhocas pertencem ao filo *Anelidae* e à classe *Oligochaeta*, apresentando divisões denominadas metâmeros, semelhantes a anéis, razão pela qual são chamadas de anelídeos. Considerando que são animais segmentados e com sistema digestivo completo, a boca localiza-se no primeiro segmento e o ânus no último segmento corporal (LOURENÇO, 2014).

As minhocas são animais invertebrados, não apresentando esqueleto interno, nem olhos. Movimentam-se por contração e distensão da musculatura e seus órgãos de sentido são pouco desenvolvidos, exceto o tato (LOURENÇO, 2014).

São fotossensíveis, ou seja, apresentam forte sensibilidade à luz natural ou artificial. São seres hermafroditas incompletos, entretanto, necessitam de parceiro para acasalamento. Seus casulos apresentam coloração amarelada ou esverdeada e são depositados na superfície. O ciclo de vida das minhocas da espécie *epígeas* é de 2 a 3 anos; demais espécies podem viver entre 3 a 7 anos (LOURENÇO, 2014).

Quanto à forma de alimentação as minhocas podem ser classificadas em geófagas ou detritívoras. As geófagas alimentam-se no subsolo, ou seja, em horizontes de maior profundidade, ingerindo frações de matéria orgânica, entretanto, a maior proporção dos materiais ingeridos corresponde às partículas minerais. Já as detritívoras, são espécies que se alimentam na superfície, consumindo, preferencialmente, resíduos orgânicos, havendo predominância de matéria orgânica no seu trato digestivo (LEE, 1985; LOURENÇO, 2014).

As diferentes espécies de minhocas são classificadas em três categorias: epigéicas, endogéicas e anécicas (BOUCHÉ, 1977; LEE, 1985).

- 1) *Epigéicas*: são espécies detritívoras, vivem na superfície do solo (0 a 10 cm) e alimentam-se de matéria orgânica em etapas primárias ou intermediárias de decomposição. Possuem curto ciclo de vida, geralmente entre 2 a 3 anos, rápido crescimento e rápida reprodução. Seus dejetos possuem alto teor de substâncias húmicas. Normalmente são pigmentadas e apresentam comprimento menor do que as espécies *endogéicas* e *anécicas* (BOUCHÉ, 1977; JAMES, 2000). As espécies epigéicas mais comumente utilizadas nos processos

de vermicompostagem e com destaque no Brasil são: *Eisenia foetida*, *Eisenia andrei* e *Eudrilus eugeniae* (conhecida como Gigante Africana).

A espécie *Eudrilus eugeniae* é mais sensível à manipulação e às amplitudes térmicas, logo, as espécies *Eisenia foetida* e *Eisenia andrei*, popularmente conhecidas como Vermelha da Califórnia, são predominantemente utilizadas nos processos de vermicompostagem, uma vez que, estão amplamente distribuídas, habitando naturalmente diversos resíduos orgânicos.

Eisenia foetida e *Eisenia andrei* são muito semelhantes quanto à anatomia externa e às características, possuem peso médio na forma adulta de 0,55 g, tempo de maturidade sexual de 28-30 dias, número de casulos diários 0,35-0,5, tempo de incubação dos casulos 18-26 dias, viabilidade de nascimento dos casulos de 73-80%, número de minhocas eclodidas por casulo de 2,5-3,8, tempo de maturidade sexual de 45-90 dias (LOURENÇO, 2014).

- 2) *Endogéicas*: são espécies geófagas, habitam os horizontes minerais do solo, são maiores, menos pigmentadas, possuem maior ciclo de vida (entre 3 a 7 anos) e menor taxa reprodutiva, quando comparadas às *epigéicas*. Em função do tipo de alimentação, excretam dejetos de composição organomineral (JAMES, 2000; LOURENÇO, 2014).
- 3) *Anécicas*: são espécies geófagas, constroem galerias verticais permanentes, alimentam-se de resíduos em estágios de decomposição na superfície, transportando-os para o interior, acelerando a decomposição (JAMES, 2000; LOURENÇO, 2014).

3.2 Características do processo

3.2.1 Temperatura

Diferentemente do processo de compostagem no processo de vermicompostagem é imprescindível que as perdas de calor sejam mantidas a níveis constantes. Para sobreviverem, as minhocas necessitam de condições mesofílicas. Sendo assim, altos e baixos valores de temperaturas inviabilizam a sua sobrevivência e prejudicam a vermicompostagem.

Temperaturas no intervalo de 20°C a 25°C são ideais para o desenvolvimento das minhocas e do processo de vermicompostagem. Temperaturas entre 30°C e 35°C, atrasam a migração das minhocas para horizontes superiores, e temperaturas superiores a 40°C podem ser letais (LOURENÇO, 2014).

Baixas temperaturas, ou seja, inferiores a 10°C, também são prejudiciais ao processo, pois reduzem as atividades digestivas e reprodutivas das minhocas, causando reflexos no vermicomposto gerado (LOURENÇO, 2014).

3.2.2 Umidade e oxigênio

A umidade é primordial à sobrevivência das minhocas: tanto a escassez quanto o excesso de umidade podem ocasionar a rápida letalidade. Deste modo, os teores de umidade devem estar entre 75 e 90%. As minhocas possuem respiração cutânea e na presença de água o O_2 é absorvido pela cutícula da pele das minhocas e o CO_2 é dissipado (LOURENÇO, 2014).

Valores inferiores a 70% comprometem a respiração das minhocas, levando-as à morte por asfixia. Valores superiores a 90% também comprometem a sua sobrevivência, uma vez que o excesso de água preenche o espaço poroso, gerando zonas de anaerobiose, limitando o fornecimento de oxigênio (LOURENÇO, 2014).

3.2.3 Relação C/N e nitrogênio amoniacal

O carbono e o nitrogênio do material são muito importantes para o processo de vermicompostagem.

Para a boa aceitação das minhocas o material deve apresentar relação C/N na faixa de 15/1 a 35/1. Valores inferiores a 15/1 indicam carência de carbono e excesso de nitrogênio, o que acelera o crescimento microbiano, elevando assim a temperatura e a liberação nitrogênio amoniacal (N-amoniacal), altamente tóxico às minhocas. Proporções de nitrogênio amoniacal superiores a 1mg g^{-1} , são potencialmente tóxicas às minhocas (LOURENÇO, 2014).

Todavia, relações superiores à 35/1 indicam carência de nitrogênio e excesso de carbono, sendo também prejudicial às minhocas.

3.2.4 pH e condutividade elétrica

As minhocas apresentam maior sobrevivência em pH ligeiramente ácidos, situados na faixa de 5,5 a 6,5, embora valores entre 6,5 e 7,5 sejam tolerados e aceitáveis. Contudo, valores acima de 7,5 podem prejudicar as atividades metabólicas (LOURENÇO, 2010).

Os teores de salinidade são aferidos por meio da condutividade elétrica e o valor máximo admissível de condutividade elétrica é de $7,8\text{ dS m}^{-1}$ (LOURENÇO, 2010).

3.2.5 Granulometria

Assim como no processo de compostagem, na vermicompostagem a granulometria interfere no desempenho do processo.

Menores granulometrias aumentam a área superficial específica e a área de contato com as minhocas e com a comunidade microbiana, facilitando o

“ataque”, acelerando assim a decomposição do material. Todavia, partículas muito pequenas facilitam a compactação, criando condições de anaerobiose (LOURENÇO, 2014).

4 Legislação inerente ao uso/produção de fertilizantes orgânicos

A aproximação da temperatura do composto à temperatura ambiente é um indicativo do equilíbrio microbiológico. Porém, não pode ser utilizada como único parâmetro na verificação de maturidade do composto, devendo ser associados outros parâmetros, pois a decomposição da parcela orgânica depende da origem e da composição da mistura inicial compostada (VALENTE et al., 2009).

Dessa maneira, Kiehl (2004) e Malheiros (1996) indicam alguns parâmetros levados em consideração para avaliação da maturação do composto:

- Relação C/N: deve apresentar uma faixa de 8/1 a 12/1. Valores de 18/1 ou um pouco inferior indicam que o composto está semicurado;
- pH;
- Alta concentração de nitrato, entre outros.

Uma vez comprovada a finalização da compostagem, o composto poderá representar a fonte de dois importantes componentes, segundo Kiehl (2004) e Sartori et al. (2011):

1. Nutrientes minerais: tais como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (macronutrientes), absorvidos em maior quantidade pelas raízes das plantas e os assimilados em menores quantidades, como o ferro, zinco, cobre, manganês, boro, cloro e níquel (micronutrientes).
2. Material humificado: como condicionador e melhorador das propriedades físicas, físico-químicas do solo.

Para a produção de fertilizantes orgânicos de qualidade, a maturação se torna uma fase fundamental, pois o uso de um composto não apropriadamente maturado poderá ocasionar uma poluição difusa ao plantio com a liberação de amônia no solo, a qual pode danificar as raízes das culturas; e, a produção de toxinas que inibem a germinação de sementes e o crescimento das plantas (PEREIRA NETO, 2007).

Como o adubo orgânico não é um produto único, podendo sua qualidade variar de acordo com os resíduos orgânicos e os processos empregados, a criação de uma lei específica deve ser regulamentada (VALENTE et al., 2009).

No Brasil, o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), juntamente com a Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) criou a Instrução Normativa SDA nº 25, de 23 de Julho de 2009, que aprova as normas sobre as

especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.

Os fertilizantes orgânicos são enquadrados nas seguintes classes: A, B, C e D. No Art. 7º, inciso I, ressalta-se que, para os produtos sólidos, as garantias serão, no mínimo, os valores que são apresentados na Tabela 1.2.

Tabela 1.2 Especificação dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos.

Garantia	Misto/Composto (estado sólido)			
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Umidade (máx)	50	50	50	70
pH (mín)	6,0	6,0	6,5	6,0
N total (mín)	0,5			
C orgânico (mín) ¹	15			
Relação C/N	20			
Outros nutrientes	Conforme declarado			

Fonte: MAPA (2009).

Nota¹: Valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C.

Os fertilizantes orgânicos sólidos terão ainda a forma e solubilidade dos nutrientes indicadas em percentagem mássica para aplicação em solo, de acordo com a Tabela 1.3. Dessa forma, a utilização e/ou comercialização de fertilizantes orgânicos aplicáveis a solo devem atender os parâmetros desta normativa.

Tabela 1.3 Garantias mínimas de macro e micronutrientes para fertilizantes orgânicos.

Nutriente	Aplicação no solo Teor total mínimo (%)	Nutriente	Aplicação no solo Teor total mínimo (%)
Fósforo (S)	Teor total	Cobre (Cu)	0,05
Potássio (K)	Teor total	Ferro (Fe)	0,2
Cálcio (Ca)	1,0	Manganês (Mn)	0,05
Magnésio (Mg)	1,0	Molibdênio (Mo)	0,005

Continua

Tabela 1.3 Garantias mínimas de macro e micronutrientes para fertilizantes orgânicos. (Continuação)

Nutriente	Aplicação no solo Teor total mínimo (%)	Nutriente	Aplicação no solo Teor total mínimo (%)
Enxofre (S)	1,0	Níquel (Ni)	0,005
Boro (B)	0,03	Silício (Si)	1,0
Cloro (Cl)	0,1	Zinco (Zn)	0,1
Cobalto (Co)	0,005		

Fonte: MAPA (2009).

Referências

- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2013**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>>. Acesso em: 26 mai. 2014.
- ANDA – Associação Nacional Para Difusão De Adubos. **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00>>. Acesso em: 13 set. 2016.
- ANDREOLI, C.V. et al. Higienização do Lodo de Esgoto – Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. In: Andreoli, C. V. **Lodo de Esgoto**. Rio de Janeiro: ABES, 2001.
- BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. 2005. 204f. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EDUSP, 109p. 1999.
- BRASIL. Decreto nº 7404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística

Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da União República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 dez. 2010a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 3 jun. 2014.

BRASIL. Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. **Diário Oficial da União República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 ago. 2010b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 22 fev. 2014.

COSTA, M.S.S.M.; COSTA, L. A. de M.; DECARLI, L. D.; PELÁ, A.; SILVA, C. J. da; MATTER, U. F.; OLIBONE, D. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.1, p.100-107, 2009.

DIAZ, L.F.; SAVEGE, G.M. Factors that affect the process. In: Diaz, L.F.; De Bertoldi, M.; Bidlingmaier, W. **Compost Science and Technology**. 1ed. Stentiford, p.49-56, 2007.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para compostagem de biosólidos**. Rio de Janeiro: ABES, 79p. 1999.

FIALHO, L.L. **Caracterização da matéria orgânica em processo de compostagem por métodos convencionais e espectroscópicos**. 2007. 170f. Tese (Doutorado em Ciências – Química Analítica) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2007.

INÁCIO, C.T.; MILLER, P.R.M. **Compostagem: Ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 156p. 2009.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Caderno de Diagnóstico – Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília-DF. 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2014.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas**. Brasília-DF. 2012a. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/>

relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf>. Acesso em: 12 set. 2016.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda, 492p. 1985.

KIEHL, E.J. **Manual da Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. 4ªed. Piracicaba, 173p. 2004.

LACEY, J. Actinomycetes in composts. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, Koge, v.4, p. 113-121, 1997.

MALHEIROS, Sergio M. P. **Avaliação do processo de compostagem utilizando resíduos agroindustriais**. Campinas-SP, 1996.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. **Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura**. Diário Oficial da União República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 jul. 2009. Disponível em: <<http://sislegis.action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186>>. Acesso em: 4 jun. 2014.

MASSUKADO, L.M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. 2008. 204 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MOREL, J.L.; COLIN, F.; GERMON, J.C.; GODIN, P.; JUSTE, C. Methods for evaluation of the maturity of municipal refuse compost. In: Gasser, J.K. **Composting of agricultural and other wastes**. Elsevier: Londres, p.56-72, 1985.

NUNES, M. U. C. Compostagem de resíduos para produção de adubo orgânico na pequena propriedade. **Circular técnico – Embrapa Tabuleiros Costeiros**, Aracaju, n.59, 7p., dez. 2009. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2010/ct_59.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2014.

O ECO. **Gases do efeito estufa: Dióxido de Carbono (CO₂) e Metano (CH₄)**. Oeco, 2014. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambien->

tal/28261-gases-do-efeito-estufa-dioxido-de-carbono-co2-e-metano-ch4/>. Acesso em: 12 set. 2016.

PASCHOAL, A. D. **Produção orgânica de alimentos: agricultura sustentável para os séculos XX e XXI**, Piracicaba, 191p. 1994.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. UFV. Viçosa, 81p. 2007.

REIS, M.F. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. 2005. 239 f. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.

SARTORI, V. C.; RIBEIRO, R. T. Da S.; PAULETTI, G. F.; PANSERA, M. R.; RUPP, L. C. D.; VENTURIN, L. **Compostagem: Produção de fertilizantes a partir de resíduos orgânicos. Cartilha para agricultores**. Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2011.

SHARMA, V. K.; CANDITELLI, M.; FORTUNA, F.; CORNACCHIA, C. Processing of urban and agroindustrial residues by anaerobic composting: review. **Energy Conversion and Management**. v.38, p.453-478, 1997.

TSAI, S.M.; BARAIBAR, A.V.L.; ROMANI, V.L.M. Efeito dos fatores do solo. In: CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, p.60-72, 1992.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM, B. de S. Jr.; CABRERA, B. R.; MORAES, P de O. e LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**. v.58. p.60-76, 2009.

ZHANG, Y.; HE, Y. Co-compostig solid swine manure with pine sawdust as organic substrate. **Bioresource Technology**., v.97, p.2024-2031, 2006.

