



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**CAMPUS DE POMBAL-PB**

**SILVANA NÓBREGA DE ANDRADE**

**PLANILHA ELETRÔNICA PARA O GERENCIAMENTO DE**  
**PROCESSOS DE COMPOSTAGEM**

**POMBAL-PB**

**2017**

**SILVANA NÓBREGA DE ANDRADE**

**PLANILHA ELETRÔNICA PARA O GERENCIAMENTO DE  
PROCESSOS DE COMPOSTAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador (a): Prof. Dr. CAMILO ALLYSON  
SIMÕES DE FARIAS

**POMBAL-PB**

**2017**

*Dedico este trabalho ao  
meu Deus, fonte de  
toda a sabedoria.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que me deu fôlego de vida e me sustentou durante esta caminhada.

Ao meu amado esposo, por todo o amor, apoio, dedicação e principalmente pela paciência, obrigada por sempre estar ao meu lado me encorajando a alcançar novos voos.

Aos meus pais, Jose Tavares e Maria de Fátima Nobrega, por me conceberem a vida, em especial a minha mãe, minha fortaleza, meu maior tesouro por sempre estar ao meu lado e acreditar na minha capacidade.

Aos meus amados sogros, Raimundo Vieira de Andrade e Rita de Cássia Vieira Fernandes, por todo apoio e incentivo dados durante essa jornada.

Aos meus avós, Joao Machado, poço de infinita bondade e Maria Nóbrega, mulher guerreira e admirável, Joao Ribeiro (*in memoriam*), homem forte e destemido, Francisca Tavares, mulher forte e valente.

Agradeço aos meus amados irmãos, Simone, Cristiano e Fábio, por me apoiarem estarem sempre ao meu lado quando preciso.

Aos meus amados sobrinhos, Kauã, o príncipe de titia e a bonequinha, Érica Laís.

A minha querida amiga Maria de Araújo Alves, pela amizade sincera, pela força e apoio.

Ao meu querido professor Dr. Walker Gomes de Albuquerque, que muito admiro, como profissional, e principalmente como pessoa, es um ser iluminado, que tive o privilégio de encontrá-lo durante essa caminhada.

Ao meu orientador professor Dr. Camilo Allyson Simões de Farias, pela confiança em mim depositada, pelos ensinamentos, paciência e ajuda e por partilhar o exemplo de profissionalismo.

A todos os meus colegas, pela força, paciência nos momentos mais difíceis, pela alegria.

Aos professores do CCTA, pela contribuição no meu conhecimento.

Aos servidores que também contribuíram em minha formação profissional.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho fosse construído.

Andrade S. N. de. **Planilha eletrônica para o gerenciamento de processos de compostagem**. 2017. 65 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. 2017.

## **RESUMO**

O acompanhamento dos processos de compostagem estabelece um esforço repetitivo de atenção por parte do operador que, se não bem observado, poderá obter um resultado indesejado, principalmente no monitoramento dos parâmetros. Isto porque uma má condução do processo poderá gerar um composto de péssima qualidade, assim como desperdício de tempo e material. É pensando em minimizar estes esforços e erros durante a definição e monitoramento de processos de compostagem que foi desenvolvido um programa em ambiente *Excel* para auxiliar técnicos de meio ambiente, estudantes de engenharia e profissionais da área. A presente pesquisa tem como objetivo desenvolver um programa para o gerenciamento de processos de compostagem, visando a minimização de erros, e a geração de compostos de qualidade. A metodologia consistiu em quatro etapas: levantamento bibliográfico a respeito do tema, elaboração de formulários em *Visual Basic Application* (VBA), a aplicação de técnicas de programação; e, por último, o desenvolvimento da planilha eletrônica de monitoramento de pilhas e leiras de compostagem, a qual, possibilita a racionalização de todo o processo de compostagem, permitindo a apresentação dos resultados através de relatórios e gráficos, e facilitando o manuseio e a análise dos dados de entrada e de saída. O programa desenvolvido mostrou-se ser importante na inovação de tecnologias aplicadas à área de resíduos sólidos, em especial no tratamento de resíduos orgânicos por meio das técnicas de compostagem.

**Palavras-chave:** Programação Computacional, VBA, Tratamento de Resíduos.

Ribeiro, S. N. **Spreadsheet for the composting process management**. 2017. 65 fls. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB. 2017.

### **ABSTRACT**

The monitoring of composting process establishes a repetitive stress to the operator's attention that, if not observed, could get an unwanted result, especially in the monitoring of the parameters. This is because a bad driving the process can generate a composite of terrible quality, as well as waste of time and material. Is thinking in minimizing these efforts and errors during the definition and monitoring of composting processes developed a program in Excel environment to assist environmental technicians, engineering students and professionals. The present research aims to develop a program for the composting process management aimed at minimizing errors, and the generation of quality compounds. The methodology consisted of four stages: bibliographic survey on the subject, elaboration of forms in Visual Basic Application (VBA), the programming techniques; and, finally, the development of spreadsheet cells and monitoring compost windrows, which allows rationalisation of the process of composting, allowing the presentation of results through reports and graphs, and facilitating the handling and analysis of input and output data. The program developed proved to be important in the innovation of technologies applied to solid wastes, in particular in the treatment of organic waste through composting techniques.

**Keywords:** Computer Programming, VBA, Waste Treatment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Demonstração geométrica de uma pilha e leira de compostagem .....	25
Figura 2 – Condições ambientais ótimas na compostagem .....	26
Figura 3 – Partes básicas de um algoritmo .....	27
Figura 4 – Editor VBE.....	29
Figura 5 – Editor VBE, com a inserção de <i>User Form</i> .....	30
Figura 6 – Editor VBE, com a inserção de módulo.....	30
Figura 7 – Habilitação do <i>solver</i> na interface <i>Excel</i> .....	32
Figura 8 – Habilitação do <i>solver</i> no VBE.....	32
Figura 9 – Referência do <i>solver</i> na janela de projetos.....	33
Figura 10 – Descrição das etapas metodológicas .....	34
Figura 11 – Diagrama de desenvolvimento do programa .....	37
Figura 12 – Esboço geométrico de uma pilha .....	39
Figura 13 – Esboço geométrico de uma leira .....	40
Figura 14 – Formulário de inicialização.....	42
Figura 15 – Formulário de informações .....	43
Figura 16 – Formulário de <i>login</i> .....	44
Figura 17 – Formulário de cadastro de usuário .....	45
Figura 18 – Formulário com menu inicial .....	45
Figura 19 – Formulário de composição inicial.....	46
Figura 20 – Formulário de montagem .....	47
Figura 21 – Formulário de pilha .....	47
Figura 22 – Formulário de leira.....	48
Figura 23 – Formulário de parâmetros .....	48
Figura 24 – Formulário de monitoramento de aeração.....	49
Figura 25 – Formulário de monitoramento de pH.....	50
Figura 26 – Formulário de monitoramento de relação C: N.....	50
Figura 27 – Formulário de monitoramento de sólidos voláteis .....	51
Figura 28 – Informação do botão de massa 1, para sólidos voláteis .....	51
Figura 29 – Informação do botão de massa 2, para sólidos voláteis .....	51
Figura 30 – Informação do botão de massa 3, para sólidos voláteis .....	52
Figura 31 – Formulário de monitoramento de temperatura.....	52
Figura 32 – Formulário de monitoramento de umidade .....	53

Figura 33 – Informação do botão de massa 1, para umidade .....	53
Figura 34 – Informação do botão de massa 2, para umidade .....	53
Figura 35 – Informação do botão de massa 3, para umidade .....	54
Figura 36 – Formulário para geração de relatórios.....	54
Figura 37 – Formulário de relatório diário .....	55
Figura 38 – Formulário de relatório final .....	56

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação dos resíduos sólidos quanto à periculosidade.....	18
Quadro 2 – Faixas mais utilizadas da geração <i>per capita</i> .....	19
Quadro 3 – Procedimento com rotina pública e privada .....	31
Quadro 4 – Funções do <i>solver</i> .....	33
Quadro 5 – Controle operacional: principais problemas, causas e soluções .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008.....	20
Tabela 2 – Quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada. ....	23
Tabela 3 – Composição de alguns materiais empregados no preparo do composto. ....	61

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

NBR – Norma Brasileira

pH – Potencial Hidrogeniônico

PEMC – Planilha Eletrônica de Monitoramento de Compostagem

RS – Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

TI – Tecnologia da Informação

VB – Visual Basic

VBA – Visual Basic Application

VBE – Visual Basic Editor

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Geral .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 Resíduos sólidos .....</b>	<b>17</b>
3.1.1 Características Físicas .....	19
3.1.2 Características Químicas .....	20
3.1.3 Características Biológicas .....	21
<b>3.2 Gestão dos Resíduos sólidos.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3 Compostagem.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4 Tecnologias no processo de compostagem.....</b>	<b>26</b>
<b>3.5 Linguagem de programação .....</b>	<b>27</b>
3.5.1 Lógica e linguagem de programação .....	27
3.5.2 <i>Visual Basic for Applications</i> –VBA .....	28
<b>4 MATERIAIS E METODOS .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 Levantamento bibliográfico.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 Elaboração dos formulários VBA .....</b>	<b>37</b>
<b>4.3 Aplicação da programação .....</b>	<b>38</b>
<b>4.4 Planilha Eletrônica de Monitoramento de Compostagem - PEMC.....</b>	<b>41</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1 Apresentação e descrição do funcionamento do programa .....</b>	<b>42</b>
<b>5.2 Avaliação da eficácia da Planilha nos processos de compostagem .....</b>	<b>56</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional aliado ao comportamento consumista contribui significativamente para uma geração acentuada de resíduos sólidos urbanos (RSU), que atualmente é uma das problemáticas que mais preocupa a sociedade moderna. O manejo inadequado dos RSU acarreta sérios problemas tanto para a população quanto para o meio ambiente.

No cenário brasileiro, os impactos, quase sempre negativos, são perceptíveis em muitos municípios onde a disposição de resíduos é inapropriada (MUCELIN e BELLINI, 2008). Similarmente a outros municípios brasileiros, a cidade de Pombal-PB tem seus resíduos sólidos dispostos em lixões, promovendo a deterioração do meio ambiente, a propagação de vetores, e ocasionando problemas à saúde pública. De acordo com os resultados encontrados por Martins et al. (2014), em Pombal - PB não existe técnicas de tratamento dos resíduos sólidos, sendo os mesmos coletados porta a porta e encaminhados para o lixão a céu aberto.

Partindo deste pressuposto, vê-se necessário a utilização de técnicas mitigadoras que viabilizem a redução do volume de resíduos gerados, uma vez que muitos dos seus constituintes são materiais que podem ser reutilizados, reciclados ou submetidos a processos de compostagem.

A reutilização, reciclagem e compostagem são alternativas eficientes para redução dos resíduos secos e úmidos, sendo os resíduos úmidos basicamente compostos por resíduos orgânicos, que representam 51,4% dos sólidos domiciliares do Brasil (BRASIL, 2012). Para Pereira Neto (2007), a compostagem é um tratamento de resíduos onde a matéria orgânica é biologicamente degradada por microrganismos aeróbios, contribuindo para o aumento de nutrientes no solo e, conseqüentemente, para qualidade de culturas agrícolas.

Percebe-se que é de suma importância a produção de compostos, no que se refere a questões ambientais, sanitárias e também econômicas, levando-se em consideração que a compostagem é um método manual e simples.

Apesar da simplicidade, do ponto de vista da engenharia, é importante que o processo seja realizado em condições adequadas. Assim, o controle apropriado e o monitoramento de fatores como temperatura, teores de carbono e nitrogênio, umidade, pH e outros aceleram o processo de degradação e garantem um produto final de qualidade.

Levando em consideração o grande avanço da tecnologia, os cálculos e procedimentos envolvidos em um projeto de compostagem podem ser automatizados e muitos desses

problemas podem ser resolvidos com planilhas eletrônicas, como as do *Microsoft Excel*, que permite a utilização da linguagem de programação de alto nível, o VBA (*Visual Basic for Application*).

A criação de uma planilha eletrônica para montagem e monitoramento de processos de compostagem irá auxiliar na velocidade do processo, na qualidade dos compostos e no reconhecimento e divulgação de processos de compostagem como uma das soluções para o tratamento de resíduos. Além disto, a planilha eletrônica pode melhorar e/ou agilizar as formas de acompanhamento da compostagem e facilitar a emissão de relatórios e gráficos.

O acompanhamento dos processos de compostagem estabelece um esforço repetitivo de atenção por parte do projetista que, se não bem observado, poderá obter um resultado indesejado, principalmente no monitoramento dos parâmetros, já que uma má condução do processo poderá gerar um composto de péssima qualidade, assim como o desperdício de tempo e material.

É pensando em minimizar estes esforços e erros durante a definição e monitoramento de processos de compostagem que foi desenvolvido um programa em ambiente *Excel* para auxiliar técnicos de meio ambiente, estudantes de engenharia e profissionais da área. Diante o exposto, justifica-se a construção da planilha eletrônica para o acompanhamento de processos de compostagem, visando à minimização de erros e agilidade na condução destes processos, assim como a produção de compostos de qualidade.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Desenvolver um programa para o gerenciamento de processos de compostagem.

### **2.2 Específicos**

- Apresentar os fatores de monitoramento e seus efeitos nos processos de compostagem;
- Apresentar o funcionamento de um programa em VBA;
- Criar uma planilha eletrônica de acompanhamento e geração de informações sobre processos de compostagem acoplada a um sistema especialista;
- Avaliar a eficácia da planilha na condução de processos de compostagem.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Resíduos sólidos

Nas últimas décadas os Resíduos Sólidos têm apresentado bastante destaque, principalmente pelo agravamento dos impactos negativos sobre o meio ambiente, devido ao seu mal gerenciamento.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) define os resíduos sólidos como sendo:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Os resíduos sólidos são classificados de acordo com seus aspectos e características, o Art. 13 da Política Nacional de Resíduos Sólidos classifica os resíduos sólidos quanto à origem:

Os resíduos são subdivididos em resíduos: domiciliares, de limpeza urbana, urbanos, de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, dos serviços públicos de saneamento básico, industriais, de serviços de saúde, da construção civil, agrossilvopastoris, de serviços de transportes e de mineração.

A referida Lei ainda classifica os resíduos sólidos, quanto a sua periculosidade em perigosos e não perigosos, a saber:

- I. **Resíduos perigosos:** aqueles que possuem características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade, e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica.
- II. **Resíduos Sólidos Não Perigosos:** aqueles não enquadrados como resíduos sólidos perigosos.

Ainda em relação a periculosidade, a NBR 10.004 da ABNT (2004), classifica os resíduos sólidos conforme mostrado no Quadro 1, a seguir.

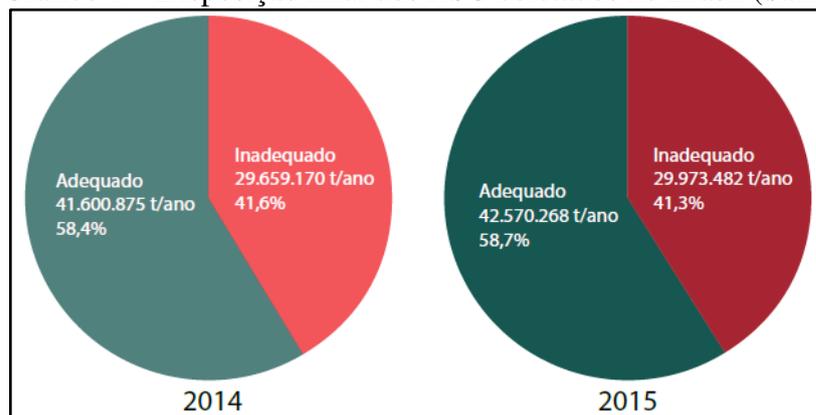
Quadro 1 – Classificação dos resíduos sólidos quanto à periculosidade

<b>Categoria</b>	<b>Característica</b>
<b>Classe I - perigosos</b>	Apresentam risco a saúde pública ou ao meio ambiente, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas.
<b>Classe II– Não Perigosos</b>	Não se enquadram nos resíduos classe I, e são divididos em inertes e não inertes
<b>Classe II-A Não-inertes</b>	Podem ter propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, porém, não se enquadram como resíduo perigoso.
<b>Classe II-B Inertes</b>	Não tem constituinte algum solúvel em concentração superior ao padrão de potabilidade de águas, após caracterização por teste específico de solubilização.

Fonte: ABNT (2004).

Conforme a ABRELPE (2015), cerca de 198.750 toneladas por dia de RSU foram coletados em 2015, um aumento de 1,8% em relação ao ano anterior no Brasil. Já no tocante a destinação final dos RSU coletados, apesar de apresentar um índice de 58,7% de destinação final adequada para os resíduos, cerca de 41,3% ainda são destinados a locais inadequados, como pode-se observar no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Disposição final dos RSU coletados no Brasil (t/ano)



Fonte: ABRELPE (2015).

A análise dos resíduos sólidos pode ser realizada segundo suas características, que por sua vez, podem variar em função de aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climático. De acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004) os resíduos podem ser caracterizados em:

### 3.1.1 Características Físicas

As características físicas compreendem a geração *per capita*, composição gravimétrica, peso específico aparente, teor de umidade e compressibilidade.

#### a) Geração *per capita*

Segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004) a geração *per capita* relaciona a quantidade de resíduos urbanos gerada diariamente e o número de habitantes de determinada região. Para Monteiro et.al. (2001), na ausência de dados mais precisos, a geração per capita pode ser estimada através do Quadro 2.

Quadro 2 – Faixas mais utilizadas da geração *per capita*

<b>Tamanho da cidade</b>	<b>População urbana (Habitantes)</b>	<b>Geração <i>per capita</i> (Kg/hab./dia)</b>
Pequena	Até 30 mil	0,50
Média	De 30 mil a 500 mil	De 0,50 a 0,80
Grande	De 500 mil a 5 milhões	De 0,80 a 1,00
Megalópole	Acima de 5 milhões	Acima de 1,00

Fonte: Monteiro et. al. (2001).

A geração dos RSU vem aumentando consideravelmente no Brasil. Dados da ABRELPE (2015), apontam que a geração total cresceu cerca de 1,7% e a per capita 0,8% em relação ao ano de 2014, o que representa um acréscimo na geração total de mais de 3.000 t/dia.

#### b) Composição gravimétrica

De acordo com Monteiro et. al. (2001), a composição gravimétrica “traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de lixo analisada”.

E sofre influência de diversos fatores como: os fatores sociais, econômicos, culturais, dentre outros.

No Brasil, segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012), 51,4% da composição gravimétrica dos RSU no Brasil é matéria orgânica, sendo seguida por 31,9% de recicláveis e 16,7% de outros componentes. Por meio da Tabela 1 pode-se observar a variação das composições do lixo no Brasil, coletados em 2008.

Tabela 1 – Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008

<b>RESÍDUOS</b>	<b>PARTICIPAÇÃO (%)</b>
<b>Material reciclável</b>	<b>31,9</b>
Metais	2,9
Aço	2,3
Alumínio	0,6
Papel, papelão e tetrapak	13,1
Plástico total	13,5
Plástico filme	8,9
Plástico rígido	4,6
Vidro	2,4
<b>Matéria orgânica</b>	<b>51,4</b>
Outros	<b>16,7</b>
<b>Total</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2012).

c) Peso específico aparente

O peso específico aparente refere-se ao peso do resíduo solto, em relação ao volume ocupado por ele, sem qualquer compactação (MONTEIRO et al., 2001).

d) Teor de umidade

O teor de umidade que compreende a quantidade de água existente na massa dos resíduos sólidos, medida em percentual do seu peso (MONTEIRO et al., 2001).

e) Compressividade

Segundo a Monteiro et al. (2001) a compressividade que é a redução do volume dos resíduos sólidos quando submetidos a uma pressão.

### 3.1.2 Características Químicas

Para a escolha de um tratamento mais adequado ao resíduo, é importante analisar as características químicas. Monteiro et. al. (2001) descreve tais características da seguinte forma:

- Poder calorífico: indica a capacidade potencial de um material desprender determinada quantidade de calor quando submetido à queima. O poder calorífico médio do lixo domiciliar se situa na faixa de 5.000kcal/kg.
- Potencial de Hidrogênio (pH): indica o teor de acidez ou alcalinidade dos resíduos. Em geral, situa-se na faixa de 5 a 7.

- Composição química: consiste na determinação dos teores de cinzas, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, resíduo mineral total, resíduo mineral solúvel e gorduras.
- Relação carbono/nitrogênio (C/N): indica o grau de decomposição da matéria orgânica do lixo nos processos de tratamento/disposição final.

### 3.1.3 Características Biológicas

As características biológicas dos resíduos sólidos são determinadas pela população microbiana e pelos agentes patogênicos presentes no material (MONTEIRO et. al., 2001).

É de fundamental importância o conhecimento das características biológicas que aliado as características químicas podem provocar um certo grau de contaminação e através dessas pode se fazer a seleção de tecnologias de tratamento mais eficientes e a disposição final dos resíduos feita adequadamente.

Tal conhecimento tem sido usado no “desenvolvimento de inibidores de cheiro e de retardadores/aceleradores da decomposição da matéria orgânica”, podendo ser aplicados no interior de veículos de coleta para evitar/minimizar problemas com a população ao longo do percurso dos veículos (MONTEIRO et. al., 2001).

## 3.2 Gestão dos Resíduos sólidos

Pereira e Curi (2015), afirmam que o gerenciamento dos resíduos deve ser avaliado desde o seu processo produtivo até a sua disposição final, que deve ser ambientalmente segura.

Para o Monteiro et. al. (2001) a gestão integrada de resíduos sólidos consiste no “envolvimento da população e o exercício político sistemático junto às instituições vinculadas a todas as esferas dos governos municipais, estaduais e federal que possam nele atuar”.

Segundo Pereira e Curi (2015), a geração de resíduos sólidos vem tomando proporções crescentes e sendo reconhecida como um dos maiores problemas da humanidade, e ainda ressaltam que, os resíduos sólidos quando mal gerenciados ocasionam impactos negativos ao meio ambiente, à saúde pública e à economia.

Conforme Monteiro et al. (2001) a importância do acondicionamento adequado está em evitar acidentes, evitar a proliferação de vetores, minimizar o impacto visual e olfativo, reduzir a heterogeneidade dos resíduos (no caso de haver coleta seletiva) e facilitar a realização da etapa da coleta.

Quanto a coleta e transporte de resíduos, para Monteiro et. al. (2001) “significa recolher o lixo acondicionado por quem o produz para encaminhá-lo, mediante transporte adequado, a uma possível estação de transferência, a um eventual tratamento e à disposição final”.

E ainda sugere que a coleta e o transporte do lixo domiciliar produzido em imóveis residenciais, em estabelecimentos públicos e no pequeno comércio sejam efetuados pelo órgão municipal encarregado da limpeza urbana. E, os que são gerados em grandes quantidades (estabelecimentos que produzem mais que 120 litros de lixo por dia) deve ser coletado por empresas particulares, cadastradas e autorizadas pela prefeitura.

A qualidade da coleta e do transporte de lixo realizado pela concessionária de limpeza depende do adequado acondicionamento, armazenamento e disposição dos recipientes no local, dia e horários estabelecidos pelo órgão de limpeza urbana para a coleta (MONTEIRO et. al., 2001).

Para o Plano Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2012), os resíduos orgânicos, por não serem coletados separadamente, acabam sendo encaminhados para disposição final, juntamente com outros resíduos, gerando despesas que poderiam ser evitadas caso a matéria orgânica fosse conduzida para um tratamento específico.

Além de ocupar espaço nos aterros, reduzindo as suas vidas úteis, os resíduos orgânicos propiciam um ambiente favorável a proliferação de insetos e outros animais incômodos e nocivos à saúde (PENTEADO, 2011).

Conforme Rodrigues (2015), o armazenamento é a estocagem do resíduo acondicionado, que tem como objetivo acumular os resíduos até que seja realizada a coleta e destinação do mesmo. E ainda que a forma de armazenamento deve resguardar as características dos materiais, protegendo os mesmos de intempéries e do acesso não controlado de pessoas e animais.

Para diminuir os efeitos negativos destes resíduos no meio ambiente, a redução do tempo de tratamento dos resíduos é um fator importante. Montagna et al. (2012) define tratamento como uma série de procedimentos destinados a reduzir a quantidade ou o potencial poluidor dos resíduos sólidos, seja impedindo descarte de lixo em ambiente ou local inadequado, seja transformando-o em material inerte ou biologicamente estável.

O Tratamento dos Resíduos sólidos é uma das etapas mais importantes na gestão dos RS, são muitos os tratamentos existentes, os quais destacamos alguns: reciclagem, digestão anaeróbia, incineração e compostagem.

Conforme Monteiro et. al. (2001), o tratamento por reciclagem tem a finalidade de trazer os materiais como o vidro, o papel o plástico e o metal de volta à indústria para serem beneficiados e serem novamente transformados em produtos comercializáveis no mercado de consumo.

A digestão anaeróbia é um processo em que os microrganismos degradam a matéria orgânica em compostos mais simples na ausência de oxigênio e resulta na formação de sulfeto de hidrogênio, amônia, nova biomassa bacteriana e predominantemente dióxido de carbono e metano além do composto já digerido (URATANI, PALMA e SCHULTZE, 2015).

Rodrigues (2015) afirma que o tratamento por incineração se caracteriza por ser um processo de oxidação em alta temperatura, com a transformação de materiais, redução de volumes e destruição de organismos. Ainda que seja considerado eficiente possui algumas desvantagens como o elevado custo de implantação e operação (SILVA e ANDREOLI, 2010).

Em relação a disposição final dos resíduos sólidos, segundo Rodrigues (2015) consiste na última etapa do manejo, com a deposição do resíduo, de forma ordenada ou não, em local pré-determinado. A destinação final escolhida dependerá de cada tipo de resíduo.

Apesar dos avanços já conquistados em tecnologia, os resíduos em sua maioria ainda são destinados a lixões, embora o um pequeno decréscimo no ano de 2015, quando comparado ao de 2014, como podemos observar na Tabela 2.

Tabela 2 – Quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada

Disposição final	2015 – Regiões e Brasil						Brasil 2014
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil	
<b>Aterro Sanitário</b>	97	456	165	820	706	2.244	2.236
<b>Aterro Controlado</b>	110	504	148	646	366	1.774	1.775
<b>Lixão</b>	243	834	154	202	119	1.552	1.559
<b>Brasil</b>	<b>450</b>	<b>1.794</b>	<b>467</b>	<b>1.668</b>	<b>1.191</b>	<b>5.570</b>	<b>5.570</b>

Fonte: ABRELPE (2015).

Apesar da importância dos tratamentos no gerenciamento dos resíduos, descritos nesta seção, serão considerados nesse estudo, apenas a compostagem.

### 3.3 Compostagem

Dentre as técnicas de manejo de RSU, destaca-se a compostagem aeróbia, que conforme Pereira e Curi (2015) é o processo mais adequado ao tratamento dos resíduos

domiciliares, pois a maior parte dos resíduos domiciliares produzidos na maioria dos municípios brasileiros são constituídos de matéria orgânica. Os odores emanados não são agressivos e a decomposição é mais rápida (PEREIRA NETO, 2007).

Pereira Neto (2007) define a compostagem como sendo um processo de decomposição aeróbia de resíduos orgânicos por populações microbianas, podendo ser dividido nas fases de degradação ativa e maturação. E, ainda afirma que a umidade, a oxigenação, a temperatura, a concentração de nutrientes, o tamanho das partículas e o pH são os principais fatores que afetam o processo de compostagem e a atividade microbiológica.

Segundo o mesmo autor esses parâmetros apresentam limites que são, nesse caso, uma imposição técnica operacional do processo, a saber:

a) Umidade

Devido à necessidade de se obter configuração geométrica definida e manter porosidade adequada à passagem livre do ar para oxigenação do material, a umidade fica restringida a um valor máximo, situado em torno de 60%.

b) Oxigenação

A massa de compostagem pode ser oxigenada por processos artificiais (mecânicos) ou naturais (reviramento manual). A aeração tem por finalidade suprir a demanda de oxigênio requerida pela atividade microbiológica e atuar como agente de controle da temperatura.

c) Temperatura

A temperatura constitui-se um dos fatores mais indicativos da eficiência do processo de compostagem. O valor médio ideal da temperatura é de 55 °C. Temperaturas superiores a 65 °C devem ser evitadas por causarem a eliminação dos microrganismos mineralizadores, responsáveis pela degradação dos resíduos orgânicos.

d) Concentração de nutrientes

A literatura especializada registra, de forma unanime, que a relação carbono/nitrogênio satisfatória para a obtenção de alta eficiência nos processos de tratamento biológico dos resíduos sólidos orgânicos deve situar-se entre 30 e 40:1.

e) Tamanho das partículas

O tamanho da partícula de matéria orgânica que compõe a massa de compostagem também exerce grande influência. Antes da montagem das pilhas ou leiras de compostagem, os resíduos devem ser submetidos a uma correção do tamanho das partículas, o que favorece vários outros fatores, como: homogeneização da massa de compostagem, melhoria da

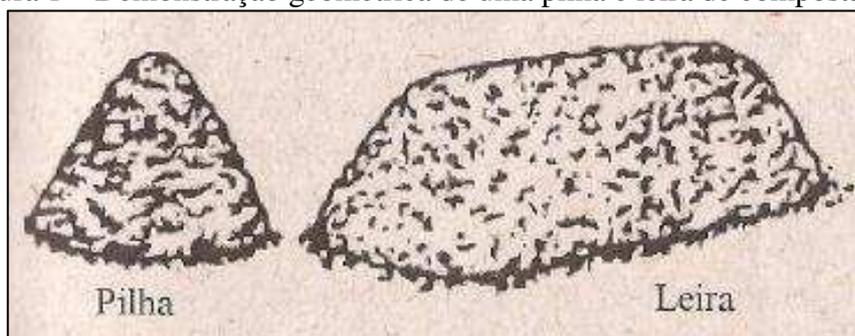
porosidade, menor compactação, maior capacidade de aeração, aumento da área superficial para degradação e menor tempo de compostagem.

f) pH

A compostagem pode ser desenvolvida numa faixa bem ampla de pH, entre 4,5 e 9,5, e que os valores extremos são automaticamente regulados pelos microrganismos por meio da degradação de compostos que produzirão subprodutos ácidos ou básicos, de acordo com a necessidade do meio.

Outro fator que determinará a qualidade do composto final é a forma em que os resíduos são alocados durante o processo de compostagem, para Pereira Neto (2007), a compostagem de baixo custo envolve processos simplificados e é realizada em pátios, onde os resíduos são colocados em montes, de forma cônica (pilhas) ou em forma prismática, com seção reta aproximadamente triangular (leiras), conforme Figura 1, que dependerá da quantidade de resíduos disponíveis.

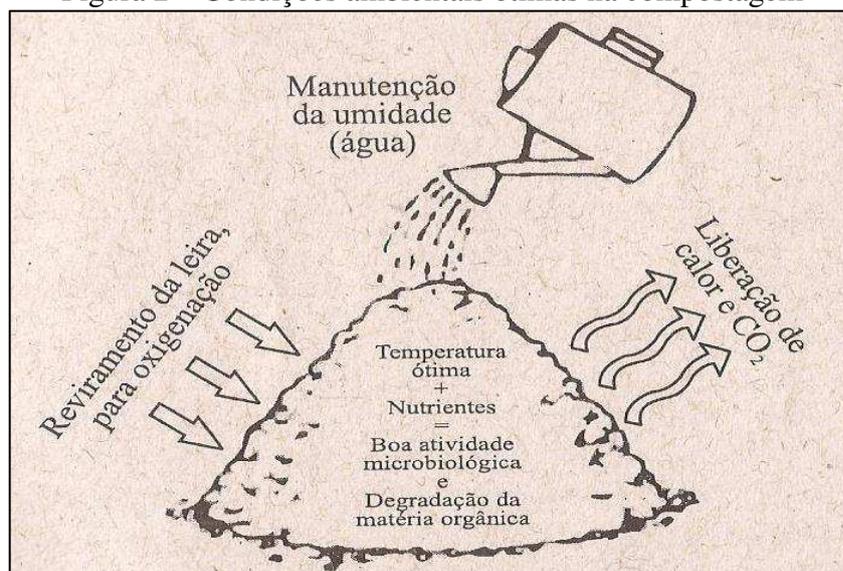
Figura 1 – Demonstração geométrica de uma pilha e leira de compostagem



Fonte: Pereira Neto (2007).

Pereira Neto (2007), ainda afirma que favorecer e garantir as condições ambientais dos microrganismos na pilha ou leira é auxiliar a decomposição da matéria orgânica, ou, seja, garantir satisfatória eficiência do processo, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Condições ambientais ótimas na compostagem



Fonte: Pereira Neto (2007).

### 3.4 Tecnologias no processo de compostagem

O setor tecnológico tem tido grandes avanços nas últimas décadas, em todas as áreas do conhecimento, se tem notoriedade, inclusive quando se refere ao tratamento dos RSU, na compostagem, por exemplo.

Os métodos tradicionais perderam espaço para os tecnológicos, como os biorreatores cilíndricos, voltado para a área comercial, por ser considerado um método dinâmico e acelerado e por ser tecnicamente adequada, pois há a automatização dos parâmetros temperatura, oxigenação e umidade, o que impede a produção de chorume, odores e insetos (BELLAYER e KONZER, 2010).

Apesar da existência dessa tecnologia que aperfeiçoa o processo de compostagem em grande escala, é importante a modernização, aperfeiçoamento e incentivo na condução dos métodos tradicionais, pois, seu acompanhamento ainda pode ser considerado rudimentar. Tendo em vista que, a produção de compostos visa dar destino adequado aos resíduos sólidos orgânicos e, por conseguinte, mitigar os impactos ambientais derivados da sua destinação em locais inapropriados, e deve estar ao alcance da sociedade em geral.

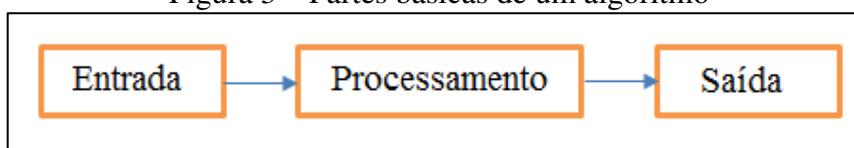
Visto que, não há nenhuma ferramenta que possibilite o acompanhamento do processo de compostagem dispostas em pilhas ou leiras, o desenvolvimento de uma planilha eletrônica tem o intuito de simplificar a condução da compostagem prezando pela redução do desperdício de materiais e pela otimização do tempo do processo, bem como pela garantia da qualidade do composto produzido.

### 3.5 Linguagem de programação

#### 3.5.1 Lógica e linguagem de programação

Programação consiste basicamente em um processo de escrita, para que um programa computacional execute tarefas, e para serem executadas é preciso a utilização de algoritmos do qual é uma sequência finita de instruções para a solução de um determinado problema, em síntese funciona com a entrada de dados, o processamento desses dados e saída de informação, como pode-se observar na Figura 3.

Figura 3 – Partes básicas de um algoritmo



Fonte: Autoria própria.

Deste modo, tais dados precisam seguir uma ordem, ou seja, uma sequência lógica, caso contrário a informação que foi gerada não servirá ao usuário, sendo necessário assim, o uso da lógica de programação.

Segundo Lima (2009) lógica de programação é a técnica de encadear pensamentos para atingir determinado objetivo, é a base para qualquer programador começar a trabalhar com qualquer linguagem, seja ela PHP, ASP, Visual Basic ou qualquer outra linguagem de programação existente.

E, ainda, define linguagem de programação como sendo um método padronizado para expressar instruções para um computador. É um conjunto de regras sintáticas e semânticas usadas para definir um programa de computador. E afirma que uma linguagem permite que um programador especifique precisamente sobre quais dados um computador vai atuar, como esses dados serão armazenados ou transmitidos e quais ações devem ser tomadas sob várias circunstâncias.

Para Fontes e Silva (2008), atualmente as linguagens de programação oferecem uma vasta gama de recursos, que permitem desde a elaboração de simples programas para cálculos matemáticos até a construção de sistemas de computação com engenharia complexa, a integração de dados alfanuméricos, geográficos, fotográficos ou sonoros, que podem ser lidos e armazenados em bases de dados localizadas em qualquer parte do planeta.

### 3.5.2 Visual Basic for Applications –VBA

Segundo Dreux e Azevedo (2009), *Visual Basic* ou VB é uma linguagem de programação que tem por base a linguagem *BASIC* tratando-se de uma linguagem de alto nível, que utiliza como modelo de programação a orientação a objetos. E o VBA (*Visual Basic for Applications*) é uma ramificação do VB, desenvolvido para atuar em harmonia com as aplicações do *Microsoft Office*, tais como: *Excel*, *Word*, *PowerPoint*, *Access* e outras.

O VBA, é uma linguagem de programação desenvolvida pela *Microsoft*, que segundo Walkenbach (2012), apresenta como usos a automatização de tarefas realizadas frequentemente, automatização de operações repetidas, criação de comandos personalizados, dentre outros. O autor, ainda cita algumas das vantagens e desvantagens de se automatizar tarefas no *Excel*.

#### **Vantagens:**

- O *Excel* sempre executa tarefas exatamente do mesmo jeito.
- Executa tarefas muito mais rápido que se fizesse manualmente.
- Se for um bom programador de macros, o *Excel* sempre executará tarefas sem erros.
- Se configurar corretamente o *Excel*, qualquer um sem o conhecimento do *Excel*, pode executar tarefas.
- O *Excel* pode fazer coisas que por outro lado parece ser impossível, podendo fazer você ficar bastante popular no trabalho.
- Não precisa ficar sentado à frente do computador, desperdiçando tempo, o *Excel* faz o trabalho.

#### **Desvantagens:**

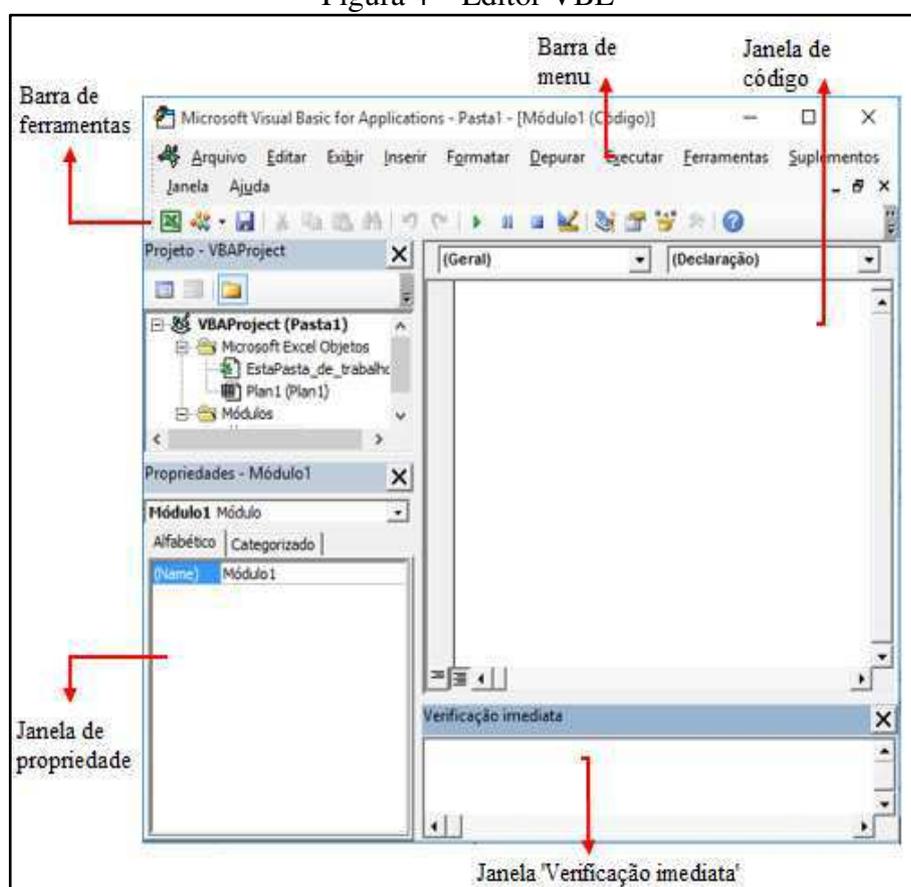
- Tem que saber como escrever programas em VBA.
- Outras pessoas que precisem usar VBA devem ter suas próprias cópias do programa *Excel*.
- Às vezes, tem coisas que dão errado. Em outras palavras, não se pode confiar cegamente em um programa VBA, que em todas as circunstâncias ele funcionará corretamente.
- VBA é como um alvo em movimento. A *Microsoft* continuamente atualiza o *Excel*. Mesmo a *Microsoft* se esforçando para que haja uma compatibilidade entre as versões,

o código VBA escrito para *Excel* 2007, provavelmente não servirá em versões anteriores e/ou futuras do *Excel*.

O domínio das práticas de programação em linguagem VBA possibilita ao usuário, seja este, profissional, estudante ou professor, o desenvolvimento de diferentes aplicações para fins empresariais ou acadêmicos (SALES, 2015).

Para que as ações sejam criadas e executadas em VBA, a guia desenvolvedor deve estar habilitada, para que os comandos sejam escritos ou gravados, utiliza-se o *Visual Basic Editor* (VBE), Figura 4.

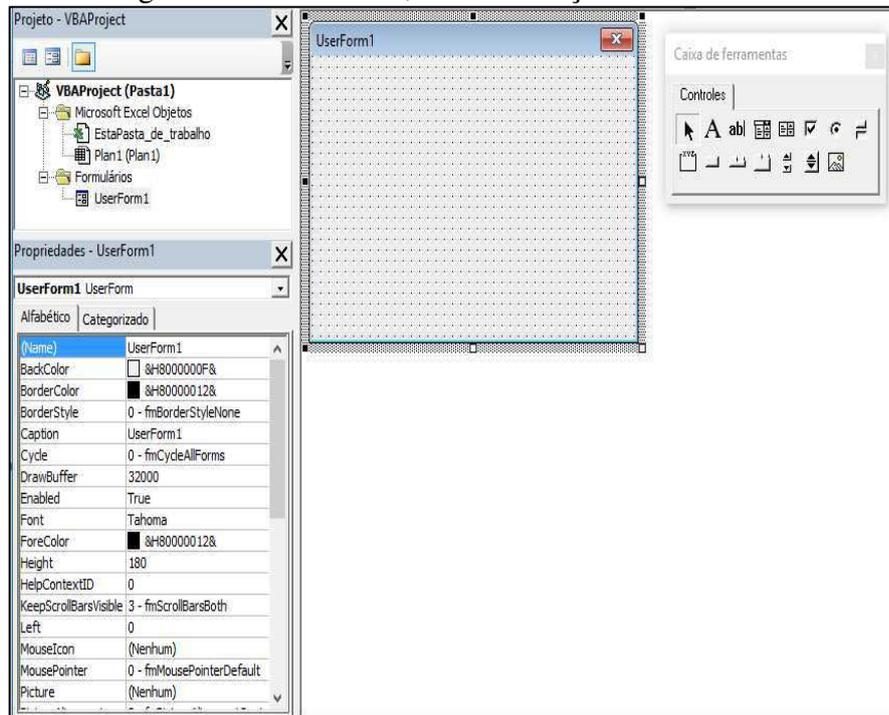
Figura 4 – Editor VBE



Fonte: Autoria própria.

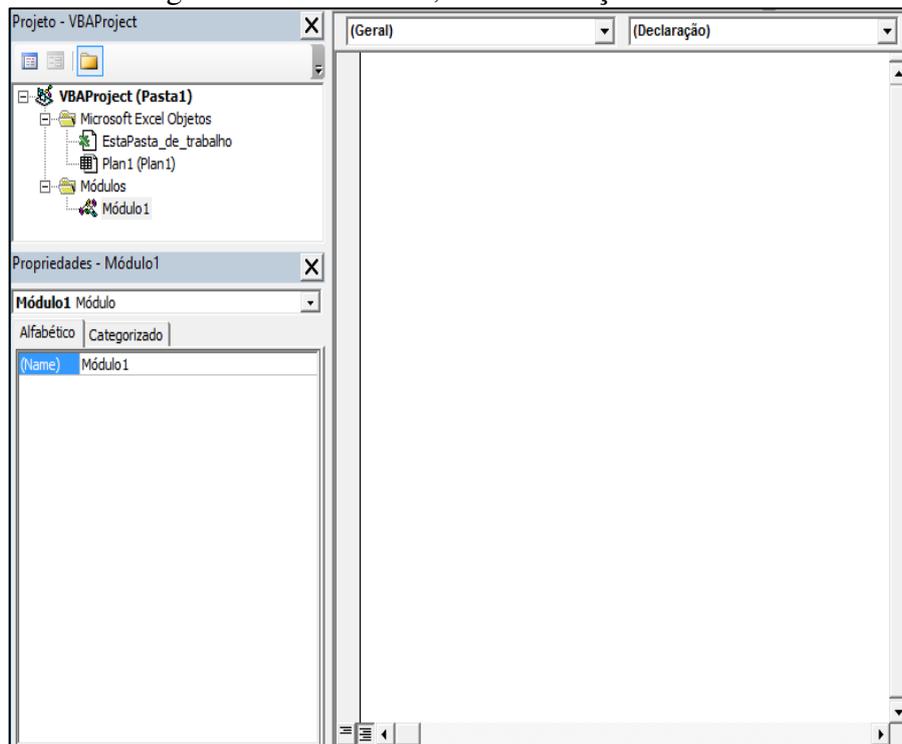
No VBE, as janelas *Project Explorer*, janela de propriedades e de controles estarão visíveis, caso contrário torne-as visíveis a partir do botão “Exibir”, nesse ambiente também serão inseridos os *User Forms*, módulos e objetos, como mostra a Figuras 5 e 6.

Figura 5 – Editor VBE, com a inserção de *User Form*



Fonte: Autoria própria.

Figura 6 – Editor VBE, com a inserção de módulo



Fonte: Autoria própria.

Para inserção dos comandos necessários seja em módulos, formulários e/ou projetos utiliza-se rotinas, que podem ser públicas ou privadas. As rotinas públicas (*Public*) podem ser chamadas dentro de qualquer rotina e de qualquer parte do projeto, como módulos,

formulários, objetos e, também ficam disponíveis em outro projeto aberto, desde que você adicione a referência a esse projeto (SENAC, 2010).

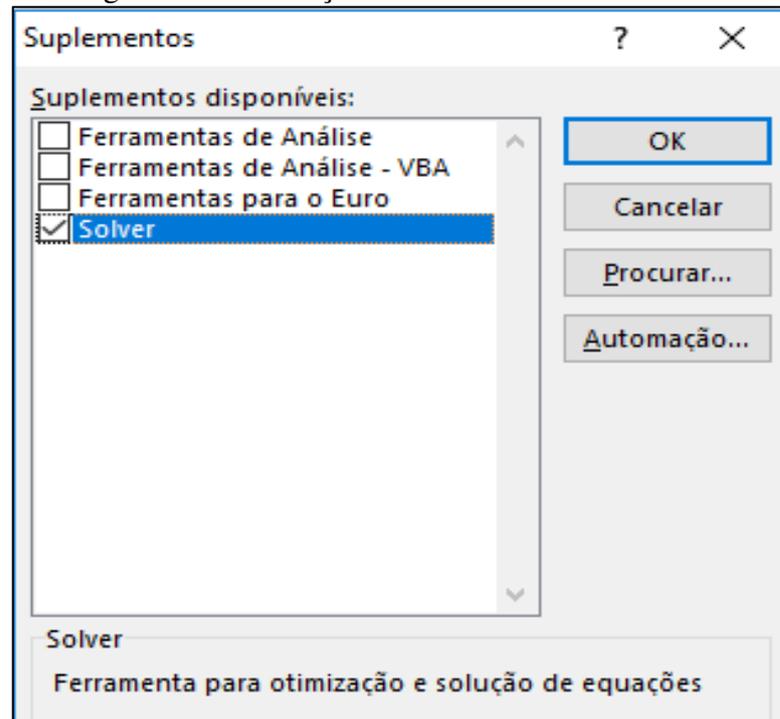
Ainda segundo o mesmo autor, as rotinas privadas (*Private*) só podem ser executadas no módulo onde foram escritas e serem chamadas dentro das rotinas que pertençam ao mesmo módulo ou objeto. Quando chamadas a partir de outro módulo, ocorrerá o erro: “*Sub* ou *Function* não definida”. A forma da declaração do procedimento com rotina pública e rotina privada, é descrita conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Procedimento com rotina pública e privada

<p><b>Sintaxe sub-rotinas:</b></p> <p><b><i>Public Sub</i></b> &lt;nome_da_macro&gt; ( )          &lt;corpo_da_macro&gt;  <b><i>End Sub</i></b></p>
<p><b><i>Private Sub</i></b> &lt;nome_da_macro&gt; ( )          &lt;corpo_da_macro&gt;  <b><i>End Sub</i></b></p>
<p><b>Sintaxe Funções:</b></p> <p><b><i>Public Function</i></b> &lt;Nome Função&gt;(argumentos)          &lt;Nome da Função&gt; = &lt;Valor / Expressão&gt;  <b><i>End Function</i></b></p>
<p><b><i>Private Function</i></b> &lt;Nome Função&gt;(argumentos)          &lt;Nome da Função&gt; = &lt;Valor / Expressão&gt;  <b><i>End Function</i></b></p>

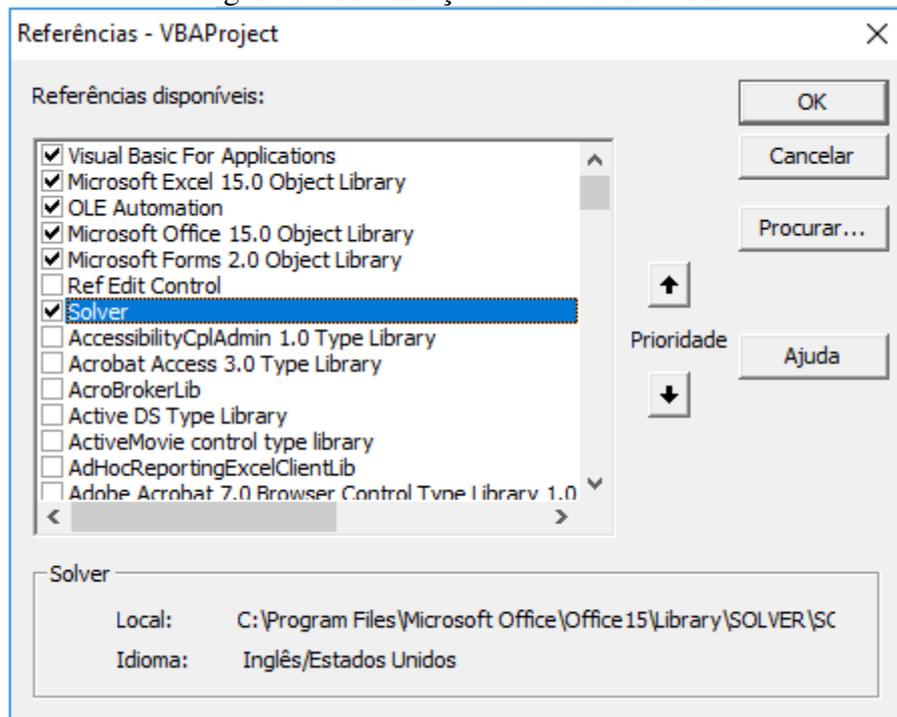
Fonte: Adaptado de SENAC (2010).

No desenvolver de alguns programas utiliza-se o *solver*, que é uma ferramenta disponível no *Excel* que visa a encontrar uma solução ótima para os problemas de programação linear (PEDRO, 2012), mas, para que isso seja possível é necessário habilitar o *solver* na interface do *Excel* (Figura 7).

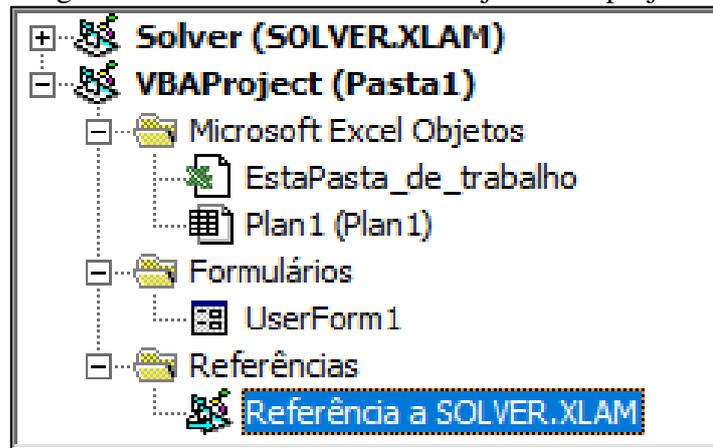
Figura 7 – Habilitação do *solver* na interface *Excel*

Fonte: Autoria própria.

Verifica-se na Figura 8, como estabelecer uma referência para o suplemento no VBE, e na Figura 9, a visualização dessa referência na janela de projetos.

Figura 8 – Habilitação do *solver* no VBE

Fonte: Autoria própria.

Figura 9 – Referência do *solver* na janela de projetos

Fonte: Autoria própria.

Com o *solver* estabelecida no editor do *Visual Basic*, as funções, descritas no Quadro 4, oferecida pela *Microsoft Excel Solver* estarão disponíveis para a utilização de macros.

Quadro 4 – Funções do *solver*

Funções	Descrição
<i>SolverReset</i>	Apaga todas as configurações anteriores para um novo cálculo.
<i>SolverOk</i>	Identifica a célula que contém a função objetivo; Especifica se o problema é de maximização ou minimização; Identifica as células com as variáveis de decisão.
<i>SolverAdd</i>	Essa função adiciona uma nova restrição cada vez que é chamada e tem três argumentos.
<i>SolverOptions</i>	Essa função permite escolher qualquer uma das opções da janela de opções do <i>Solver</i> .
<i>SolverSolve</i>	Essa função é equivalente a clicar no botão “ <i>Resolver</i> ” na usual janela do <i>Solver</i> para executar a otimização.

Fonte: Adaptado de OTSUKA (2012).

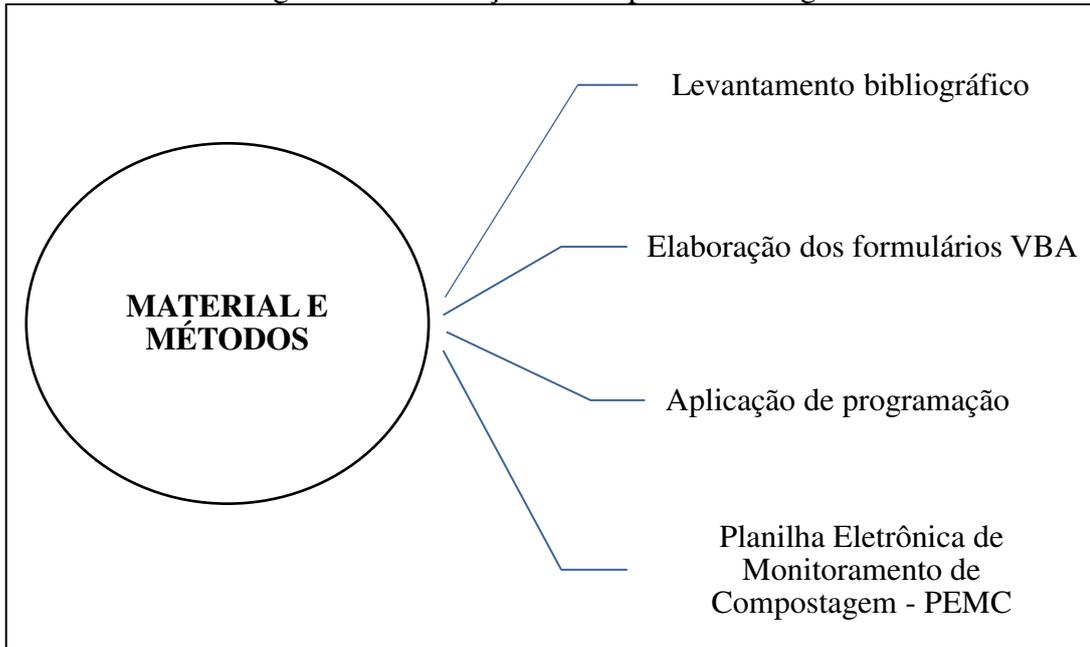
Para Rocha (2011) a linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA) é uma importante alternativa para automatização do uso da planilha do *Excel*. E, ainda, ressalta que as planilhas eletrônicas do *Excel* vêm conquistando um ótimo espaço no mercado, principalmente, em grandes indústrias, pois o *Excel* permite o desenvolvimento de aplicações personalizadas, além de possibilitar a automatização de sistemas de gerenciamento.

Cezarino, Filho e Ratto (2009), afirmam que o grande atrativo destas planilhas é a facilidade de criar interfaces flexíveis para o usuário com um custo baixo, e assim, permitir que ele possa tomar decisões dentro de um ambiente customizado.

## 4 MATERIAIS E METODOS

A metodologia foi embasada em diferentes metodologias e autores, no tocante as temáticas compostagem e programação, visando adquirir informações fundamentais para o desenvolvimento da planilha eletrônica. Para melhor compreensão, a metodologia foi dividida em etapas, conforme pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Descrição das etapas metodológicas



Fonte: Autoria própria.

### 4.1 Levantamento bibliográfico

Para o desenvolvimento da planilha eletrônica, utilizou-se vários conceitos importantes de compostagem, baseado em Pereira Neto (2007), cujas equações estão descritas a seguir.

A Equação (1) refere-se à quantidade de massa seca (Kg) de um determinado resíduo e serve para verificar a mistura de materiais que fornecera uma relação C/N adequada, e para o dimensionamento de pilhas ou leiras.

$$ms = (1 - h) \times mh \quad (1)$$

Em que:

$ms$ =massa seca;

$h$ =umidade;

$mh$ =massa úmida.

Para estimar a relação C/N adequada que tem por finalidade manter o processo de compostagem em equilíbrio utiliza-se a Equação (2). Outra equação utilizada para o ajuste da relação C/N é a do erro, representada na Equação (3).

$$R = \frac{\sum ms * \%C}{\sum ms * \%N} \quad (2)$$

$$Erro = Abs(R - CN_{ideal}) \quad (3)$$

Em que:

$R$  = relação carbono/nitrogênio;

$ms$  = massa seca;

$\%C$  = carbono (em porcentagem);

$\%N$  = nitrogênio (em porcentagem).

$Abs$  = valor absoluto

$R$  = relação carbono/nitrogênio;

$CN_{ideal}$  = carbono/nitrogênio ideal.

Corroborando com a Equação 4, podemos calcular o percentual de umidade atual dos resíduos, que serve como base indicar a sobrevivência de microrganismos durante o processo. Já a Equação (5) trata-se do cálculo em que mostra a quantidade necessária de água a adicionar ou retirar dos resíduos.

$$h_{atual} = \left( \frac{mh_{total} - ms_{total}}{mh_{total}} \right) * 100 \quad (4)$$

$$Adição/subtração H_2O = \left( \frac{ms_{total}}{1 - h_{ideal}} \right) - mh_{total} \quad (5)$$

Em que:

$h_{atual}$  = umidade atual;

$mh_{total}$  = massa úmida total;

$ms_{total}$  = massa seca total.

$h_{ideal}$  = umidade ideal;

$mh_{total}$  = massa úmida total.

Para dimensionamento do volume e do comprimento de leiras, utilizou-se as Equações (6) e (7), respectivamente.

$$V_{leira} = \left( \frac{mh_{total} + ms_{total}}{D} \right) \quad (6)$$

$$C = \left( \frac{V_{leira}}{B + h/2} \right) \quad (7)$$

Em que:

$V_{leira}$  = volume da leira;

$mh_{total}$  = massa úmida total;

$ms_{total}$  = massa seca total;

$D$  = densidade.

$C$  = comprimento da leira;

$V_{leira}$  = volume da leira;

$B$  = largura da leira;

$H$  = altura.

Utilizou-se as Equações (8) e (9) para o dimensionamento de pilhas. A equação (10) foi usada para determinação do número de pilhas necessárias para comportar a quantidade de resíduos disponíveis.

$$V_{total} = \left( \frac{mh_{total} + ms_{total}}{D} \right) \quad (8)$$

$$V_{pilhas} = \left( \frac{1}{3} \right) * \Pi * r^2 * h \quad (9)$$

$$n_{pilhas} = \left( \frac{V_{total}}{V_{pilhas}} \right) \quad (10)$$

Em que:

$V_{leira}$  = volume da leira;

$mh_{total}$  = massa úmida total;

$ms_{total}$  = massa seca total;

$D$  = densidade.

$V_{pilhas}$  = volume da pilha;

$r$  = raio;

$H$  = altura.

$n_{pilhas}$  = número de pilhas.

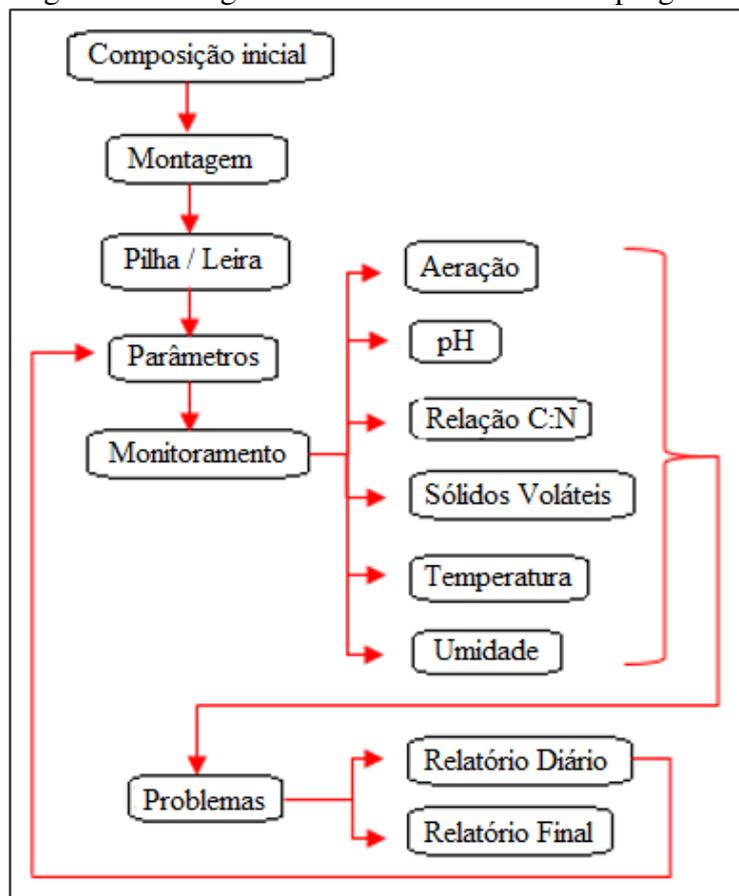
Assim como a necessidade de buscas bibliográficas para melhor entender o processo de compostagem, a aprendizagem da linguagem VBA também se fez necessária, pois, é de suma importância o entendimento de seu funcionamento, suas aplicações e suas restrições, já que o VBA é uma ótima ferramenta para o desenvolvimento de software para quem não tem formação em TI.

O estudo bibliográfico referente ao VBA se deu durante todo o tempo de construção do programa, tendo em vista que a cada implementação de dados, um novo conhecimento se fazia necessário.

#### 4.2 Elaboração dos formulários VBA

Após todas as informações coletadas disponíveis e dados estabelecidos, a fase de desenvolvimento foi realizada utilizando o programa *Microsoft Excel 2013*, no ambiente de programação do VBE, usando a linguagem de programação VBA, que se deu com a criação de formulários e inserção de elementos fundamentais, seguindo a rotina descrita na Figura 11.

Figura 11 – Diagrama de desenvolvimento do programa



Fonte: Autoria própria.

Os principais componentes que integram a planilha eletrônica foram alocados em módulos distintos interligados entre si, a saber:

- Composição inicial: compreende a identificação dos materiais orgânicos a serem utilizados no processo e a composição nutricional dos mesmos.
- Pilha e leira: consiste nos cálculos de dimensionamento para a disposição dos resíduos em pilhas ou leira, a partir dos dados coletados no cenário anterior;
- Monitoramento: é o acompanhamento dos parâmetros essenciais no processo de compostagem, com destaque para temperatura, aeração, pH, umidade, sólidos voláteis e relação C/N;
- Relatórios: identificação de possíveis problemas durante o processo, e a geração de relatórios diários e final, que compreende a apresentação de resultados parciais e final do processo, respectivamente, incluindo gráficos referentes aos parâmetros analisados, e a proposição de possíveis soluções (sistema especialista).

### **4.3 Aplicação da programação**

A parte de programação da planilha eletrônica se deu pela introdução dos formulários, estruturação e escrita dos comandos e gravação de macros, seguindo a sequência descrita a seguir.

Na construção do formulário de informação, utilizou-se da escrita de comandos para a área de apresentação da informação e de um *CommandButton*, com a finalidade de fechar a janela aberta e dar prosseguimento ao programa.

No formulário de inicialização, a inscrição dos códigos se deu em um procedimento *activate*, onde foi inserido o tempo necessário para as configurações de aplicações fossem realizadas, também faz uma apresentação básica, com o nome do programa, seus desenvolvedores, e a versão.

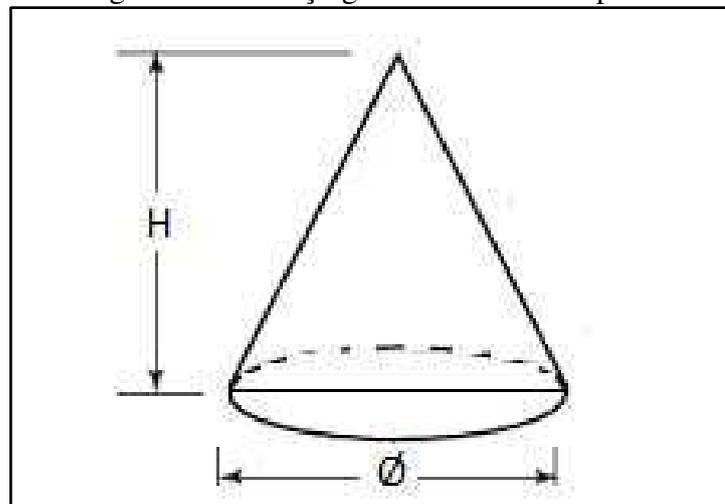
Para a construção e validação dos dados do formulário composição inicial, utilizou-se a Tabela 3, localizada no Anexo A, a qual traz o percentual de carbono e nitrogênio de alguns materiais utilizados para o composto e para a concentração de nutrientes ideal e umidade ideal, fica a critério do usuário a sua definição.

A unidade medida de cada resíduo deve ser medida e preenchida nas caixas de textos referentes a ela pelo condutor do processo. Quanto a determinação da quantidade de massa seca e úmida, utilizou-se as Equações de 1 a 5 descritas anteriormente. Algumas caixas de textos, as de cores azuis são preenchidas automaticamente, não havendo assim a necessidade de preenchê-las, o mesmo vale para os demais, como a relação carbono/nitrogênio, erro, a percentagem de umidade atual e adição/subtração de água em litros, haja vista que o *solver* irá automatizá-las.

A partir das informações adquiridas no formulário anterior, prossegue-se ao de montagem de pilhas ou leira, que ficará a critério do condutor a escolha. Com intuito de auxiliá-lo no dimensionamento, utilizou-se as faixas recomendadas por Pereira Neto (2007).

Para o dimensionamento de uma pilha, o diâmetro ( $\emptyset$ ) e a altura ( $H$ ) recomendados estão na faixa entre 1,8 ~ 2,2m para o diâmetro e 1,5 ~ 2,0m para a altura, conforme Pereira Neto (2007). Por meio da Figura 12 é possível visualizar melhor o esboço geométrico de uma pilha, mostrando seu  $\emptyset$  e  $H$ .

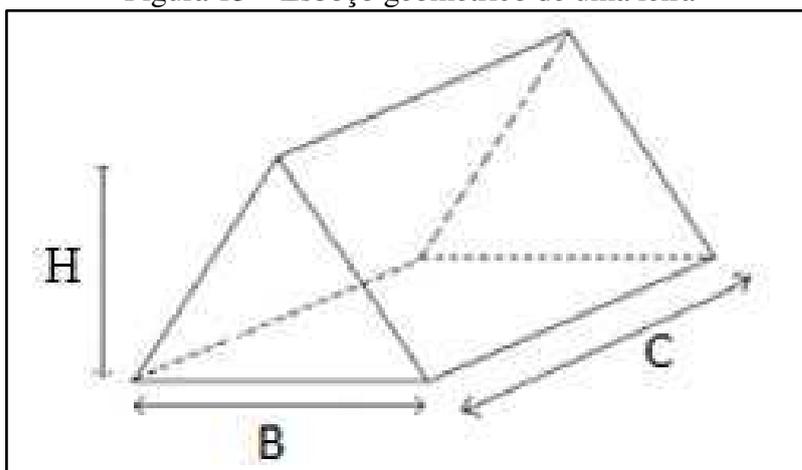
Figura 12 – Esboço geométrico de uma pilha



Fonte: Autoria própria.

No dimensionamento de leiras (Figura 13), as faixas recomendadas, segundo o mesmo autor são: Largura ( $B$ ) = 1,5 ~ 3,0 m e Altura ( $H$ ) = 1,5 ~ 2,0 m. Já para o comprimento ( $C$ ), utilizou-se as Equações 6 e 7 mostradas anteriormente.

Figura 13 – Esboço geométrico de uma leira



Fonte: Autoria própria.

Com a realização do dimensionamento de pilhas ou leira, a próxima etapa de construção foi o monitoramento dos parâmetros, aeração, pH, relação C: N, sólidos voláteis, temperatura e umidade.

No formulário de monitoramento da aeração, o usuário que irá conduzir o processo de compostagem, deve marcar um botão de opção todos os dias, indicando se a pilha ou leira será ou não revirada, sabendo que o revolvimento deverá ser feito a cada três dias, manualmente.

No monitoramento dos parâmetros, temperatura, pH, relação C/N, sólidos voláteis e umidade, seguiu-se a metodologia aplicada por Pedrosa et al. (2013), devendo-se medir a temperatura diariamente, no topo, centro e base da pilha ou leira, considerando a média dessas temperaturas, com um termômetro digital.

O monitoramento do pH e dos sólidos voláteis, devem ser realizados a cada três dias, sendo as amostras coletadas durante o processo de revolvimento das pilhas ou leira. Na determinação do pH utiliza-se um pHmetro digital e para os sólidos voláteis, estima-se com base na quantidade de cinzas, após a queima da matéria orgânica. Com relação a umidade, a determinação da mesma pode ser verificada com auxílio de balança analítica e estufa.

Ainda adotando a metodologia de Pedrosa et al. (2013), para a análise da relação C: N, é recomendado a observação do comportamento desse parâmetro no início e final do processo de compostagem.

Na elaboração do formulário para geração de relatórios, utilizou-se o Quadro 5, situada no Anexo B, onde são descritos possíveis problemas que podem ocorrer durante o período de compostagem, assim como suas possíveis causas e soluções.

#### **4.4 Planilha Eletrônica de Monitoramento de Compostagem - PEMC**

O desenvolvimento da PEMC surgiu da necessidade percebida na condução do processo de compostagem. A mesma apresenta-se como uma nova modelagem para a solução de problemas no gerenciamento desses processos.

A PEMC tem como finalidade possibilitar ao condutor um maior controle e praticidade no monitoramento dos parâmetros, bem como tornar mais ágil e fácil a condução do processo de compostagem, principalmente na manipulação dos dados. A planilha auxilia desde o controle de condutores do processo até no aferimento dos parâmetros para garantir um composto de qualidade.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Apresentação e descrição do funcionamento do programa

O programa inicia-se com o formulário de inicialização, que traz o nome de seus desenvolvedores e configura o sistema para o início de recebimento de dados, como se apresenta na Figura 14.

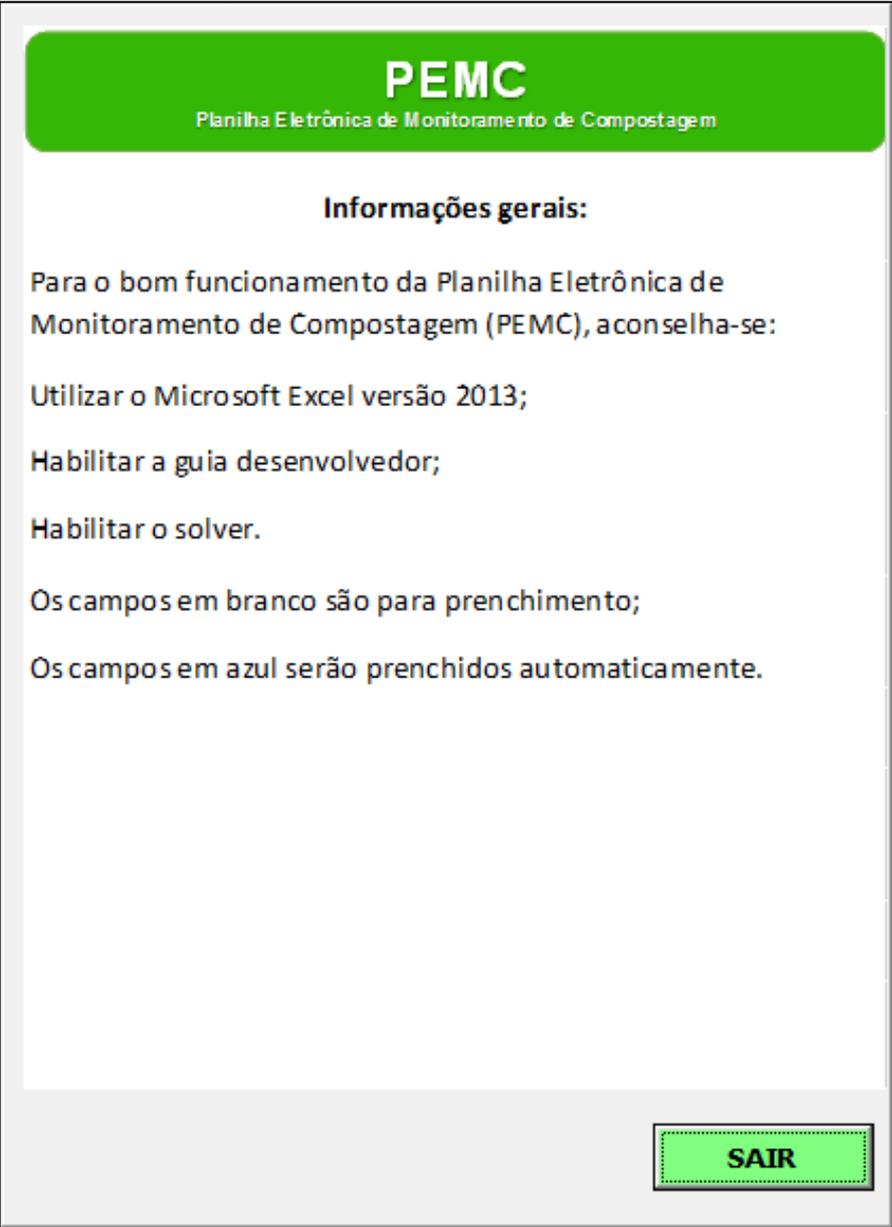
Figura 14 – Formulário de inicialização



Fonte: Autoria própria.

Após o carregamento um outro formulário é automaticamente aberto, como mostra-se na Figura 15, um formulário de informações pertinentes a execução, com a melhor versão do *Excel* para evitar possíveis falhas, habilitação do desenvolvedor e *solver*, dentre outras, com intuito de um melhor funcionamento.

Figura 15 – Formulário de informações



**PEMC**  
Planilha Eletrônica de Monitoramento de Compostagem

**Informações gerais:**

Para o bom funcionamento da Planilha Eletrônica de Monitoramento de Compostagem (PEMC), aconselha-se:

Utilizar o Microsoft Excel versão 2013;

Habilitar a guia desenvolvedor;

Habilitar o solver.

Os campos em branco são para preenchimento;

Os campos em azul serão preenchidos automaticamente.

**SAIR**

Fonte: Autoria própria.

Ao clicar no botão “SAIR” do formulário citado anteriormente, um outro formulário é automaticamente aberto (Figura 16), que apresenta o formulário de *login*, onde o usuário deverá acessar o *software* por meio de um *login* e senha, caso esteja cadastrado, senão deverá clicar no botão “Cadastrar Novo Usuário”, e será redirecionado a outro formulário.

Figura 16 – Formulário de *login*

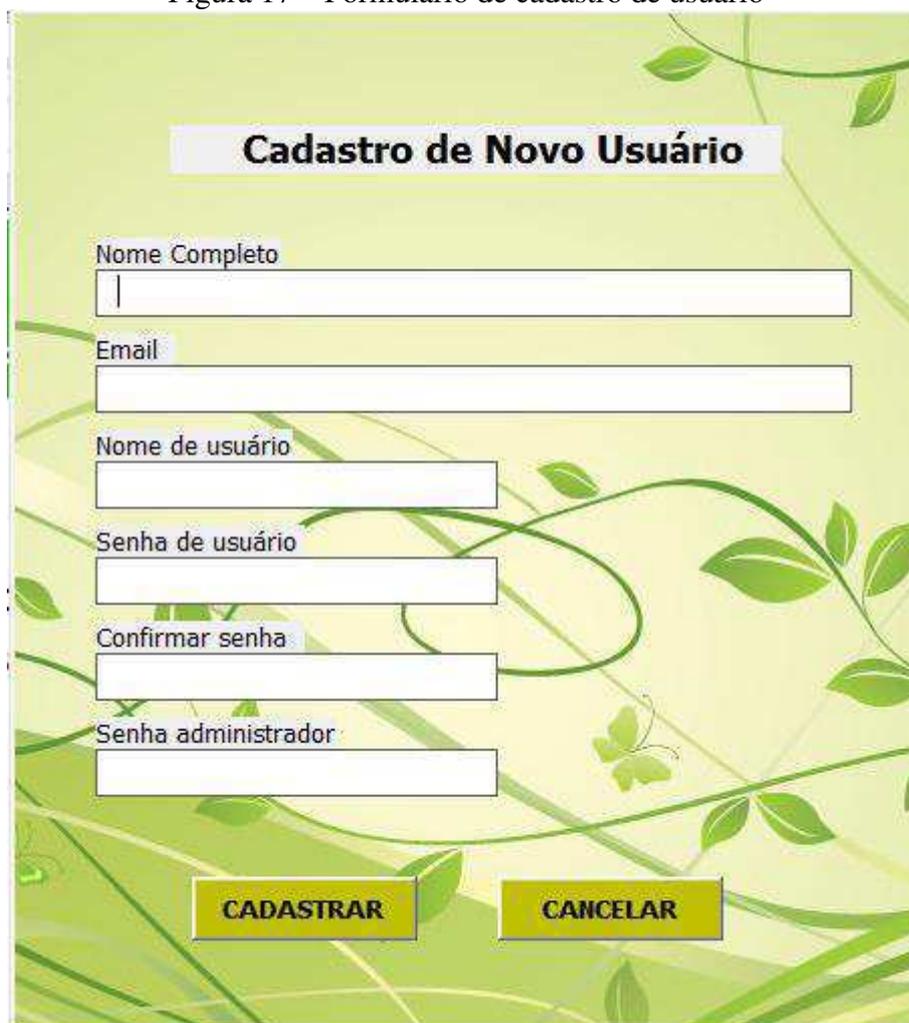
Formulário de login com o seguinte layout:

- Campos de entrada para "Usuário" e "Senha".
- Botão amarelo "ENTRAR".
- Botão verde "SAIR".
- Botão amarelo "Cadastrar Novo usuário".

Fonte: Autoria própria.

Ao clicar no botão indicado da figura anterior, uma nova interface é aberta, como apresenta-se na Figura 17, a qual exibe uma tela com os campos que devem ser todos preenchidos, caso o usuário não seja cadastrado.

Figura 17 – Formulário de cadastro de usuário



O formulário de cadastro de novo usuário possui um fundo verde com uma ilustração de plantas e folhas. No topo, há um cabeçalho com o título "Cadastro de Novo Usuário". Abaixo dele, há cinco campos de entrada de texto, cada um com um rótulo à esquerda: "Nome Completo", "Email", "Nome de usuário", "Senha de usuário" e "Confirmar senha". Abaixo dos campos de senha, há um campo adicional rotulado "Senha administrador". Na base do formulário, há dois botões amarelos: "CADASTRAR" à esquerda e "CANCELAR" à direita.

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 18, pode-se fazer uma ilustração da tela de menu do programa, em que traz quatro opções de escolha, que farão com que o usuário percorra por todo o programa, além do botão "SAIR", que fechará o programa.

Figura 18 – Formulário com menu inicial



O formulário de menu inicial possui um fundo verde sólido. Ele contém cinco botões brancos com bordas cinzas. Os botões "Composição Inicial", "Parâmetros", "Relatório" e "Informações" estão dispostos em uma grade de 2x2. O botão "SAIR" está centralizado na linha inferior, abaixo da grade.

Fonte: Autoria própria.

Ao clicar no botão “Composição Inicial” do formulário anterior, a tela de composição inicial (Figura 19) será aberta.

Figura 19 – Formulário de composição inicial

Fonte: Autoria própria.

No campo, Composição inicial, o usuário preencherá os campos em branco de acordo com os seus dados disponíveis, como a quantidade de resíduos, a umidade, os tipos de resíduos (material orgânico) e a composição química, sendo que estes dois últimos, pode-se optar dentre uma lista com os valores disponíveis nas caixas de combinação. Para os campos de cor azul não há necessidade de preenchimento, pois serão calculados automaticamente e posteriormente ajustados pelo *solver*.

A partir dos dados inseridos nos campos do formulário anterior, o usuário poderá decidir no formulário (Figura 20), qual a forma de disposição desses resíduos, se fará a montagem em pilhas ou leiras (Figuras 21 e 22, respectivamente).

Figura 20 – Formulário de montagem

MONTAGEM

Pilha

Leira

OK

Voltar

Fonte: Autoria própria.

Figura 21 – Formulário de pilha

PILHA | LEIRA

$\rho =$   m

$\varnothing =$   m

H =  m

Cálculos

massa =  Kg

Vol. pilhas  m<sup>3</sup>

Vol. total =  m<sup>3</sup>

Num. pilhas

Calcula

VOLTAR PRÓXIMO SAIR

\* Faixa recomendada:  
 $h = 1,5 \sim 2,0$  m  
 $\varnothing = 1,8 \sim 2,2$  m

Fonte: Autoria própria.

Figura 22 – Formulário de leira

PILHA LEIRA

Diagrama de uma leira com dimensões  $H$ ,  $B$  e  $C$ .

\* Faixa recomendada:  
 $H = 1,5 \sim 2,0$  m  
 $B = 1,5 \sim 3,0$  m

$\rho =$   m  
 $B =$   m  
 $H =$   m

**Cálculos**

massa =  Kg  
Vol. leiras =  m<sup>3</sup>  
Área Seção =  m<sup>2</sup>  
 $C =$   m

**Calcular Comprimento**

**VOLTAR** **PRÓXIMO** **SAIR**

Fonte: Autoria própria.

Com a definição da forma como os resíduos serão dispostos, começa a etapa de monitoramento, onde iniciará com a escolhas dos parâmetros, como ilustrada na Figura 23, a tela para a seleção desses parâmetros.

Figura 23 – Formulário de parâmetros

Aeração  Sólidos Voláteis

pH  Temperatura

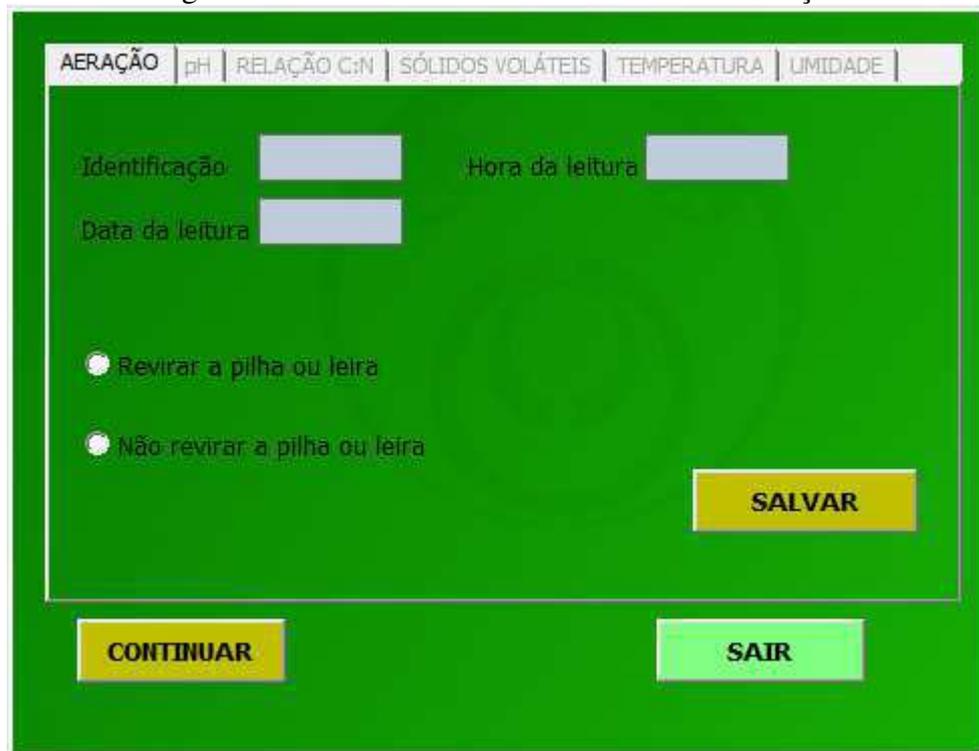
Relação C:N  Umidade

**CONTINUAR** **SAIR**

Fonte: Autoria própria.

Nas Figuras 24, 25, 26, 27, 31 e 32, são apresentados os formulários para monitoramento dos parâmetros escolhidos anteriormente, os quais devem ser preenchidos pelo usuário, são intuitivos e não apresentam dificuldade.

Figura 24 – Formulário de monitoramento de aeração



O formulário de monitoramento de aeração apresenta uma interface com fundo verde. No topo, há uma barra de navegação com abas para: AERAÇÃO (selecionada), pH, RELAÇÃO C:N, SÓLIDOS VOLÁTEIS, TEMPERATURA e UMIDADE. O formulário principal contém os seguintes campos e opções:

- Campos de texto para: Identificação, Hora da leitura e Data da leitura.
- Opções de seleção por rádio:
  - Revirar a pilha ou leira
  - Não revirar a pilha ou leira
- Botões de ação: SALVAR (laranja), CONTINUAR (laranja) e SAIR (verde).

Fonte: Autoria própria.

Figura 25 – Formulário de monitoramento de pH

The screenshot shows a software interface for monitoring pH. At the top, there is a navigation bar with tabs: AERAÇÃO, pH (selected), RELAÇÃO C:N, SÓLIDOS VOLÁTEIS, TEMPERATURA, and UMIDADE. The main area has a green background. It contains input fields for 'Identificação', 'Data da leitura', and 'pH'. There are also 'Hora da leitura' and 'SALVAR' buttons. At the bottom, there are 'CONTINUAR' and 'SAIR' buttons.

Fonte: Autoria própria.

Figura 26 – Formulário de monitoramento de relação C: N

The screenshot shows a software interface for monitoring the C:N ratio. It has the same navigation bar as Figure 25, with 'RELAÇÃO C:N' selected. The main area has a green background. It contains input fields for 'Identificação', 'Data da leitura', and 'C:N'. There are also 'Hora da leitura' and 'SALVAR' buttons. At the bottom, there are 'CONTINUAR' and 'SAIR' buttons.

Fonte: Autoria própria.

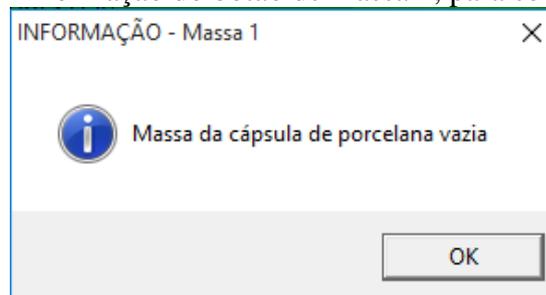
Para o preenchimento dos campos das massas na Figura 27, há um botão de informação ao lado de cada campo, que indicará como serão preenchidos, como exibe-se nas Figuras 28, 29 e 30.

Figura 27 – Formulário de monitoramento de sólidos voláteis



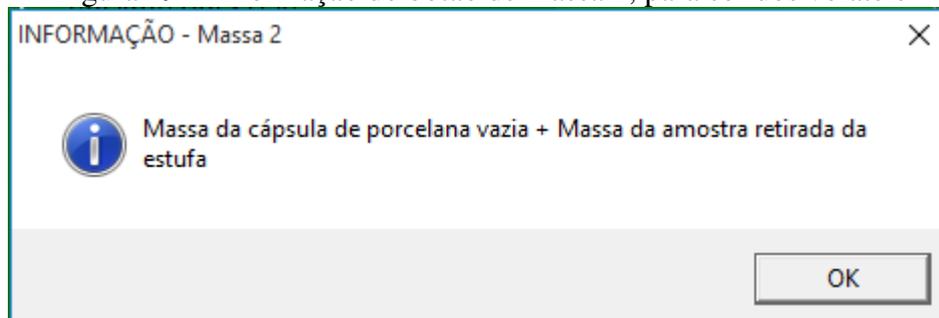
Fonte: Autoria própria.

Figura 28 – Informação do botão de massa 1, para sólidos voláteis



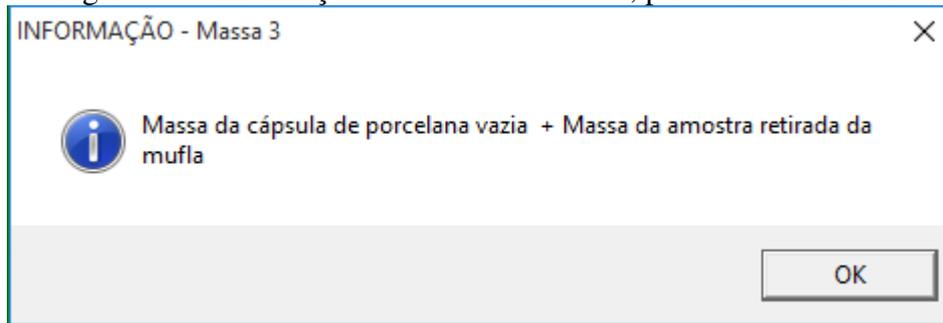
Fonte: Autoria própria.

Figura 29 – Informação do botão de massa 2, para sólidos voláteis



Fonte: Autoria própria.

Figura 30 – Informação do botão de massa 3, para sólidos voláteis



Fonte: Autoria própria.

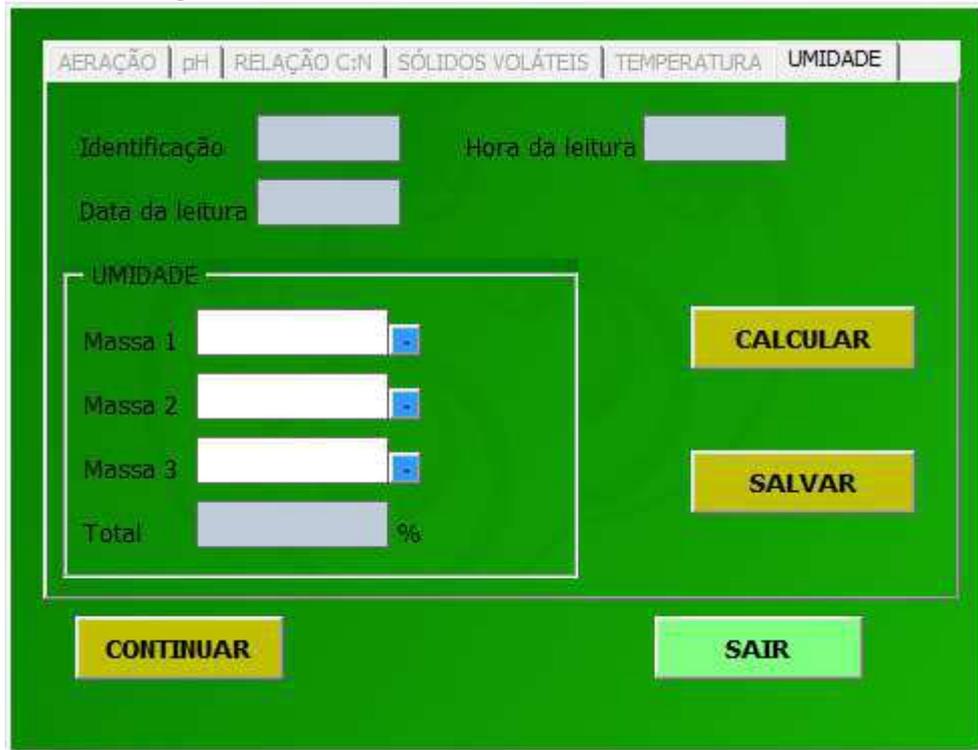
Figura 31 – Formulário de monitoramento de temperatura

A screenshot of a temperature monitoring form with a green background. At the top, there is a horizontal menu with tabs for "AERAÇÃO", "pH", "RELAÇÃO C:N", "SÓLIDOS VOLÁTEIS", "TEMPERATURA", and "UMIDADE". Below the tabs, there are several input fields: "Identificação", "Hora da leitura", "Data da leitura", and "Temperatura ambiente". A section titled "TEMPERATURA:" contains four more input fields: "Topo", "Meio", "Base", and "Temperatura média". To the right of these fields are two yellow buttons: "CALCULAR" and "SALVAR". At the bottom of the form, there are two more buttons: "CONTINUAR" (yellow) and "SAIR" (light green).

Fonte: Autoria própria.

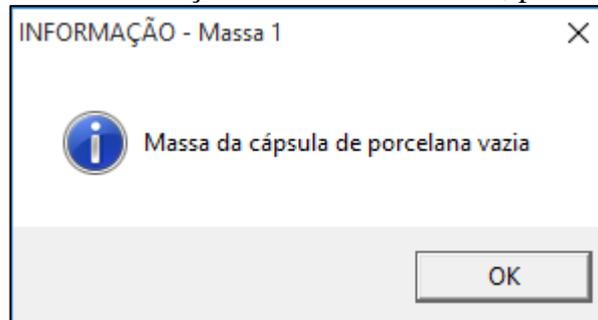
Assim como apresentado na Figura 27, para o preenchimento dos campos das massas da Figura 32, há um botão de informação ao lado de cada campo, que indicará como serão preenchidos, como apresenta-se nas Figura 33, 34 e 35.

Figura 32 – Formulário de monitoramento de umidade



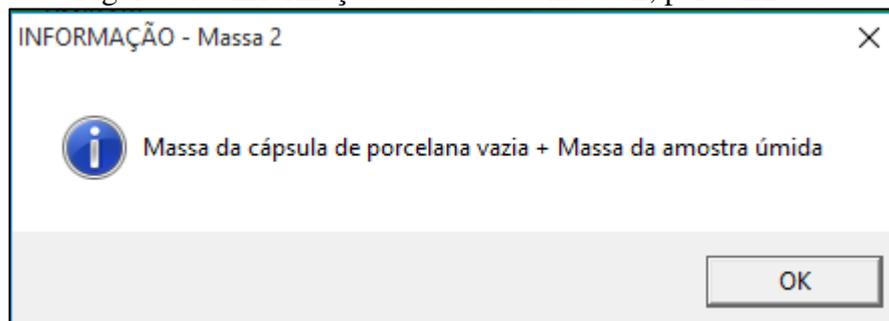
Fonte: Autoria própria.

Figura 33 – Informação do botão de massa 1, para umidade



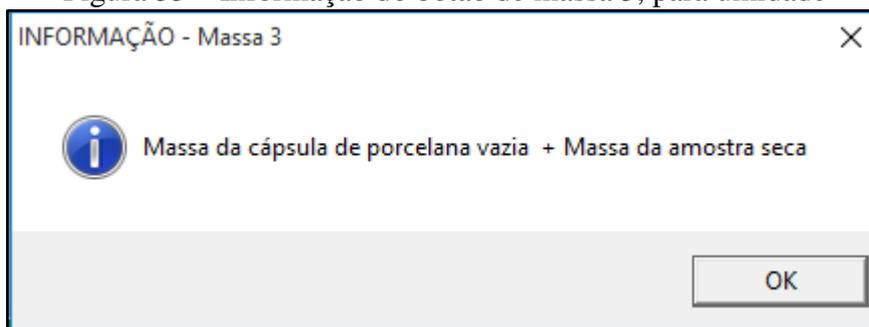
Fonte: Autoria própria.

Figura 34 – Informação do botão de massa 2, para umidade



Fonte: Autoria própria.

Figura 35 – Informação do botão de massa 3, para unidade



Fonte: Autoria própria.

Ao monitorar os parâmetros nos formulários anteriores, o usuário vai identificar no formulário para geração de relatórios (Figura 36) se houve ou não a manifestação de algum problema na pilha ou leira.

Figura 36 – Formulário para geração de relatórios

Fonte: Autoria própria.

Ao identificar no formulário anterior o aparecimento de algum problema na pilha ou leira, na geração do relatório diário (Figura 36) irá aparecer o problema detectado pelo usuário, bem como suas possíveis causas e possíveis soluções, como exemplificado na Figura 37. E se finalizado o processo de compostagem, o usuário deve marcar a caixa de seleção (Figura 36) e gerar o relatório final (Figura 38).

Figura 37 – Formulário de relatório diário

Visualização Relatório Diário
✕

## PEMC

Planilha Eletrônica de Monitoramento de Compostagem

### Relatório Diário

**Identificação:**  
 Data:  
 Hora:

AERACÃO    pH    RELAÇÃO C/N    SÓLIDOS VOLÁTEIS    TEMPERATURA PILHA    TEMPERATURA AMBIENTE    UMIDADE

**OBSERVAÇÕES:**

**FASE:** 1 - Fase de degradação ativa

**PROBLEMA:** 1 - Demora no aquecimento da massa de compostagem, ou seja, cerca de cinco dias para atingir a temperatura ideal 50-65 °C

**CAUSA:** Material muito seco.  
**MEDIDA:** Adicionar água à massa de compostagem e manter a umidade a 55%.

**CAUSA:** Material com excesso de umidade.  
**MEDIDA:** Adicionar à massa de compostagem adubo maturado, terra vegetal ou material palha seco.

**CAUSA:** Material sem o correto balanceamento da relação C/N.  
**MEDIDA:** No caso do excesso de carbono, adicionar material nitrogenado: grama, lodo de esgoto, esterco de animal, frações orgânicas do lixo urbano etc. No caso de excesso de nitrogênio, adicionar material carbonáceo, folhas secas, capim seco etc.  
 (Obs.: nunca adicionar serragem em excesso)

**CAUSA:** Material muito compactado.  
**MEDIDA:** Adicionar material que promova a porosidade da massa de compostagem: cavaco de madeira, palha ou sabugos de milho, cascas de grão etc.

**CAUSA:** Baixa atividade microbológica.  
**MEDIDA:** Adicionar à massa de compostagem certa quantidade de matéria orgânica de lixo ou de esterco e promover uma mistura criteriosa desses materiais.

---

Responsável

**Imprimir**

Fonte: Autoria própria.

Figura 38 – Formulário de relatório final

**Relatório Final**

**PEMC**  
Planilha Eletrônica de Monitoramento de Compostagem

**Relatório Final**

Identificação:  
Data:  
Hora:

Quantidade massa úmida:  
Quantidade massa seca:

Relação C:N  
1º Dia:  
Último dia:

**PARÂMETROS:**

Temperatura [°C]

Tempo (dias)

TEMP. PILHA TEMP. AMBIENTE

pH

Tempo (dias)

Sólidos (kg/kg)

Tempo (dias)

Umidade

Tempo (dias)

**GERAR PDF**

Fonte: Autoria própria.

## 5.2 Avaliação da eficácia da Planilha nos processos de compostagem

A utilização desse aplicativo no uso do processo de compostagem não requer dos usuários conhecimentos em informática, bastando apenas ter em mãos as informações necessárias para preenchimento dos campos. A utilização da planilha eletrônica torna-se vantajosa pelo pouco tempo necessário para o seu preenchimento e edição. O aplicativo é bastante intuitivo.

O programa desenvolvido possibilita a racionalização de todo o processo de compostagem, permitindo a apresentação dos resultados através de relatórios e gráficos, e facilitando o manuseio e a análise dos dados de entrada e de saída.

A utilização da planilha eletrônica é algo acessível a vários profissionais, como também a quem não tem o hábito da utilização de ferramentas computacionais.

## 6 CONCLUSÃO

As teorias sobre os processos de compostagem apresentadas nesse trabalho foram traduzidas em uma linguagem de programação bastante simples e de fácil acesso, conhecida como VBA, que atua em conjunto com o *Microsoft Excel*, que é um software de planilha eletrônica que funciona como uma ferramenta poderosa para o ensino e aprendizado de engenharia.

O programa desenvolvido mostrou-se importante na inovação de tecnologias aplicadas a área de resíduos sólidos, em especial no tratamento de resíduos orgânicos por meio das técnicas de compostagem.

Quanto às dificuldades encontradas para o desenvolvimento da planilha eletrônica pode-se destacar a etapa de aplicação de programação, a qual requer tempo de dedicação, com intuito de adquirir um conhecimento básico acerca do assunto.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004** - Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no brasil**, 2015. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em nov. 2016.

BELLAVER, Claudio; KONZEN, Egidio Arno. **Avanços tecnológicos na compostagem de resíduos orgânicos**. Revista Avicultura Brasileira. Ed. 1188 N°4. São Paulo – SP, 2010. Disponível em: <<http://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/avancos-tecnologicos-na-compostagem-de-residuos-organicos/20100527-135925-Y533>>. Acesso em janeiro 2017.

BRASIL. **Plano nacional de resíduos sólidos**. Versão pós Audiências e Consulta Pública para Conselhos Nacionais. Brasília, 2012. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir1529/PNRS\\_consultaspublicas.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/reuniao/dir1529/PNRS_consultaspublicas.pdf)>. Acesso em dezembro de 2016.

\_\_\_\_\_. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Lei 12.305. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2010.

CEZARINO, W.; FILHO, O. S. S.; RATTO, J. R. **Planejamento agregado da produção: Modelagem e solução via planilha Excel & Solver**. Revista Produção. ABEPRO, v. IX, n. N° III, p. 28, 2009.

DREUX, M. A.; AZEVEDO, F. U. B. **Macros para Excel na prática**. Elsevier Editora. 1ª Edição, 2009.

FONTES, C. R.; SILVA, F. W.O. da. **O ensino da disciplina linguagem de programação em escolas técnicas**. Ciências & Cognição, Vol. 13 (2), p. 84-98, 2008.

LIMA, F. A. V. **Gerenciamento de Vagas em Estacionamentos Públicos**. Monografia de Bacharel em Engenharia da Computação, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia do UniCEUB, Brasília, 2009.

MARTINS, W. A.; ALBUQUERQUE, W. G. de; NUNES F. M. S.; ALMEIDA, R. N. de; COSTA, F. F. da. **Gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no município de pombal – PB**. Revista Verde (Mossoró – RN - BRASIL), v. 9, n.1, p. 89 - 97, jan-mar, 2014.

MONTAGNA, André, et al. **Curso de Capacitação/Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos: planejamento e gestão**. Florianópolis: AEQUO, 2012.

MONTEIRO J. H. P. et al. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MUCELIN, C. BELLINI, A. M. **Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano**. Revista Sociedade & Natureza - Uberlândia, v. 20 (1), p.111-124, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/sn/v20n1/a08v20n1.pdf>>. Acesso em dezembro de 2016.

OTSUKA, T. S. **Tutorial sobre modelagem em VBA**. Projeto Supervisionado II, Universidade Estadual de Campinas - IMECC - Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, 2012.

PEDRO, G. A. **Desenvolvimento de uma interface VBA para a programação matemática da produção utilizando programação linear**. (Trabalho de Conclusão de Curso). Lorena, 2012.

PEDROSA, T. D. et al. **Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais**. Nativa, Sinop, v. 01, n. 01, p. 44-48, out. / dez. 2013.

PENTEADO, M. J. **Guia Pedagógico do Lixo**. 6ª edição (revista e atualizada) São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente / Coordenadoria de Educação Ambiental, 2011.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de Compostagem: Processo de baixo custo**. Viçosa: UFV, 2007.

PEREIRA, S. S.; CURI, R. C. **Gestão de resíduos em um contexto multidisciplinar**. In: VIEIRA, A. S. et al. *Gestão Ambiental: Uma Visão Multidisciplinar*. Cajazeiras: Ed. Real, 2015. p.13-72.

ROCHA, P. T. **Programação matemática da produção em processos batelada utilizando planilhas do Excel com interface amigável**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011.

RODRIGUES, D. C. **Proposição de um plano de gerenciamento de Resíduos sólidos para o centro integrado de Operação e manutenção da casan (ciom)**. Trabalho Conclusão do Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2015.

SALES, A. R. **Desenvolvimento de uma planilha Eletrônica em VBA para o Dimensionamento Didático de Instalações de Recalque de Água**. Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

SENAC - Rio grande do sul. **Programação Vba para Excel**. Porto Alegre, 2010. (Apostila).

SILVA, C. A.; ANDREOLI, C. V. **Compostagem como alternativa a disposição final dos resíduos sólidos gerados na CEASA Curitiba-PR**. Revista Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia - Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 2, p.27-40, 2010.

URATANI, C. L. T.; PALMA J. B. de; SCHULTZE, R. F. **Estudo de concepção de um sistema de tratamento para os resíduos sólidos orgânicos do CEAGESP**. Projeto de Formatura em Engenharia Ambiental, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

WALKENBACH, J. **Programando Excel VBA para leigos**. Rio de Janeiro: alta Books, 2012. 408p.

## ANEXOS

## ANEXO A:

Tabela 3 – Composição de alguns materiais empregados no preparo do composto. (continua)

<b>MATERIAL</b>	<b>% C</b>	<b>% N</b>
Abacaxi (fibras)	39,6	0,9
Arroz (cascas)	47,25	0,75
Arroz (palhas)	30,42	0,78
Bagaço de cana	32,78	1,49
Bagaço de laranja	12,78	0,71
Banana (talos e cachos)	46,97	0,77
Banana (folhas)	49,02	2,58
Borra de café (solúvel)	47,75	1,91
Cacau (películas)	51,84	3,24
Cacau (cascas do fruto)	48,64	1,28
Capim-colonião	50,49	1,87
Capim-gordura-catingueiro	51,03	0,63
Capim-guiné	49,17	1,49
Capim-jaraguá	50,56	0,79
Capim-limão (cidreira)	50,84	0,82
Capim-milhão roxo	50,4	1,4
Capim-mimoso	52,14	0,66
Capim-pé-de-galinha	47,97	1,17
Capim-de-rhodes gigante	50,32	1,36
Cápsulas de mamona	51,92	1,18
Casca semente de algodão	53,04	0,68
Crotalaria juncea	50,7	1,95
Esterco de carneiro	31,95	2,13
Esterco de cocheira	25,2	1,4
Esterco de gado	34,56	1,92
Esterco de galinha	30,4	3,04
Esterco de porco	25,4	2,54
Feijão guandu	52,49	1,81
Feijão de porco	48,45	2,55
Feijoeiro (palhas)	52,16	1,63
Fumo (resíduos)	39,06	2,17
Gramma batatais	50,04	1,39
Gramma seca	50,22	1,62
Lab Lab	50,16	4,56
Mandioca (folhas)	52,2	4,35
Mandioca (ramas)	52,4	1,31
Mandioca (cascas raíz)	32,64	0,34

Tabela 3 – Composição de alguns materiais empregados no preparo do composto  
(conclusão)

<b>MATERIAL</b>	<b>% C</b>	<b>% N</b>
Mamona (cápsulas)	62,54	1,18
Milho (palhas)	53,76	0,48
Milho (sabugos)	52,52	0,52
Mucuna preta	49,28	2,24
Palha de café	51,15	1,65
Palha de feijão	52,16	1,63
Polpa de sisal	37,26	1,38
Serrapilheira	16,32	0,96
Serragem de madeira	51,9	0,06
Torta de babaçu	51,8	3,7
Torta de coco	52,44	4,37
Torta de usina de açúcar	43,8	2,19
Turfa	22,23	0,39

Fonte: Adaptado de Kiehl (1981 e 1985) *apud* MAPA (2005).

## ANEXO B:

Quadro 5 – Controle operacional: principais problemas, causas e soluções

(continua)

<b>I - Fase de degradação ativa</b>	
<b>Problema</b>	
<b>1 - Demora no aquecimento da massa de compostagem, ou seja, cerca de cinco dias para atingir a temperatura ideal 50-65 °C</b>	
<b>Possível Causa</b>	<b>Medida a ser tomada</b>
Material muito seco.	Adicionar água à massa de compostagem e manter a umidade a 55%.
Material com excesso de umidade.	Adicionar à massa de compostagem adubo maturado, terra vegetal ou material palhaço seco.
Material sem o correto balanceamento da relação C/N.	No caso do excesso de carbono, adicionar material nitrogenado: grama, lodo de esgoto, esterco de animal, frações orgânicas do lixo urbano etc. No caso de excesso de nitrogênio, adicionar material carbonáceo, folhas secas, capim seco etc. (Obs.: nunca adicionar serragem em excesso)
Material muito compactado.	Adicionar material que promova a porosidade da massa de compostagem: cavaco de madeira, palha ou sabugos de milho, cascas de grão etc.
Baixa atividade microbiológica.	Adicionar à massa de compostagem certa quantidade de matéria orgânica de lixo ou de esterco e promover uma mistura criteriosa desses materiais.
<b>Problema</b>	
<b>2 - Queda de temperatura da pilha ou leira após curto período de aquecimento</b>	
<b>Possível Causa</b>	<b>Medida a ser tomada</b>
Pilha ou leira formadas sob temperatura excessivamente alta >78 °C, causando a morte (temporária) dos microrganismos.	Revirar a massa de compostagem, corrigir a umidade e modificar a configuração geométrica da leira. Seguir o ciclo correto de reviramento.
Material muito molhado ou muito compactado, sem porosidade Ciclo de reviramento muito longo, proporcionando baixo teor de oxigênio na massa de compostagem.	Seguir os procedimentos anteriores e o ciclo correto de reviramento (a cada três dias).
<b>Problema</b>	
<b>3 - Elevação da temperatura da massa de compostagem</b>	
<b>Possível Causa</b>	<b>Medida a ser tomada</b>
Material bem balanceado, rico em carbono e facilmente degradável.	Modificar a configuração geométrica da leira ou pilha de compostagem, aumentando sua área superficial.

Quadro 5 – Controle operacional: principais problemas, causas e soluções  
(continuação)

<b>Problema</b>	
<b>4 - Queda gradual de temperatura na fase ativa após 30-60 dias</b>	
<b>Possível Causa</b>	<b>Medida a ser tomada</b>
Exaustão do carbono disponível, fim do substrato, material em estágio avançado de degradação.	Verificar se a umidade, a oxigenação, a porosidade e a configuração geométrica são satisfatórias. Em caso afirmativo, levar a leira para o pátio de maturação, encerrando-se a 1ª fase do processo.
<b>Problema</b>	
<b>5 - Maus odores emitidos pela massa de compostagem</b>	
<b>Possível Causa</b>	<b>Medida a ser tomada</b>
Partículas muito grandes.	Quebrar o material durante o reviramento com o auxílio de um enxadão amolado. Cobrir a leira com uma camada de 15cm de adubo maturado (50% de umidade), que funcionara como filtro. Caso não seja possível, triturar previamente o material.
Volatilização da amônia (NH <sub>3</sub> ) devido à alta temperatura (<65 °C) e ao pH alcalino (>7,5).	Revirar a massa de compostagem e modificar a configuração geométrica para obter temperaturas menos elevadas.
Aerobiose, devido ao excesso de umidade.	Adicionar adubo maturado seco à massa de compostagem e cobrir a leira com uma camada de 15 cm de adubo maturado (50% de umidade).
<b>Problema</b>	
<b>6 - Produção e liberação de lixiviados da massa de compostagem</b>	
<b>Possível Causa</b>	<b>Medida a ser tomada</b>
Excesso de umidade da massa de compostagem.	Seguir o processo anterior e lavar a área afetada do pátio.
<b>Problema</b>	
<b>7 - Aumento de umidade das pilhas ou leiras no período chuvoso</b>	
<b>Possível Causa</b>	<b>Medida a ser tomada</b>
Anaerobiose, por causa por causa do excesso de umidade (produção do chorume).	Manter as leiras operando com umidade mínima (45%) e cobri-las com adubo maturado seco ou com lona plástica até meia altura.
<b>Problema</b>	
<b>8 - Atração de moscas e mosquitos na massa de compostagem</b>	
<b>Possível Causa</b>	<b>Medida a ser tomada</b>
Material fresco em putrefação.	Cobrir aleira com uma camada de 15cm de adubo maturado durante 10 dias (três primeiros reviramentos).
Anaerobiose da massa de compostagem, por excesso de umidade ou falta de oxigenação.	Seguir as medidas citadas anteriormente e contar a anaerobiose.

Quadro 5 – Controle operacional: principais problemas, causas e soluções  
(conclusão)

<b>II - Durante a fase de maturação</b>	
<b>Problema</b>	
<b>1 - Alta temperatura da pilha (50-60 °C)</b>	
<b>Possível Causa</b>	<b>Medida a ser tomada</b>
Presença de material ativo: a pilha deve permanecer quente por 5 a 8 dias.	Deixar o material em repouso, para que a maturação se processe normalmente e a temperatura caia (5 a 8 dias) para a faixa mesofílica (< 45 °C). Caso contrário, o material deve voltar, para que a segunda fase do processo seja completada.
Grande quantidade de material ativo, ou seja, não está completamente degradado como deveria.	Continuar o processo de compostagem (fase ativa) até que a temperatura permaneça na faixa mesofílica.
<b>Problema</b>	
<b>2 - Emissão de odor, atração de vetores (fatos que jamais deverão ocorrer na fase de maturação)</b>	
<b>Possível Causa</b>	<b>Medida a ser tomada</b>
1ª fase de compostagem malfeita, processo mal operado.	Compostar o material com as recomendações sugeridas.
<b>Problema</b>	
<b>3 - Alta contagem de patógenos (&gt; 10<sup>2</sup> col/g), ou alta relação C/N (&gt; 18:1)</b>	
<b>Possível Causa</b>	<b>Medida a ser tomada</b>
Controle precário na primeira fase do processo.	Continuar o processo de degradação caso sejam registrados picos de temperaturas hemofílicas. Prolongar o período de maturação se a temperatura estiver na fase mesofílica (< 45 °C), até que os parâmetros se normalizem: C/N < 15 e patógenos < 10 <sup>2</sup> col/g de material.
<b>Problema</b>	
<b>4 - Geração espontânea de vegetação nas pilhas em maturação</b>	
<b>Possível Causa</b>	<b>Medida a ser tomada</b>
Colonização de sementes por pássaros, vento etc.	Retirar toda e qualquer vegetação das pilhas de composto orgânico.
Colonização emergente do próprio material (controle precário na fase do processo). Ex.: ervas daninhas	Não utilizar o material em atividades agrícolas nobres (hortas, jardins etc.) e retorna-lo parcialmente para as leiras novas, para uma primeira fase (ativa de degradação) mais eficiente.

Fonte: Pereira Neto (2007).