

Universidade de Passo Fundo  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e  
Ambiental

Raquel Sotille Gaspodini

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS  
AGROINDUSTRIAIS: UMA ABORDAGEM  
UTILIZANDO O PROJETO EXPERIMENTAL DE  
MISTURAS**

Passo Fundo, RS

Junho – 2015

Raquel Sotille Gaspodini

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS  
AGROINDUSTRIAIS: UMA ABORDAGEM  
UTILIZANDO O PROJETO EXPERIMENTAL DE  
MISTURAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, sob a orientação do Prof. Dr. Pedro Domingos Marques Prietto e coorientação da Profa. Dra. Luciane Maria Colla.

Passo Fundo, RS

Junho – 2015

Raquel Sotille Gaspodini

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS  
AGROINDUSTRIAIS: UMA ABORDAGEM  
UTILIZANDO O PROJETO EXPERIMENTAL DE  
MISTURAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Data de aprovação: Passo Fundo, 01 de junho de 2015.

Doutor Pedro Domingos Marques Prietto  
Orientador

Doutora Luciane Maria Colla  
Coorientadora

Doutor Eduardo Pavan Korf  
Universidade Federal da Fronteira Sul

Doutor Pedro Alexandre Varella Escostegui  
Universidade de Passo Fundo

Doutor Antônio Thomé  
Universidade de Passo Fundo

## AGRADECIMENTOS

A execução deste trabalho só foi possível graças à contribuição de pessoas e empresas, a quem gostaria de manifestar meu profundo agradecimento e reconhecimento.

Ao meu orientador, Professor Doutor Pedro Domingos Marques Prietto, pela orientação, disponibilidade permanente e apoio técnico ao longo deste projeto. Pela confiança em mim depositada, por acreditar neste projeto e pela serenidade nos momentos difíceis. Sua colaboração foi essencial para a realização deste trabalho.

A coorientadora Professora Doutora Luciane Maria Colla pela disposição que sempre demonstrou, ajudando-me a definir caminhos e a resolver problemas com que me deparei.

A secretária do PPGEng, Vânia Cristina Bacega, pela disponibilidade e auxílio.

A toda a equipe da Empresa Sebo Mariense por acreditar e incentivar esta pesquisa, entre os quais cito o Gerente Evandro Dalchiavon, colega e amigo, por todo o apoio prestado e disponibilidade. Sem este apoio, não haveria viabilidade de realizar este projeto.

Às minhas amigas Andréia, Danúbia, Franciele e Taizi pela amizade e momentos de felicidade que sempre me proporcionaram, pelos momentos bons e menos bons que passaram comigo e pelo apoio e motivação que sempre me deram. A amizade de vocês sossegou a inquietude muitas vezes presente.

As minhas eternas amigas, Diane, Dile, Márcia, Marta, Martinha e Rika por tantos momentos compartilhados. Choramos juntas nossas dores, nossas conquistas, nossos amores... com certeza rimos bem mais!

A estagiária Renata Panisson pelo apoio no desenvolvimento deste projeto.

A minha segunda família, os Gaspodini pelo apoio, inclusive dos que já não estão mais em nosso meio.

Com um carinho especial, quero agradecer a minha mãe Anailde e meu pai Delci, pelo encorajamento nos momentos mais difíceis em que o tempo necessário não parecia caber no tempo disponível. Meu pai, pelo amor dispensado e por estar sempre ao meu lado, meu amigo, meu exemplo. Minha mãe por sempre ter me estimulado com os estudos e pela disponibilidade com as netas.

Aos meus irmãos, Ricardo, Beto e Maria por existirem e me fazerem crescer como ser humano. Somos quatro corações, quatro destinos, mas uma só alma.

Ao Cristian, meu marido, meu amor, meu companheiro, meu amigo, meu maior incentivador. Aquele que secou minhas lágrimas e me estimulou a sempre seguir em frente, firme até o fim desta jornada.

As minhas três filhas amadas, Isadora e as gêmeas Laura e Marina, peço desculpas pelas vezes que a mamãe deixou vocês de lado para estudar e agradeço por serem o sol que brilha forte e enche de cor e alegria o jardim da minha vida.

A Deus por me fazer acreditar sempre mais na vida e no amor.

---

## RESUMO

A compostagem é um processo biológico capaz de tratar e reciclar resíduos, transformando-os em fertilizantes, trazendo benefícios ambientais e a valorização econômica do composto orgânico formado. A presente pesquisa focou na aquisição de conhecimento e na avaliação do potencial de três resíduos agroindustriais (casca de ovo, esterco bovino e lodo de estação de tratamento de efluente de graxaria) para serem tratados pelo processo de compostagem. Comumente, o uso mais frequente destes resíduos é a disposição em solo agrícola, o que tem se mostrado inviável principalmente em épocas de chuvas intensas, contínuas ou em épocas de plantio. Utilizaram-se quatorze reatores de dimensões reduzidas, aerados por revolvimento manual, alimentados com 105 kg de misturas variáveis dos três resíduos sólidos, definidas através de um delineamento experimental do tipo simplex centróide. O processo foi monitorado através da medição periódica da temperatura, umidade, pH e relação Carbono:Nitrogênio. Além destes, ao final do processo foram analisados os parâmetros carbono orgânico, nitrogênio, fósforo total, potássio, cálcio, magnésio, *salmonella* sp e coliformes termotolerantes. A fase termofílica durou aproximadamente 38 dias. Após 46 dias, a massa em degradação atingiu a temperatura ambiente, sendo então, deixada para maturar por mais 32 dias. Os melhores resultados foram obtidos para as misturas ternárias com iguais proporções de resíduos (33,3% de casca de ovo, 33,3% de esterco bovino e 33,3% de lodo de graxaria), para a mistura unitária com 100% de casca de ovo e para a mistura contendo 16,7% de casca de ovo, esterco 16,7% e 66,7% de lodo, nas quais, dentre os parâmetros estabelecidos pela Instrução Normativa 25/2009 do MAPA, apenas o magnésio não se enquadrou na faixa exigida. A maioria das misturas não atingiu temperaturas capazes de promover a eliminação dos coliformes termotolerantes, porém todas apresentaram ausência de *salmonella* sp. Por fim, os resultados mostraram que mesmo em pequena escala, foi possível compostar misturas dos resíduos agroindustriais estudados e gerar um composto orgânico de qualidade aceitável para uso posterior na agricultura.

Palavras-chave: compostagem, resíduos agroindustriais, valorização de resíduos sólidos, otimização experimental.

---

## ABSTRACT

Composting is a biological process able to treat and recycle solid waste, turning them into fertilizers, bringing both environmental benefits and economic recovery of the organic compound formed. In this context, this research focused on the acquisition of knowledge and the evaluation of the potential of mixtures made from three different agro-industrial wastes (eggshell, manure and sludge of wastewater treatment of rendering plant) to be treated by means of a composting process. Usually, the most frequent use of these wastes is the disposal in agricultural soil, which has proven inadequate especially in times of heavy rainfall or continuous planting periods. Fourteen small-scale reactors, aerated by manual revolving were used, each of them fed with 105 kg of variable mixtures of the three industrial residues, defined through a simplex-centroid experimental design. The composting process was monitored by measuring the evolution with time of temperature, humidity, pH, and C/N ratio. In addition, at the end of the process the following parameters were analyzed: organic carbon, nitrogen, total phosphorus, potassium, calcium, magnesium, salmonella sp. and thermotolerant coliforms. The thermophilic phase lasted approximately 38 days. After 46 days, the mass under degradation reached the ambient temperature, being then allowed to mature for another 32 days. The best results were obtained for ternary mixtures with equal component proportions (33,3% of eggshell, 33,3% of manure, and 33,3% of sludge), a unit for mixing with 100 % eggshell and for the mixture containing 16,7% of eggshell, 16,7% of manure, and 66,7% of sludge, which amongst the parameters established by the Normative Instruction 25/2009 of the Brazilian Ministry of Agriculture, Livestock, and Food Supply, only the magnesium did not fit the required range. Also, most mixtures did not reach temperatures that promote the elimination of coliforms thermotolerant, but all showed no salmonella sp. At the end, results have shown that even though this process was carried out on a small scale, it was possible to compost these materials and generate a good quality compost for later use in agriculture.

Keywords: composting, agro-industrial wastes, solid waste recovery, experimental optimization.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
1.1. Problema e questão da pesquisa	12
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo geral	14
1.2.2. Objetivos específicos	14
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>15</b>
2.1. A problemática da disposição final dos resíduos	15
2.2. O processo de compostagem	17
2.2.1. Classificação	20
2.2.1.1. Aeração	20
2.2.1.2. Temperatura	21
2.2.1.3. Ambiente	22
2.2.1.4. Tempo de compostagem	22
2.2.2. Tecnologias de compostagem	22
2.2.3. Processo de compostagem em pequena escala	23
2.2.4. Fatores que influenciam na compostagem	23
2.2.5. Aplicação do composto como substrato	26
2.2.6. Produção de composto orgânico	28
2.2.7. Influência das características dos resíduos no processo de compostagem	31
2.2.8. Esterco bovino	33
2.2.9. Lodo de estação de tratamento de esgoto	36
2.2.10. Casca de ovo	38
2.2.11. Serragem	39
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>42</b>
3.1. Local do experimento	43
3.2. Descrição do experimento	43
3.3. Experimento e tratamentos	45
3.4. Coleta e armazenamento dos resíduos	50
3.5. Alimentação dos reatores	50
3.6. Monitoramento do experimento	52
3.6.1. Temperatura	52
3.6.2. Aeração	53
3.6.3. Umidade	54
3.6.4. pH	55
3.6.5. Análise da qualidade do composto	56

3.7.	Análise do experimento -----	56
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	58
4.1.	Aspectos gerais do processo de compostagem -----	58
4.2.	Variação da temperatura -----	59
4.3.	Variação da umidade -----	62
4.4.	Variação do pH -----	64
4.5.	Teor de carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N -----	65
4.6.	Presença de patogênicos-----	66
4.7.	Qualidade do composto -----	68
4.8.	Regressão linear e análise de otimização -----	71
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS-----	87
5.1.	Conclusões -----	87
5.2.	Recomendações para futuros trabalhos -----	88
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	89

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial e a concentração dessas populações nas cidades vem dificultando a capacidade do Planeta em absorver os resíduos produzidos. O atual modelo de desenvolvimento explora excessivamente os recursos naturais e gera resíduos em grandes quantidades sendo que em grande parte, estes são dispostos inadequadamente.

Por muitos anos, acreditou-se que o solo seria um filtro com capacidade quase ilimitada de absorver e degradar os resíduos nele adicionados. No entanto, a esta crença se opõe, por exemplo, a comprovada contaminação das águas subsuperficiais pela aplicação de dejetos de animais *in natura* ao solo (SEGANFREDO, 2000). A disposição dos resíduos no solo com a função de adubação, sem prévio tratamento, pode trazer sérias implicações na qualidade de vida da população como também nos recursos naturais.

Atendendo aos anseios da sociedade, o Governo Brasileiro criou a “Política Nacional de Resíduos Sólidos, através da Lei 12.305, de 12 de agosto de 2010. O documento estabelece diretrizes a serem adotadas pelas organizações quanto ao gerenciamento dos resíduos sólidos (BRASIL,2010). A curto e médio prazo, as exigências quanto ao tratamento dos resíduos sólidos tendem a aumentar, dado que existem cada vez mais limitações impostas para o seu destino final. A contaminação de solos e recursos hídricos, a produção de odores e o impacto visual negativo, são alguns dos problemas que podem surgir pela má gestão no tratamento dos resíduos. Portanto, é necessário e urgente encontrar soluções alternativas viáveis e adequadas para seu tratamento, valorização e/ou eliminação.

As atuais políticas da União Europeia, que fomentam a reciclagem e valorização de resíduos, levam em conta normas sanitárias para a eliminação e a transformação de resíduos de origem animal desde 2002. No Regulamento n°. 1774/2002 do Parlamento Europeu, estão definidos procedimentos de recolhimento, transporte, armazenamento, manuseio, transformação, utilização e eliminação de diversos subprodutos de origem animal. De acordo com a referida legislação, a aplicação controlada destes subprodutos em solos agrícolas apenas é possível após pré-tratamento por ação térmica ou por processo de compostagem, para eliminar o risco de propagação de microrganismos patogênicos para o ambiente e para a saúde humana.

De acordo com Kiehl (1985), os dejetos de animais *in natura* se transformam em fertilizantes orgânicos, porém não estáveis e sem a capacidade de melhorar certas propriedades físicas e físico-químicas do solo, condição apenas encontrada na matéria

orgânica humificada. Ainda segundo o mesmo autor, a humificação é o processo de formação do húmus e pode ser natural, quando produzido espontaneamente por bactérias e fungos do solo (os organismos decompositores), ou artificial, quando o homem induz a produção de húmus,

A disposição em aterros classe I ou classe II é uma opção para a disposição final de resíduos, porém os altos custos envolvidos forçam as empresas a buscar alternativas de tratamento e disposição final. Além dos altos custos, outro fator limitante são os impactos ambientais negativos da atividade e a geração de um passivo ambiental permanente.

Diante deste contexto a compostagem surge como uma alternativa adequada para o tratamento de resíduos orgânicos, permitindo a redução do volume de resíduos gerados e a valorização agronômica do composto produzido.

A compostagem é um método antigo de tratamento de resíduos orgânicos, no qual a matéria orgânica é transformada em um composto orgânico humificado para uso como insumo agrícola (EPSTEIN, 1997; VANDERGHEYNST *et al.*, 1997), sem efeitos ambientais indesejáveis (PEREIRA NETO e MESQUITA, 1992) e agregando valor comercial a um produto que antes era considerado desperdício ou passivo ambiental.

Do ponto de vista conceitual, a compostagem é um processo aeróbio e termofílico de degradação da matéria orgânica, que resulta em um produto mais estável, química e biologicamente, envolvendo transformações complexas de natureza bioquímica promovidas por diversos microrganismos que têm na matéria orgânica *in natura* sua fonte de energia, nutrientes minerais e carbono. O composto resultante possui nutrientes minerais tais como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, que são assimilados em maior quantidade pelas raízes, além de ferro, zinco, cobre, manganês, boro e outros que são absorvidos em quantidades menores e por isto, são denominados micronutrientes (SILVA, 2000).

Por ser um processo aeróbio, a compostagem gera baixas quantidades de metano por tonelada de resíduo orgânico em comparação com formas de tratamento anaeróbio ou disposição em aterros (AMLINGER *et al.*, 2008; BARTON *et al.*, 2008; PICKIN *et al.*, 2002; VANOTTI *et al.*, 2008), traduzindo-se em ganho ambiental significativo.

Além dos resíduos orgânicos de origem domiciliar, a compostagem tem sido usada com sucesso no tratamento de diversos resíduos orgânicos oriundos de processos industriais e agroindustriais, bem como de lodos de estações de tratamento de efluentes (biossólidos) (BARREIRA *et al.*, 2006; CORREA *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2009; SEDIYAMA *et al.*, 2000; VANOTTI *et al.*, 2008).

Além da produtividade, rentabilidade e competitividade, as empresas em suas linhas de produção devem primar pela proteção ambiental, não somente pelas exigências legais, mas também por proporcionar maior qualidade de vida à população. O manejo adequado dos resíduos gerados nas diversas etapas de produção agrega valor ao produto por estar recebendo a designação de “ecologicamente corretos” (AUGUSTO, 2005).

Esta nova realidade dos mercados consumidores passa a exercer crescente pressão para a correta destinação dos resíduos sólidos, dentro de padrões aceitáveis sob o ponto de vista sanitário, econômico e ambiental (CARVALHO, 1999). A proteção ambiental deixa desta forma, de ser uma questão de produção, passando a ser uma função gerencial essencial, segundo Seganfredo (2000), à própria viabilidade da atividade em médio e longo prazo.

Neste contexto, o presente trabalho teve como principal objetivo estudar a otimização do processo de compostagem de uma mistura de resíduos de origem agroindustrial (casca de ovo, lodo de graxaria e esterco bovino), oriundos da central de compostagem da empresa Sebo Mariense Ltda., localizada no município de Vila Maria-RS, como uma alternativa ambientalmente correta de tratamento e destinação final dos resíduos orgânicos mencionados.

### **1.1. Problema e questão da pesquisa**

Nos dias de hoje, faz-se necessário encontrar instrumentos eficazes que propiciem o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) dando-lhes destinação ambientalmente adequada. A opção por soluções de tratamento que melhorem a qualidade final e a redução de volume é privilegiada no sentido de otimizar a gestão de resíduos. Até hoje, as opções normalmente aplicadas como destino final para os resíduos de processo vão desde a aplicação direta na agricultura (sem tratamento), até a incineração ou disposição em aterros.

Outras possibilidades que incluam o tratamento de resíduos orgânicos com a recuperação de recursos têm sido testadas e aplicadas com sucesso. A compostagem é uma delas.

A unidade de compostagem da Empresa Sebo Mariense recebe materiais para tratamento por compostagem de diversos segmentos industriais dentre os quais podem ser citados: resíduo de casca de ovo, oriundo de granjas de galinhas poedeiras, esterco bovino

oriundo do processo de abate animal e lodo de estação de tratamento de efluentes oriundo da própria empresa.

A destinação final destes resíduos em aterros torna-se inviável pelo alto custo da disposição, visto a quantidade de material gerado diariamente nas unidades geradoras. Tanto o lodo de ETE como o esterco bovino poderiam ser dispostos em solo agrícola, porém a compostagem possibilita o tratamento antes da disposição final.

A casca de ovo poderia ter como destino final a incorporação ao solo (PARK *et al.*, 2007; TSAI *et al.*, 2008; MEZENNER e BENSMAILI, 2009), porém é necessário que isto seja feito de forma segura, após pré-tratamento. Desta forma, é possível valorizar este resíduo através do processo de compostagem e utilizá-lo em solos que sejam insuficientes em nutrientes como o cálcio e que tenham características ácidas. Assim, em vez de se comprar aditivos químicos comerciais, esta pode ser uma boa via para corrigir solos que não possuem as propriedades adequadas para a produção agrícola.

As limitações impostas no que se refere aos odores, qualidade do composto gerado e a verificação da existência de uma mistura ideal motivaram o presente projeto de pesquisa.

Com a otimização do processo de compostagem em questão, é possível contemplar aspectos econômicos, técnicos, sociais e ambientais, garantindo que os materiais compostados, ao final do processo, estejam livres de microorganismos patogênicos (COSTA *et al.*, 2005).

Pretende-se, pois, participar da solução de um problema real de compostagem e o enfoque adotado está de acordo com os objetivos e a metodologia propostos.

Diante do exposto, o presente estudo busca responder à seguinte questão norteadora da pesquisa: existe uma mistura ótima de casca de ovo, lodo de graxaria e esterco bovino, que resulte em um composto com características adequadas ao uso agrícola satisfazendo aos parâmetros de qualidade estabelecidos na legislação (Instrução Normativa 27, de 05 de junho de 2006 e Instrução Normativa Nº 25, de 23 de junho de 2009, ambas do MAPA).

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo geral**

O objetivo geral do presente trabalho é avaliar a possibilidade de tratamento de resíduos agroindustriais por meio da compostagem, realizada em pequena escala e com aeração mecanizada, a partir da aplicação de metodologia de planejamento de experimentos com misturas, visando à otimização da qualidade do composto resultante para uso agrícola.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

Os objetivos específicos foram os seguintes:

- a) estabelecer relações de causa e efeito entre as proporções dos componentes da mistura e a evolução com o tempo dos parâmetros físicos, físico-químicos e químicos do composto resultante;
- b) otimizar os parâmetros de qualidade do composto orgânico resultante da mistura dos resíduos sólidos agroindustriais investigados na pesquisa, para fins de aplicação como fertilizante agrícola.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. A problemática da disposição final dos resíduos**

Um aumento considerável na geração de resíduos sólidos urbanos das mais diversas naturezas está sendo causado pelo crescimento populacional, juntamente com o acelerado processo de industrialização, ocorrido na metade do século passado. Um processo contínuo de deterioração ambiental tem sido causado pelo consumo crescente de produtos menos duráveis e descartáveis, trazendo sérias implicações na qualidade de vida do ser humano (IPT, 2000).

Os impactos ambientais relacionados à poluição do solo, podem não ser facilmente vistos ou percebidos de maneira imediata. Os efeitos dessa poluição podem alterar suas características físicas, químicas e biológicas, uma vez que o solo, ao contrário do ar e da água, é um atributo ambiental que não se move e não se renova (SISINNO e OLIVEIRA, 2000; LIMA, 1995).

A má disposição dos resíduos causa impactos à saúde pública, como exemplo, proliferação de doenças, maus odores, poluição do solo e das águas subterrâneas e superficiais, por meio da emissão de gases, pela infiltração de chorume produzido no processo de degradação dos materiais, dentre outros.

A poluição do solo ocorre por causa da retenção de substâncias tóxicas presentes no chorume, que o solo absorve. A permanência dessas substâncias no solo depende de vários fatores, que vão de características físico-químicas do solo, às características dos resíduos depositados e fatores climáticos (SISINNO e OLIVEIRA, 2000).

Ao atingir os lençóis d'água subterrâneos, segundo Sisinno e Oliveira (2000), o chorume pode poluir poços, provocando endemias, desencadeando surtos epidêmicos ou pode provocar intoxicações, se houver a presença de organismos patogênicos e substâncias tóxicas em níveis acima dos que são permitidos. Os mesmos autores ainda citam que esses processos tornam limitado o uso de água, podendo ocorrer pelo contato direto horizontal da água subterrânea atravessando o lixo quando o lençol é alto, ou por capilaridade até atingir o lençol d'água.

A geração de gases ainda é provocada pela deposição de resíduos através da decomposição desses resíduos por biorreações promovidas pela ação dos microrganismos, que podem se transformar em substâncias mais estáveis. Pode-se citar, como exemplos

dessas substâncias, dióxido de carbono, água, gás sulfídrico, mercaptanas e outros componentes minerais (NOVA GERAR, 2003).

O aterramento de lixo, juntamente com o tratamento anaeróbico de esgotos domésticos e efluentes industriais, pode ser apontado como uma das maiores fontes de liberação de metano para a atmosfera, contribuindo significativamente para agravar o efeito estufa (ENSINAS, 2003).

Além do metano, os compostos orgânicos voláteis (COV's), os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPO's) e os compostos de odores desagradáveis, também são preocupantes. Juntamente com os HPO's e o metano, as emissões de COV's além de contribuir para a formação de ozônio, provocam efeitos adversos à saúde humana e ao desenvolvimento da vegetação. Geralmente, nesses casos, ocorre migração dos gases para áreas próximas ou até mesmo emanações pela superfície. (ENSINAS, 2003; EMURB, 2002).

A maioria dos impactos citados anteriormente está diretamente ligada à presença de resíduos orgânicos, uma vez que esses impactos ocorrem devido à degradação dos mesmos. Cerca de 57% dos resíduos urbanos (que incluem os industriais) gerados no Brasil, são constituídos de matéria orgânica, que apresenta um potencial para a produção de compostos orgânicos (ENSINAS, 2003; EMURB, 2002). A seguir, estarão sendo abordados os principais pontos relacionados à utilização de matéria orgânica na geração de composto.

Os resíduos orgânicos são justamente os resíduos passíveis de serem empregados no processo de compostagem.

Uma das grandes vantagens do processo de compostagem é o fato de, depois de realizada a decomposição biológica dos resíduos orgânicos a tratar, se obter um material humificado que pode ser manuseado com segurança, armazenado e aplicado no solo sem afetar negativamente o ambiente. Permite, também, a extinção de patógenos, a redução de volume, a estabilização e a recuperação de recursos. Assim, os resíduos orgânicos devidamente compostados passam a ser esteticamente aceitáveis, livres de agentes patogênicos e fáceis de manusear. Podem deste modo, ser utilizados para melhorar a estrutura de um solo, aumentar a sua retenção de água e fornecer nutrientes para o crescimento das plantas (LIU, 1999).

## 2.2. O processo de compostagem

A matéria orgânica tem sido considerada há milênios como o principal fator de fertilidade do solo (KIEHL, 1985). A utilização da matéria orgânica como fertilizante já era usada pelos índios Maias na América, que ao plantar milho, colocavam um ou mais peixes no fundo das covas como oferenda aos deuses, e sem saber, já estavam realizando uma adubação orgânica com um material de fácil decomposição e rico em nutrientes. Há alguns relatos de filósofos que viveram na velha Roma, que as práticas agrícolas com a utilização de matéria orgânica, como a “estercação”, adubação verde, entre outras, já existiam naquela época (MARÍN *et al.*, 2005).

A compostagem de resíduos fecais humanos, segundo Lopez Real (1996), juntamente com vegetais e esterco animal, tem sido praticada na China por séculos e tem sido considerada a responsável por manter a fertilidade do solo por mais de 4000 anos.

Existem também registros que dizem que operações com utilização de resíduos orgânicos existem há mais de dois mil anos, mas estas práticas só foram detalhadamente descobertas a cerca de 1000 anos atrás.

O processo de utilização de resíduos orgânicos para a geração de fertilizantes, a partir da década de 90 até os dias atuais, tem gerado um novo interesse, principalmente pela falta de locais para destinação correta dos resíduos industriais e devido às pressões exercidas pela utilização de métodos com menos impacto ambiental, procurando o atendimento aos princípios do desenvolvimento sustentável (BRITO, 2006).

Haug (1993) define compostagem como "*a decomposição biológica e estabilização de substratos orgânicos, sob condições que permitam atingir temperaturas termofílicas resultantes do calor produzido biologicamente, originando um produto final estável, isento de agentes patogênicos e de sementes e que traz benefícios quando aplicado ao solo.*".

Também Tchobanoglous *et al.* (2003) propuseram uma definição semelhante descrevendo a compostagem como um processo onde a matéria orgânica sofre biodegradação até atingir um produto estável. Corbitt (1999) explica que a matéria orgânica é decomposta numa substância estável, através da atividade microbiana promovida durante a compostagem. Ao mesmo tempo, o calor produzido pode conduzir à destruição dos agentes patogênicos presentes.

O composto produzido neste processo conta com uma elevada abundância de nutrientes, tornando-se adequado para uma grande variedade de finalidades. Materiais devidamente compostados podem ser utilizados como corretivos orgânicos para o solo e

aplicados na agricultura e horticultura. O composto, quando aplicado desta forma, permite melhorar significativamente as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, aumentando a capacidade de infiltração e retenção da água, especialmente em solos arenosos, tal como refere Santos (2001).

Kiehl (1985) define compostagem como um processo biológico de transformação de matéria orgânica em substâncias húmicas, estabilizadas, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem.

O processo de compostagem distingue-se da decomposição natural que ocorre na natureza, por ser um processo com a interferência humana. Essa interferência busca a obtenção de um produto de melhor qualidade, dentro dos padrões exigidos pela legislação, em um espaço de tempo mais curto.

Epstein (1997) destaca ainda, em sua definição para compostagem, o caráter “controlado” da decomposição biológica que leva a um “produto estável semelhante ao húmus”, denominado de composto orgânico. Então, para o autor, a compostagem é “manejada ou otimizada” para atingir certos objetivos, os quais são:

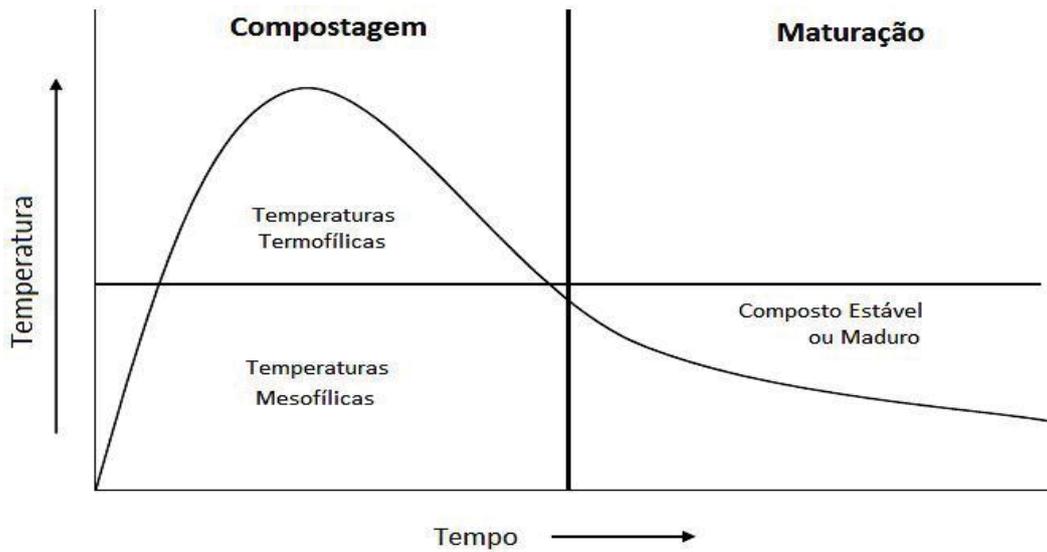
a) decompor matéria orgânica potencialmente putrescível para um estado estável e produzir um material que possa ser usado para o melhoramento do solo ou outros benefícios;

b) decompor resíduos em um material benéfico: a compostagem pode ser economicamente favorável como alternativa quando comparada aos custos dos métodos convencionais de disposição de resíduos;

c) tratar resíduos orgânicos infectados com patógenos para que possam ser usados benéficamente e de maneira segura.

No gráfico representado na Figura 1 encontram-se esquematizadas as várias fases de temperatura do processo de compostagem. Este gráfico expõe a descrição referida por Epstein (2011), que apresenta a compostagem e a maturação como dois processos distintos e separáveis, contrariamente ao que é normalmente encontrado na literatura.

Figura 1 - Variações da temperatura ao longo do processo de compostagem

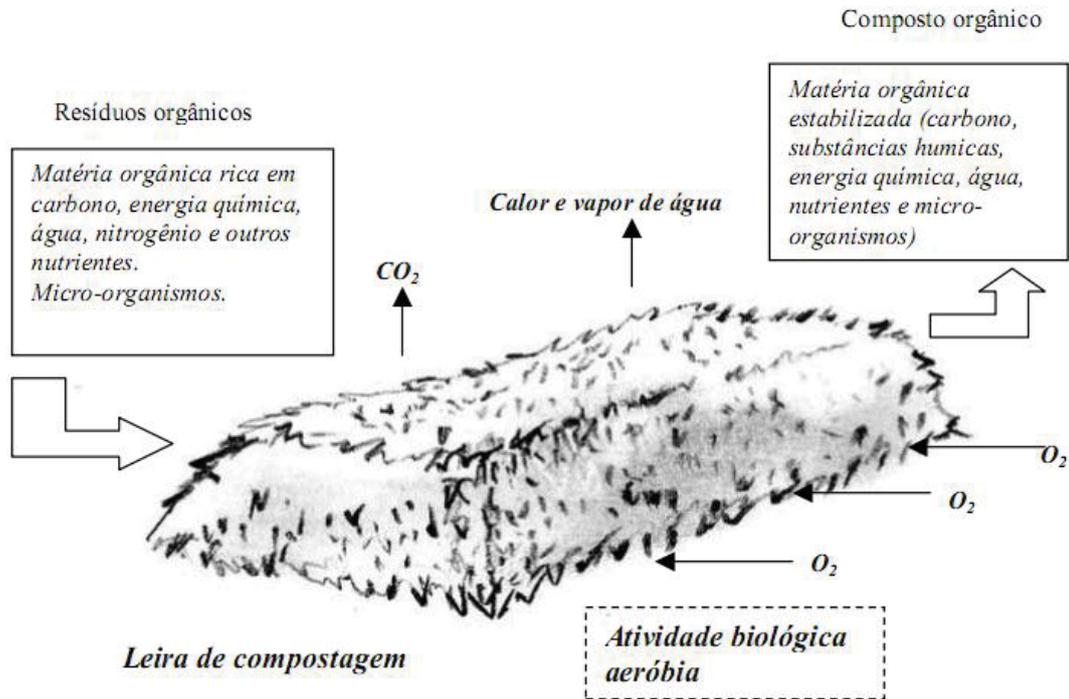


Fonte: Adaptado de Epstein (2011)

A compostagem é um processo biológico e de ecologia complexa, pois envolve grupos variados de micro-organismos em sucessão que transformam o substrato em decomposição e que afetam e são afetados pelos fatores físicos e bioquímicos envolvidos durante o processo. É diferente da decomposição da matéria orgânica que ocorre na natureza por ser um processo com predominância da ação de microrganismos termófilos e transcorrer em temperaturas em torno de 60 °C na massa em decomposição. Dois grupos principais de microrganismos agem na compostagem: os mesófilos que possuem atividade ótima até 45°C; e os termófilos, que atuam numa faixa acima de 45 °C até 75 °C (MILLER,1993).

As temperaturas termofílicas são extremamente desejáveis no tratamento de resíduos através da compostagem, por destruírem muitos patógenos e larvas de mosca. Normas para operação de pátios de compostagem têm pontado uma temperatura crítica para destruição de patógenos humanos, a partir de 55 °C. Do ponto de vista agrônomo, esta temperatura é capaz de destruir muitos patógenos de plantas, sendo que 63°C é a temperatura crítica para inviabilizar sementes de ervas daninhas (RYNK, 1992). A ação de degradação biológica usa o O<sub>2</sub> disponível, transformando o carbono do substrato orgânico e obter energia, o que libera CO<sub>2</sub>, água e calor (Figura 2).

Figura 2 - Representação esquemática do processo de compostagem, considerando o método em pilhas estáticas com aeração passiva.



Fonte: Inácio e Miller, 2009.

### 2.2.1. Classificação

A necessidade de adoção de novas formas de tratamento de resíduos orgânicos que sejam simples, de baixo custo e, principalmente, que sejam eficientes, surge a compostagem como um dos processos de alta viabilidade de implantação.

Campos (1998) e Kiehl (1985) classificavam os métodos de compostagem segundo os fatores predominantes no processo de fermentação.

#### 2.2.1.1. Aeração

a) Método aeróbico: procura-se garantir a presença de oxigênio do ar atmosférico evitando-se a compactação da massa. Esse tipo de decomposição é caracterizado pelo aumento da temperatura, muito acima da temperatura ambiente. O anidrido carbônico é o principal gás gerado por esse tipo de processo. Com esse método pode-se atingir um elevado grau de estabilização da matéria orgânica.

b) Método anaeróbico: a fermentação é utilizada por microrganismos que podem viver em ambientes isentos de ar atmosférico. A decomposição ocorre com a massa imersa ou encharcada de água, como o lodo de esgoto nos tanques digestores das estações de

tratamento ou com material dos biodigestores. São gerados gases como metano, que pode ser utilizado como fonte energética, além de gás sulfídrico, ácidos orgânicos e mercaptanos de cheiro desagradável. É mais demorado que o aeróbico, mas em compensação, não exige os cuidados com o controle da temperatura, aeração e umidade, como acontece com o processo aeróbico.

### **2.2.1.2. Temperatura**

É fundamental promover o controle do processo biológico intenso que se reflete na temperatura. O mais comum deles é a montagem de pilhas em camadas dos diferentes materiais orgânicos – resíduos vegetais, esterco, resíduos orgânicos industriais e serragens etc. - com revolvimentos ou aeração passiva ou forçada. Existem também soluções e tecnologias baseadas em reatores fechados automatizados. Pode-se identificar quatro fases distintas no processo de compostagem:

a) Fase Inicial ou de aquecimento: ocorre a expansão das colônias de micro-organismos mesófilos e intensificação da ação de decomposição, liberação de calor e elevação rápida da temperatura;

b) Fase Termófila: caracterizada por temperaturas acima de 45 °C, predominando a faixa de 50°C a 65 °C, quando ocorre plena ação de micro-organismos termófilos, com intensa decomposição do material, com formação de água, e manutenção da geração de calor e vapor d'água. A aeração na leira de compostagem é fortemente influenciada nesta fase, pois o calor gerado impulsiona a aeração por convecção;

c) Fase Mesófila: fase de degradação de substâncias orgânicas mais resistentes por microrganismos mesófilos, redução da atividade microbiana gerando queda da temperatura da leira e perda de umidade. Enquanto a fase termófila anterior é dominada por bactérias, daqui em diante os fungos e actinomicetes têm papel relevante;

d) Maturação: ocorre a maturação do composto com formação de substâncias húmicas, a atividade biológica é baixa e o composto perde a capacidade de auto-aquecimento. A decomposição ocorre a taxas muito baixas e prosseguirá quando o composto orgânico for aplicado no solo, liberando nutrientes para a solução do solo, os quais poderão ser absorvidos pelas raízes das plantas (EPSTEIN, 1997).

### **2.2.1.3. Ambiente**

Quanto ao ambiente, os processos da seguinte forma:

a) ambiente aberto: são considerados em ambientes abertos os processos em que a massa é colocada em montes chamados pátios de compostagem. É necessária uma maior área e um tempo maior de decomposição.

b) ambiente fechado: são aqueles nos quais o material a ser fermentado é encaminhado para digestores em forma de tambores rotativos ou tanques com revolvedores mecânicos para movimentação da matéria orgânica.

### **2.2.1.4. Tempo de compostagem**

Analisando o tempo de compostagem, o processo pode ser considerado:

a) lento: também conhecido como processo natural, é aquele no qual a matéria orgânica a ser fermentada é disposta em montes nos pátios de compostagem após uma separação de materiais não degradáveis.

b) acelerado: ocorrem quando o material a ser composto sofre algum tipo de tratamento especial, buscando melhorar as condições de decomposição.

## **2.2.2. Tecnologias de compostagem**

Segundo Haug (1993), os principais métodos de compostagem segundo seu grau de complexidade são:

a) pilhas estáticas: o material é colocado em pilhas estáticas onde a aeração ocorre apenas devido ao fluxo convectivo de ar. É um processo que tem um custo baixíssimo, mas é muito lento e resulta num composto de baixa qualidade, pois há desuniformidade na decomposição.

b) pilhas aeradas: o material é colocado em pilhas onde a aeração poderá ocorrer ou por revolvimento periódico das pilhas, ou por aeração forçada através de bombeamento de ar para o interior das pilhas. Esse método permite o controle de umidade e temperatura.

c) Reatores: é realizada a compostagem em ambientes que promovem condições ótimas para acelerar a decomposição do material. Os reatores possuem meios para revolver, irrigar e aerar o material, o que possibilita maior controle da aeração, temperatura e umidade, sem a geração de odores desagradáveis. As desvantagens são o

custo elevado de implantação e manutenção, além de precisar de mão de obra especializada.

Os processos de compostagem também são classificados de acordo com a escala em que a produção do composto é realizada. Podem ser classificados em:

- a) grande escala: usinas de compostagem;
- b) media escala: pilhas com volumes maiores que 3 m<sup>3</sup>;
- c) pequena escala: ou pilhas com volumes menores que 3 m<sup>3</sup>.

### **2.2.3. Processo de compostagem em pequena escala**

A compostagem em pequena em escala proporciona uma economia significativa de energia e custos de transporte, assim como uma redução na propagação dos odores fétidos, podendo receber uma destinação adequada no próprio local onde é gerado (MARQUES e HOGLAND, 2002).

Neste caso, pretende-se verificar se a compostagem realizada em reatores e em pequena escala atende aos requisitos necessários para a obtenção de um composto de boa qualidade, que poderá ser utilizado na agricultura como fertilizante, colaborando com a preservação ambiental, pelo correto tratamento de resíduos antes de sua disposição final. Devido ao tamanho reduzido dos reatores, altas temperaturas (em torno de 65°C) não devem ser observadas, impossibilitando assim a eliminação completa de patogênicos.

### **2.2.4. Fatores que influenciam na compostagem**

Dentre os fatores que influenciam a compostagem pode-se citar: pH, temperatura, relação de concentração C/N, umidade, diâmetro de partículas, grau de aeração, e dimensionamento das pilhas (HAUG, 1993). Serão elencadas as de maior interesse deste estudo:

#### **a) Temperatura**

Segundo Kiehl (1985), a temperatura é um dos fatores mais importantes para determinar se a operação de compostagem se processa como desejável.

De uma maneira geral, microrganismos tem uma faixa de temperatura ótima de desenvolvimento. O controle da temperatura é um fator muito importante, uma variação

para mais ou para menos pode provoca uma redução de produção e de atividade metabólica.

A compostagem aeróbia pode ocorrer tanto em regiões de temperatura termofílica (45°C a 75°C) como mesofílica (25°C a 43°C).

### **b) pH**

O pH do composto pode ser um indicativo do estado de decomposição dos materiais. Segundo Haug (1993), à medida que os fungos e as bactérias digerem a matéria orgânica liberam ácidos que se acumulam e acidificam o meio. A diminuição do pH favorece o crescimento de fungos e a decomposição da celulose.

### **c) Umidade**

Por ser um processo biológico a compostagem necessita da presença de água para as necessidades fisiológicas dos organismos. A umidade é utilizada pra solubilizar o substrato e eliminar o material residual digerido. Dessa forma, todo o nutriente precisa ser dissolvido em água para depois ser assimilado pelos microrganismos.

O teor de umidade indicado para compostagem varia de 50% a 60%. A umidade superior a 65% produz maus odores oriundas no interior da pilha, permite lixiviação dos nutrientes e retarda a decomposição (LIMA, 1995).

Caso perceba-se um excesso de umidade nas pilhas deve-se realizar revolvimentos das mesmas para que essa umidade possa ser reduzida. Há uma regra para determinar quando e quantas vezes se deve revolver. Segundo Kiehl (1985), quando o conteúdo de umidade estiver acima do limite máximo recomendado, deve-se iniciar o revolvimento no 3º dia, repetindo até o 10º ou 12º dia conforme o seguinte esquema:

- a) Umidade entre 60% e 70%, revolver a cada 2 dias por 4 ou 5 vezes;
- b) Umidade entre 40% e 60%, revolver a cada 3 dias por 3 a 4 vezes;
- c) Umidade abaixo de 40%, requer irrigação, a não ser que o processo de compostagem esteja na fase final.

O critério de controle da umidade é imprescindível para o controle: da geração de chorume, emanção de odores fétidos e atração de vetores. O desenvolvimento de reações anaeróbias pode paralisar a ação metabólica do processo gerando um composto de má qualidade (LELIS, 1998).

**d) Aeração**

Segundo Haug (1993), o oxigênio é necessário para os microrganismos obterem energia resultante da oxidação do carbono orgânico, o qual liberta-se como carbono inorgânico, na forma de dióxido de carbono. A causa de um ambiente redutor, que resulta em compostos incompletamente oxidados é a falta de oxigênio.

Se o oxigênio ficar abaixo de 5%, criam-se zonas de anaerobiose. Quando a atividade anaeróbia não for excessiva, a pilha de compostagem irá funcionar como um filtro que impedirá a libertação dos gases com maus odores que, posteriormente, vão ser degradados em seu interior. Cheiros desagradáveis não devem acontecer se o processo de compostagem for bem conduzido. Se o composto cheirar mal, é provável que a leira esteja muito molhada e que necessite de arejamento ou de um material poroso, como a casca de arroz, para reduzir o teor de umidade (SILVA, 2000).

**e) Dimensão das partículas**

As partículas devem ter entre 1,3 cm e 7,6 cm. Se forem menores que esse tamanho, é necessário utilizar sistemas de ar forçado, porém os valores superiores podem ser bons para as pilhas mais estáticas que não possuam arejamento forçado. O ideal é que os materiais usados não possuam dimensões superiores a 3 cm de diâmetro. Quanto menor for o tamanho da partícula mais fácil é o ataque microbiano e a disponibilidade biológica das partículas, mas, entretanto aumentam os riscos de ocorrer compactação e de falta de oxigênio (KIEHL, 2002).

**f) Dimensão e formato das pilhas**

A forma e o tamanho da pilha de compostagem também influenciam na velocidade da compostagem, pelo efeito que tem sobre o arejamento e a dissipação do calor da pilha. O tamanho ideal da pilha é variável, entretanto, o volume deve depender do sistema e das tecnologias de compostagem utilizadas (KIEHL, 1985).

Se a pilha for muito baixa, ela não composta bem e aquecerá muito rapidamente. No entanto, pilhas muito altas se tornam excessivamente quentes e matam os microrganismos responsáveis pela compostagem ou ficam muito compactas, impedindo o arejamento em seu interior.

A forma das pilhas pode ter a seção triangular ou trapezoidal. É recomendável para as estações chuvosas a forma triangular, pois favorece o escoamento da água da chuva. A forma trapezoidal facilita a infiltração de água, o que às vezes pode ser conveniente.

### g) Relação inicial C/N

Essa relação ideal para a compostagem é frequentemente considerada como 30, devido aos microrganismos responsáveis pela compostagem absorverem os elementos de carbono e nitrogênio em uma proporção de 30 partes de carbono para cada parte de nitrogênio.

Segundo Rynk (1992), algumas condições são sugeridas para uma rápida compostagem, e estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Condições sugeridas para uma rápida compostagem

Condições	Faixa adequada	Faixa preferível
Relação Carbono – Nitrogênio (C:N)	20:1 – 40:1	25:1 – 30:1
Umidade	40 -65%	50 – 60%
Concentração de Oxigênio	Maior que 5%	Muito maior que 5%
Tamanho de partícula (cm)	0,3 – 1,5 (1/8 – ½ polegadas)	Vários
pH	5,5 – 9,0	6,5 – 8,0
Temperatura (°C)	43,5 – 65,5 (110 – 150 °F)	54,5 – 60,0 (130 – 140 °F)

Fonte: Rynk (1992)

Estas recomendações visam uma rápida compostagem e pode ser levada em consideração na maioria dos casos, porém, também se podem obter bons resultados fora dessas especificações. Ainda, segundo Rynk (1992), outros fatores importantes são: o tipo de materiais usados, tamanho das leiras ou pilhas, e das condições climáticas.

### 2.2.5. Aplicação do composto como substrato

A fase sólida do substrato é constituída por partículas minerais e orgânicas; a fase líquida é constituída pela água, na qual encontram-se os nutrientes, e é chamada de solução do substrato; também possui uma fase gasosa, que é constituída pelo ar.

Os substratos são usados para produção e crescimento de mudas de diversas espécies, além de adubação do solo em maiores escalas dependendo do caso. O substrato

deve apresentar boas características físicas e químicas, sendo as físicas mais importantes, uma vez que as características químicas podem ser mais facilmente manipuladas. Algumas características são consideradas essenciais para um bom substrato:

- a) baixa compactação e de forma uniforme;
- b) baixa densidade;
- c) ter boa capacidade de campo e troca catiônica;
- d) ser isento de sementes de plantas indesejáveis, de pragas e de microrganismos patogênicos;
- e) boa porosidade para a drenagem do excesso de água durante a irrigação e chuvas, mantendo uma aeração apropriada para as raízes;
- f) apresentar boa agregação das suas partículas nas raízes;
- g) boa capacidade de retenção de água;
- h) apresentar resistência ao desenvolvimento de pragas e doenças;
- i) ser facilmente operado em quaisquer condições de tempo;
- j) ser abundante;
- k) ser economicamente viável.

Essas características foram citadas por Campinhos *et al.* (1984); Santos *et al.*, (2000); Silva *et al.*, (2001); Coutinho e Carvalho (1983).

Segundo Silva (2000), dentre as vantagens apresentadas pela utilização de compostos orgânicos pode-se citar:

- a) é a melhor fonte de matéria orgânica humificada;
- b) substitui o húmus natural do solo;
- c) aumenta a capacidade de retenção de água e ar no solo;
- d) melhora as condições físicas, químicas e biológicas do solo;
- e) possibilita a formação de microbiota no solo;
- f) aumenta a porosidade do solo, tornando-o mais arável;
- g) assegura a conservação da umidade e protege contra a evaporação; por ser sanitizado, é empregado diretamente nas plantações de frutas e verduras, que são consumidas cruas;
- h) dá vidas aos jardins, viço às plantações e eleva a produtividade agrícola, e;
- i) restabelece as condições ecológicas locais.

Os compostos orgânicos beneficiam o desenvolvimento das plantas, e culturas não só em sua fase muda, como em todo o ciclo de vida. Esse benefícios ocorrem de uma forma direta, através de micro e macronutrientes que estão presentes em sua composição,

ou também de uma forma indireta, causando melhorias para o solo onde as plantas vão se desenvolver.

Para o melhor aproveitamento do composto orgânico maturado, é recomendado que a aplicação seja realizada em covas ou em aberturas, desde que o composto seja incorporado ao solo, para que sejam evitadas perdas de nutrientes (PEIXOTO, 1988; KIEHL, 2002). Além disso, os autores também citam que as incorporações do composto ao solo pode promover o rompimento da camada superficial de solos compactados, o que favorece a penetração de água, reduzindo a perda de nutrientes pela lixiviação e por uma consequente erosão.

### **2.2.6. Produção de composto orgânico**

Diretamente relacionado com a qualidade do composto está o tipo de material que é utilizado. Os materiais que apresentam um bom potencial para produção de composto são: lodos de estação de tratamento de efluentes industriais e domésticos, resíduos de podas de jardins, resíduos vegetais, resíduos sólidos urbanos e dejetos animais como esterco bovino.

Algumas características para um composto orgânico de qualidade podem ser encontradas na literatura (Tabela 2). As principais características físicas estão relacionadas à cor, tamanho das partículas, odor, principais contaminantes, umidade, nutrientes e matéria orgânica.

Em termos de legislação para regulamentar as especificações de qualidade de um composto orgânico, foi aprovada pelo MAPA a Instrução Normativa Nº 25, de 23 de julho de 2009. Nesta Resolução constam os limites e principais parâmetros a serem atendidos para a comercialização de fertilizantes orgânicos destinados a agricultura. Neste trabalho será considerado também a legislação estabelecida na Instrução Normativa nº 27, de 5 de junho de 2006 do MAPA que se refere as concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, dentre outros.

Tabela 2 – Algumas características físicas desejáveis para um composto.

<b>Parâmetro</b>	<b>Observações</b>
<b>Cor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Escurecimento do material ao longo do processo.</li> <li>* O material escuro é normalmente associado a uma elevada concentração de matéria orgânica.</li> </ul>
<b>Tamanho das partículas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Desempenha um papel muito importante no armazenamento, embalagem, distribuição e utilização final do material.</li> <li>* Determina a textura do solo tendo um impacto sobre a produtividade do solo.</li> </ul>
<b>Odor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* A presença de odores desagradáveis durante o processo é geralmente indicação de que foram estabelecidas condições anaeróbicas.</li> <li>* A presença contínua de um forte odor de terra pode significar que o processo de compostagem está concluído.</li> </ul>
<b>Contaminantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* O composto final não deve conter contaminantes identificáveis, tais como: pedras, partículas de vidro, peças de metal e plástico, sementes de ervas daninhas nocivas, metais tóxicos e</li> <li>* Agentes patogênicos.</li> </ul>
<b>Teor de umidade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Deve ser inferior a 50% para promover a facilidade de manuseio, a aplicação e o transporte.</li> <li>* Não deve ser excessivamente seco (inferior a 30% de umidade).</li> </ul>
<b>Conteúdo de Nutrientes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Os nutrientes mais importantes para as plantas incluem o azoto, fósforo e potássio;</li> <li>* Nutrientes menos significativos incluem cobre, ferro, manganês e boro.</li> </ul>
<b>Matéria Orgânica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* A utilidade do composto depende da sua capacidade para aumentar a concentração de húmus no solo, uma vez que este aumenta a fiabilidade e retenção de água do solo.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Eggerth, 2007.

Algumas definições importantes para este estudo e constantes na Instrução Normativa nº 25/2009 são:

[...]

Art.1º Para efeito desta Instrução Normativa entende-se por:

[...]XII - fertilizante orgânico e organomineral complexado: produto de natureza fundamentalmente orgânica que contém em sua composição Cálcio, Magnésio ou micronutrientes ligados quimicamente a um ou mais agentes complexantes;

Art. 2º Os fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais serão classificados de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção em:

I - Classe "A": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados, no

processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

Art. 4º Os fertilizantes sólidos ou fluidos para aplicação no solo terão a forma e solubilidade dos nutrientes indicadas como percentagem mássica, tal como é vendido, como segue, exceto nos casos em que se preveja expressamente a sua indicação de outro modo:

[...]Sobre os macronutrientes Cálcio e Magnésio, a Instrução Normativa estabelece os valores apresentados na tabela 3:

Tabela 3: Teor total mínimo dos macronutrientes cálcio e magnésio por tipo de fertilizante orgânico.

NUTRIENTE	APLICAÇÃO NO SOLO (Teor Total Mínimo-%)		VIA FLOLIAR, FERTIRRIGAÇÃO E HIDROPONIA (Teor Solúvel em H2O)	
	Sólido	Fluido	Sólido	Fluido
Cálcio (Ca)	1	0,5	0,5	0,3
Magnésio (Mg)	1	0,5	0,5	0,3

Fonte: Instrução Normativa nº 25/2009

Art. 7º Os fertilizantes orgânicos simples, mistos e compostos para aplicação no solo deverão atender o seguinte:

I - para os produtos sólidos: as garantias serão, no mínimo, de acordo com as constantes dos Anexos II e III desta Instrução Normativa;

[...]O Anexo II e o Anexo III da Resolução Normativa 25/2009 referem-se às especificações, limites mínimos e máximos, admitidos para fertilizantes orgânicos, que se transcreveu nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4: Especificações dos fertilizantes orgânicos simples contidas no Anexo II da RN 25/2009. \*(valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C)

Orgânico simples processado	U% máx.	pH	*C org% mínimo.	N% mínimo.	*CTC mínimo.	*CTC/C mínimo.
Parâmetros de referência para outros fertilizantes orgânicos simples.	40	Conforme declarado (1)	15	0,5	Conforme declarado (1)	Conforme declarado (1)

É obrigatória a declaração no processo de registro de produto.

Fonte: Instrução Normativa nº 25/2009

Tabela 5: Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos contidas no Anexo III da RN 25/2009. \*(valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C)

Garantia	Misto/composto				Vermicomposto
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classes A,B,C,D
Umidade	50	50	50	70	50
N total (mín.)	0,5				
*Carbono orgânico total (mín.)	15				10
pH (mín.)	6,0	6,0	6,5	6,0	6,0
Relação C/N (máx.)	20				14
Outros nutrientes	Conforme declarado				

Fonte: Instrução Normativa nº 25/2009

No que se refere à Instrução Normativa Nº 27, de 5 de junho de 2006 do MAPA, que estabelece os limites máximos de contaminantes admitidos em substrato para plantas e condicionadores de solo deverão ser respeitados os estabelecidos na tabela 6:

Tabela 6: Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos

Contaminante	Valor máximo admitido
	1.000,00
Coliformes termotolerantes – número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)	
Ovos viáveis de helmintos – número por quatro gramas de sólidos totais (nº em 4g ST) <i>Salmonella</i> sp	1,00 Ausência em 10g de matéria seca

Fonte: Instrução Normativa nº 27/2006

### 2.2.7. Influência das características dos resíduos no processo de compostagem

Os resíduos destinados à compostagem possuem um conjunto de características que vão influenciar a atividade microbiana direta e indiretamente e, conseqüentemente, vão determinar as estratégias de compostagem. Pode-se dizer que cada tipo de resíduo “desempenha um papel” na compostagem, do ponto de vista do manejo de uma leira.

Algumas características que influenciam diretamente a atividade microbiana são: relação carbono/nitrogênio; conteúdo de carboidratos disponíveis a biodegradação; superfície exposta às colônias de microrganismo; resistência física ou química a biodegradação e pH. As características com influência indireta seriam: porosidade da

massa do resíduo (volume de vazios/ volume total), efeito a estabilidade da estrutura da leira; retenção de umidade e retenção de calor (condutividade térmica). Este grupo de características tem influência sobre o fluxo de ar no interior da leira (aeração) e a perda de calor e umidade ( MILLER, 1993).

A compreensão de ambos os grupos de características dos resíduos remetem ao entendimento da leira de compostagem como sendo um ecossistema microbiano. No entanto, mais atenção tem sido dada às características de composição bioquímica, ou simplesmente química, por exemplo relação C/N, para se elaborar misturas de resíduos. É comum a negligência ao papel das características de influência indireta, por exemplo a porosidade e o efeito à estabilidade da estrutura da leira. Um exemplo disto são as recomendações de trituração de resíduos para acelerar a compostagem que são geralmente baseadas em resultados de laboratórios e não levam em consideração problemas como a tendência ao colapso de determinados materiais, entendido como a compactação da massa orgânica úmida em decomposição, quando em leiras de compostagem. Esse colapso da estrutura da leira impede ou dificulta a aeração natural ou mesmo forçada. Ou ainda, a aversão ao uso em grande volume de material celulósico (alta C/N), tais como aparas de madeira, serragem e palhas secas de culturas agrícolas. Estes são materiais que por sua decomposição lenta auxiliam no controle da aeração e temperatura. As consequências destas falhas são conhecidas: geração de odores desagradáveis e fortes e atração e proliferação de moscas.

Os lodos podem ser provenientes de estação de tratamento de esgoto, água ou de estações de efluentes industriais. Segundo Pegorini (1999), podem ser destinados a compostagem para tratamento e posterior uso agrícola. Por serem pouco porosos e muito densos, os lodos devem ser misturados com materiais como a maravalha (apara de madeira ou serragem) para conferir maior porosidade e estabilidade à estrutura das leiras de compostagem. Epstein (1997) cita ainda que alguns lodos que passaram por uma digestão anaeróbica eficiente têm pouca energia (carbono) prontamente disponível para a atividade microbiana e, com frequência, isso dificulta a elevação da temperatura na compostagem sem que seja adicionada uma fonte externa de carbono disponível.

Os esterco animais têm características variáveis fundamentalmente se provém de animais monogástricos ou ruminantes. O primeiro tipo inclui os suínos, aves e equinos, enquanto o segundo tipo é representado pelos bovinos, bubalinos, caprinos, apenas para citar os grupos de maior representatividade para agropecuária. O tipo de alimentação também influi na composição de esterco. Em geral, elevado conteúdo de nutrientes,

principalmente nitrogênio, está presente nos esterco de suínos e aves devido às limitações de assimilação. Esterco de bovinos já possuem grande quantidade de fibra vegetal remanescente. O esterco de aves de corte é comumente misturado a aparas de madeira (maravalha) ou serragem constituindo a cama de aviário, material rico em nitrogênio, de baixa densidade e estrutura estável, mas de baixa umidade. O esterco fresco de bovinos tem consistência pastosa, alta umidade, que pode trazer dificuldades para compostagem, porém se eliminado o excesso de umidade (esterco curtido) é um importante insumo na compostagem por sua alta disponibilidade para biodecomposição e composição de nutrientes.

Certas características dos resíduos podem determinar até a forma e a posição que o material é colocado em uma leira de compostagem, ou seja, o manejo do resíduo. Por exemplo, na compostagem de restos de restaurantes misturada a cama de biotério a leira é coberta por cortes de grama, folhas ou palhas. Esta camada evita a exposição do material atrativo aos vetores (moscas e ratos) e ajuda a conservar o calor na camada mais superficial da leira, o principal local de crescimento de larvas de mosca. Restos de arroz e feijão, massas e carnes possuem características que favorecem o crescimento dessas larvas e que dificultam a ação microbiana aeróbia da compostagem. Por isso, estes materiais podem gerar focos de fermentação e larvas se mantidos aglomerados e/ou expostos, situação que pode ser desastrosa.

Materiais com excessiva quantidade de lipídios, gorduras animais e vegetais no caso de resíduos de restaurantes, que se tornam pastosos à alta temperatura da compostagem, podem reduzir a porosidade disponível à difusão do ar, de tal forma que alguns autores recomendam considerar umidade e conteúdo lipídico juntos no cálculo da umidade dos materiais para compostagem (MILLER, 1993). Na prática realmente se verifica uma dificuldade maior na condução da compostagem quando a quantidade de materiais gordurosos é grande, o que também tem forte relação com o fraco crescimento inicial dos microrganismos sobre esses materiais.

Nos itens subsequentes serão apresentados de forma mais detalhada alguns aspectos referentes aos resíduos e ao substrato (serragem) empregados no presente trabalho.

#### **2.2.8. Esterco bovino**

O Brasil possui o segundo maior rebanho mundial, sendo superado pela Índia, mas esse país não utiliza a pecuária bovina com fins comerciais. Com o maior rebanho

comercial do mundo o Brasil é o maior exportador de carne em toneladas, As concentrações do rebanho bovino encontram-se no sudeste e centro-oeste do país. O estado do Rio Grande do Sul é considerado o sexto maior em produção do rebanho bovino brasileiro (IBGE, 2010). Este setor é potencialmente poluidor, porém por seu resíduo apresentar integralmente origem orgânica, muitas vezes passa despercebido pela sociedade.

O setor agroindustrial vem crescendo cada vez mais e com isso há um aumento na produção e geração de grandes quantidades de resíduos sólido e líquido, proveniente dos processos produtivos e de transformação, desde a etapa da extração da matéria-prima, estendendo-se durante todas as etapas do processo industrial, constituindo assim um problema social, econômico e ambiental).

Nos últimos tempos as indústrias de carnes têm sofrido uma maior exigência dos órgãos de controle fitossanitário e principalmente dos órgãos ambientais. Dessa forma, um setor acostumado com tecnologias tradicionalmente do tipo familiar, tem de encontrar soluções que torne possível a sua sobrevivência num meio de alta competitividade e com controles sanitários mais rigorosos.

Os resíduos gerados em abatedouros de animais tem origem em vários setores. Primeiramente, após a chegada ao local do abate os animais são mantidos em currais para um período de repouso, variando de 12 até 24 horas, sob dieta hídrica, ou seja, não recebem alimentação no período que antecede o abate, somente recebem água, porém nesse tempo geram resíduos vindos de sua excreção, a limpeza de currais e lavagem de caminhões.

No momento do abate também é gerado resíduos, segundo Matos (2005) estes resíduos são constituídos de aproximadamente 23kg de rúmen (barrigada) e 18kg de dejetos nos matadouros por animal abatido.

Sabendo-se que cada animal abatido produz 18 kg de dejetos, e que segundo o IBGE o abate bovino no Brasil em 2013, atingiu uma marca de 34,4 milhões de cabeças abatidas, foi gerado 619,2 mil toneladas de dejetos. Considerado a grande quantidade, é necessário encontrar alternativas de destino final para estes dejetos.

Logo a compostagem surge como uma alternativa viável e ecologicamente correta para o tratamento e disposição final deste resíduo.

Os micro-organismos existentes na compostagem deste resíduo se utilizam do carbono e do nitrogênio para desencadear o processo de fermentação. Assim é importante que a relação entre estes dois produtos seja uniforme no monte. Uma relação C/N ao redor de 30, na mistura é ideal. Os micro-organismos sempre absorvem o carbono e o nitrogênio

na relação C/N de 30/1, quer a matéria prima a ser compostada tenha relação 80/1 ou 8/1 (KIEHL, 1985).

Segundo Teixeira (2004), essas associações deverão, se possível, ser utilizadas na proporção de 70 % de material rico em hidratos de carbono (restos vegetais) e 30% pobre em carbono (esterco de animais), mas rico em nitrogênio. Os materiais ricos em nitrogênio são de fácil decomposição e se prestam como fonte de micronutrientes para o composto. O esterco além de fornecer o N é o material inoculante de bactérias e fungos. Uma compostagem feita com material muito rico em carbono e com baixos teores de nitrogênio vai aquecer muito devagar e ter uma fermentação lenta. É o caso, por exemplo, das pilhas com muita palha de milho (rica em carbono) e pouco esterco (baixo carbono e alto nitrogênio) (COSTA, 2009).

A incorporação ao solo de resíduos orgânicos crus, com relação C/N muito baixas ou muito altas, pode causar problemas a cultura. Se a relação for baixa, como acontece em determinados resíduos animais (ou lodo ativado rico em nitrogênio), haverá desprendimento da amônia, danosas a planta. Ao contrário se, a relação for alta, como nos materiais essencialmente palhosos, ricos em celulose haverá consumo de nitrogênio do solo pelos micro-organismos, causando deficiência temporária as plantas, reconhecida pelo amarelecimento das folhas (clorose) ou até se a dose do resíduo for elevada, levando a morte das mesmas (KIEHL, 2002). Alguns materiais de origem animal, que são utilizados na compostagem, podem ser observados na Tabela 7 .

Tabela 7: Composição de alguns materiais de origem animal, de interesse ao estudo.

<b>Material</b>	<b>M.O. %</b>	<b>N%</b>	<b>C/N</b>
Esterco de equino	46,00 %	1,44 %	18/1
Esterco de bovino	57,10 %	1,67 %	32/1
Esterno de ovino	65,22 %	1,44 %	32/1
Esterco de suíno	53,10 %	1,86 %	16/1
Esterno de galinha	52,21 %	2,76 %	11/1
Cama de poedeiras	55,34 %	2,80 %	11/1

Fonte: Blanco, (2008).

Diversos autores apresentam tabelas com a composição provável de esterco de animais de criação como as citadas acima. Porém esses valores são muito variáveis e a análise da composição do material em cada caso é fundamental para o sucesso da compostagem.

### 2.2.9. Lodo de estação de tratamento de esgoto

Com o crescimento desordenado, o avanço tecnológico e a restrição na legislação quanto às emissões de efluentes no Brasil, surge a necessidade de estações de tratamento de esgoto (ETE), que tem como objetivo minimizar a poluição dos sistemas aquáticos reduzindo a concentração de matéria orgânica. Porém se sabe que a quantidade de matéria orgânica não é reduzida, e sim transformada, e uma parte dessa transformação fica na fase sólida denominada lodo.

Embora esse resíduo represente em média 1% a 2% do volume total do esgoto tratado, seu gerenciamento é bastante complexo e demanda custos elevados (ANDREOLI, 2006). O processamento e a disposição final do lodo podem representar até 60% do custo operacional de uma ETE (VON SPERLING, 2001).

A quantidade de lodo gerado cresce proporcionalmente ao aumento dos serviços de coleta e tratamento de esgoto, que, por sua vez, deve acompanhar o crescimento populacional. Em 2010, estimativas apontavam uma produção nacional de 150 a 220 mil toneladas de matéria seca por ano, considerando que o tratamento de esgoto atingia apenas 30% da população urbana (PEDROZA *et al.*, 2010).

Este resíduo apresenta-se tipicamente com 98 % de água. Dos sólidos contidos, 70 a 80 % são matéria orgânica incluindo óleos e graxas (SORME, 2002).

Em média, estima-se que cada ser humano produza cerca de 120g de sólidos secos diários lançados nas redes de esgoto (NUVOLARI *et al.*, 2011).

A preocupação com o descarte de lodo é relativamente recente. As empresas gerenciadoras de saneamento básico procuravam apenas se livrar do resíduo, sendo as formas mais utilizadas o descarte da torta de lodo em aterros sanitários (NUVOLARI *et al.*, 2011). Os processos que englobam a disposição final de 90% do lodo produzido no mundo são: incineração, disposição em aterros e uso agrícola (ANDREOLI *et al.*, 2006)

Acompanhado da preocupação de “o que fazer com o lodo?”, surgiram também pesquisas sobre este resíduo, segundo Pegorini (1999), o reaproveitamento agrícola demonstra ser a melhor opção de reuso do lodo, pois reduz a exploração de recursos naturais para fabricação de fertilizantes e proporciona os melhores resultados econômicos.

A disposição do lodo em áreas degradadas, por sua composição química, consegue aumentar a capacidade de infiltração e retenção de água e a aeração do solo.

No entanto, a qualidade do lodo utilizado na agricultura deve ser assegurada, de modo que promova melhorias às qualidades físicas, químicas e biológicas do solo, sem

risco de contaminações, observando-se as exigências da Resolução Conama 375/2006 (BRASIL, 2006).

Os sistemas de tratamento de esgoto e efluentes com carga orgânica geram resíduos sólidos no final do processo, denominados lodo de esgoto ou simplesmente lodos biológicos. Segundo orientação da *Water Environmental Federation* – WEF, caso este material tenha uma composição predominantemente orgânica e possa ter uma utilização benéfica, estes resíduos devem ser denominados de Biossólidos (ANDREOLI e PEGORINI, 1998). A reciclagem agrícola desses biossólidos é uma das formas mais benéficas de se gerenciar esses resíduos por representar aporte de nutrientes e matéria orgânica ao solo, com reflexos na formação de agregados do solo, na capacidade de retenção de água e na redução do uso de fertilizantes industrializados (ANDREOLI e PEGORINI, 1998). No entanto, esta reciclagem agrícola de lodos deve seguir critérios técnicos de prevenção de impactos ambientais relacionados a metais pesados, excesso de nitrato e carga de fósforo, e a presença de patógenos e helmintos (parasitas intestinais) no material que vai ao solo agrícola.

No Brasil, assim como nos EUA e Europa, existem normas ambientais que regulam a reciclagem agrícola de lodos de esgoto. No Brasil, a Resolução CONAMA n° 375 (BRASIL, 2006) regula este tema, trazendo parâmetros e limites de concentração dos agentes potencialmente poluentes.

Segundo Fernandes (1999), a compostagem de lodos apresenta claras vantagens:

- a) flexibilidade tecnológica, podendo empregar sistemas simples para as pequenas quantidades, até sistemas mais sofisticados para maiores quantidades de lodo;
- b) permite usar o lodo com grau de estabilização variável, podendo inclusive processar precauções de controle de odor;
- c) produção de biossólido Classe A, de acordo com a Resolução 375 do CONAMA, se o processo de compostagem for bem conduzido;
- d) segurança sanitária já que o processo elimina os patógenos presentes no lodo;
- e) facilidade de manuseio e transporte de produto final, em contraste com o lodo pastoso;
- f) fixação de carbono, reciclagem e ausência de passivos;
- g) qualidade agroquímica (presença de substâncias húmicas).

As limitações relacionadas à necessidade de obtenção de materiais estruturantes, como palhas, serragem, podas urbanas trituradas, o que implica em custos de transporte e manuseio para o gestor do lodo e na necessidade de monitoramento e controle do processo

biológico. A aplicação de lodo de esgoto estabilizado pela via alcalina tem sido amplamente utilizada para viabilizar a reciclagem agrícola também no estado do Paraná, região metropolitana de Curitiba. Resultados de rendimento de lavoura comparando lodos estabilizados com cal e lodos compostados apontam para uma melhor resposta ao primeiro produto. Esta resposta pode estar relacionada ao maior teor de nitrogênio (N) na forma de nitrato ( $\text{NO}^{-3}$ ) comum aos lodos de esgoto ou mesmo ao efeito da própria cal, elevando o pH do solo. O lodo compostado tende a apresentar menor teor de nitratos em função da perda de nitrogênio em forma de amônia ( $\text{NH}_3$ ) volatilizada durante o processo de compostagem e, também, pela conversão das formas solúveis de N em N-orgânico. O excesso de nitrato, altamente solúvel, no material aplicado ao solo leva a um maior risco de contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

#### **2.2.10. Casca de ovo**

Com o aumento na população o consumo de alimentos tornou-se maior e o mercado exigisse mais de sua produção, para isso foi preciso desenvolver processos em grande escala além de uma maior vida útil, porém com toda essa necessidade também surgem os problemas, quanto mais alimento é produzido e consumido, mais resíduo é gerado.

A industrialização de ovos (ovos em pó, líquidos, congelados, etc.) proporciona vantagens econômicas, extensão da vida útil do produto, facilidades no transporte e conservação, porém, gera um número expressivo de cascas, sendo ainda consideradas como resíduos. Sabendo-se que a casca representa 10% do peso do ovo, o resíduo gerado corresponde a cerca de 5,92 milhões de toneladas por ano em todo o mundo (OLIVEIRA, BENELLI e AMANTE; 2009).

Atualmente 40% da produção de ovos têm origem nos países em desenvolvimento e apenas 20% nos países desenvolvidos. A produção mundial atual é de 59,2 milhões de toneladas, com a liderança cabendo à China com 41,1%. (SIMONS; 2007).

Além da geração de cascas de ovos de maneira direta (para industrialização) se observa também grandes gerações de maneira indireta (ovos destinados à incubação).

O ano de 2008 registrou um novo recorde de produção de pintos de corte 5,47 bilhões de cabeças, e segundo as expectativas da União Brasileira de Avicultura (UBA), mesmo com a instabilidade econômica atual, os valores estão próximos. Segundo o supervisor de incubatório da Perdigão, Felipe Kroetz, tem-se um percentual de 17 % de

perdas na incubação de ovos, ou seja, a estimativa é que sejam produzidos 943,5 milhões de ovos não nascidos (resíduos de incubatório).

Estes resíduos de incubação são compostos por ovos inférteis, casca de ovos, mortalidade provinda da transferência da incubadora para o nascedouro e má formação durante o desenvolvimento embrionário, além disso, se for um incubatório de postura, os pintos machos também são considerados resíduos de incubatório.

Visto que a geração de cascas de ovos representa uma quantidade significativa, é necessário pensar em uma maneira de dispor este material. A compostagem surge então como uma maneira de dar um fim adequado e rentável para este resíduo.

A casca de ovo, por ser um material inorgânico, será combinada com o esterco bovino e lodo de ETE, que apresentam elevada percentagem de matéria orgânica. Análises mostram que as cascas de ovos apresentam baixo percentual (19,03%) de matéria orgânica compostável, desta forma a mistura é fundamental.

Estudos sistemáticos acerca dos efeitos no solo da aplicação da casca de ovo, após tratamento térmico ou incorporado num composto orgânico são escassos, sendo de realçar o trabalho realizado por Kemper e Goodwin (2009) que avalia a compostagem da casca de ovo com outros subprodutos no processo de compostagem.

Grande quantidade de casca de ovo é produzida pela indústria alimentícia, sendo considerada como um subproduto de origem animal não destinado ao consumo humano. Devido à indefinição de estratégias adequadas para a gestão deste subproduto que contém cerca de 94% (m/m) de  $\text{CaCO}_3$  na sua composição (STADELMAN, 2000), a deposição em aterro tem sido tradicionalmente utilizada como destino final. No entanto, as possibilidades de reutilização deste resíduo podem incluir a preparação de alimentos para animais ou de materiais adsorventes para a remoção de corantes e a sua incorporação no solo (PARK *et al.*, 2007; TSAI *et al.*, 2008; (MEZENNER; BENSMAILI, 2009).

### **2.2.11. Serragem**

A produção de madeira serrada no Brasil consome em torno de 33,5 milhões de metros cúbicos em toras, e aproximadamente metade desse volume é resíduo, que é descartado ou reciclado apenas parcialmente (WANDER, 2001).

A serragem, os cavacos menores e as cascas são resíduos geralmente queimados ou descartados no ambiente, provocando poluição do solo, ar e água .

Tais problemas tendem a se agravar pelo aumento projetado da produção de madeira serrada, já que atualmente diversas empresas florestais estão envolvidas no manejo de povoamento de eucalipto, com vista ao seu uso múltiplo. Além dos aspectos da poluição, há o lado econômico, pois apenas a metade da madeira produzida em ciclos de 15 a 20 anos ou mais é efetivamente utilizada, jogando-se fora a outra metade (TROMBETTA, 2010).

Estudos mostram que a perda econômica, considerando apenas o potencial energético do resíduo gerado em forma de serragem, pode chegar a US\$ 11,9 por metro cúbico de madeira serrada (TROMBETTA, 2010).

Segundo Kiehl (1985), as propriedades químicas da serragem de madeira (g/kg) são de: 935 de MO; 519 C; 0,6 N; 865 C/N; Observando estas propriedades se percebe uma boa aplicabilidade dessa serragem no processo de compostagem, como fonte de nutrientes além de fatores físicos.

Neste processo, o controle do alto teor de umidade dos resíduos é um fator imprescindível para o andamento adequado do processo. Neste caso, uma das alternativas é a adição de palhoso (restos de vegetais secos), que contribui para o equilíbrio da umidade e ainda auxilia para regular a relação C/N. Porém, nas cidades de médio e grande porte às vezes se torna difícil encontrar este material palhoso, mas pode ser substituído pela serragem. Além disso, a serragem é encontrada em abundância nas madeireiras, muitas vezes sem custo ou com baixo custo, o que facilita o uso deste tipo de resíduo.

Os principais fatores que afetam o metabolismo de decomposição da celulose são: a disponibilidade de nitrogênio, de oxigênio, a temperatura, a umidade, o pH, a presença de outros hidrocarbonetos e a presença de lenhina (PEREIRA NETO, 1992), sendo que a aplicação de N inorgânico em materiais celulósicos (de elevada relação C/N) acelera a sua decomposição. O Carbono é a maior fonte de energia para os microrganismos, porém a sua eficiência não é 100% e a demanda é maior do que a do N. Apesar da grande diferença de demandas, a carência de N é limitante no processo, por ser essencial para o crescimento e reprodução celular.

O uso da serragem tem se mostrado uma alternativa atraente para utilização carbonácea em um processo de compostagem, pois tem a capacidade de absorver umidade da massa de resíduos orgânicos e ainda evitar a compactação destes durante o processo. Além disso, a serragem é encontrada em abundância nas madeireiras, com baixo custo, o que facilita o uso deste tipo de resíduo. O uso de serragem em composteiras também representa uma nova opção de destino adequado para tais resíduos (MARAGNO 2007).

A Tabela 8 apresenta a composição de alguns materiais de origem vegetal utilizados na compostagem. Assim, considerando que a serragem pode ser uma boa solução para regular a umidade e favorecer a compostagem e, considerando ainda a importância da compostagem para o drama dos resíduos sólidos, é que se propôs este projeto de pesquisa.

Tabela 8 - Composição de alguns materiais de origem vegetal para compostagem

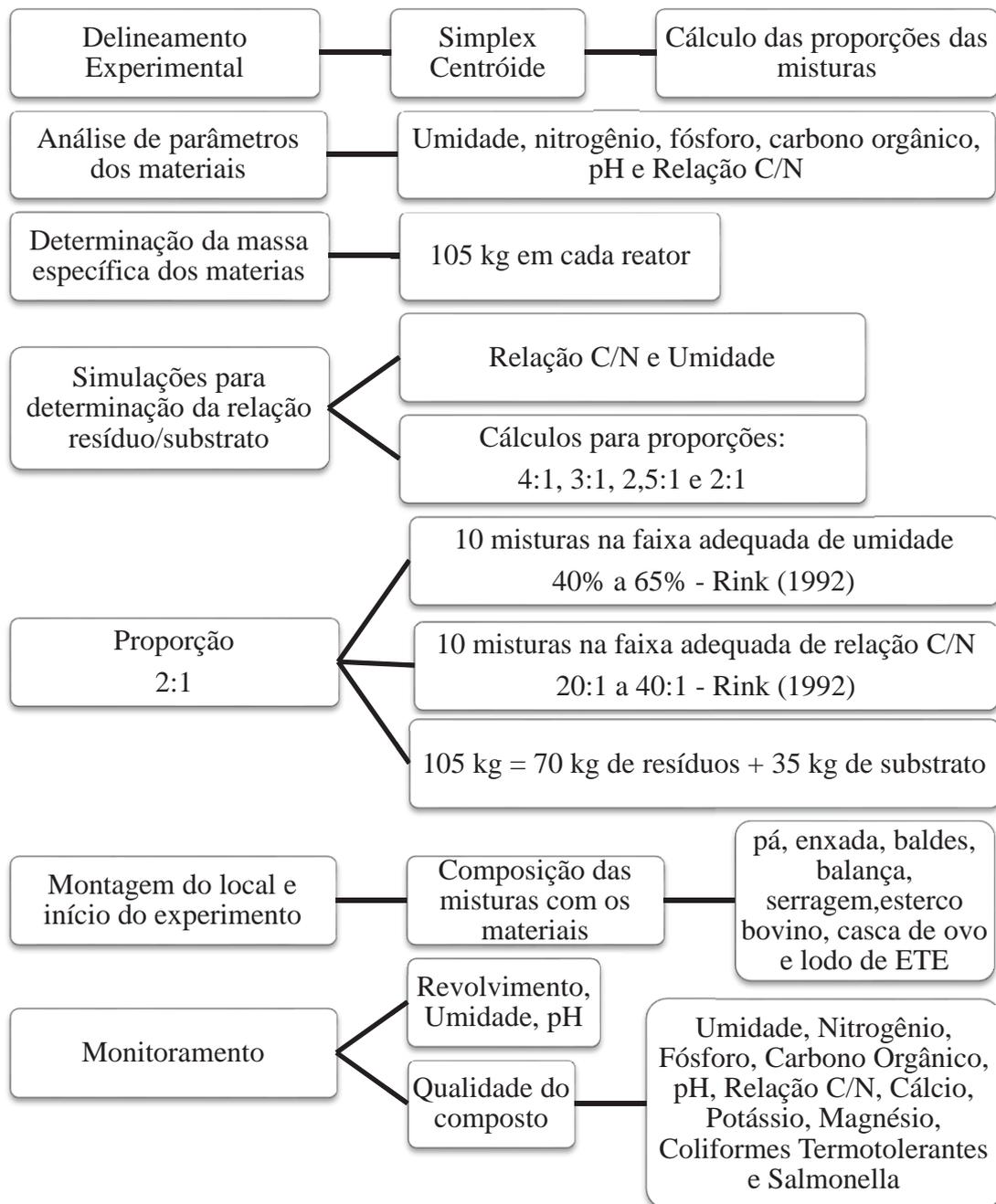
<b>Material</b>	<b>M.O.%</b>	<b>N%</b>	<b>C/N</b>
Bagaço de cana-de-açúcar	71,44	1,07	37/1
Folhas de amoreira	86,08	3,77	13/1
Casacas e palha de arroz	54,55	0,78	39/1
Banana: talos e cacho	85,28	0,77	61/1
Palhas de milho	96,75	0,48	112/1
Sabugos de milho	45,20	0,52	101/1
Serragem de madeira	93,45	0,06	865/1

Fonte: Blanco, (2008).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse item são apresentados os principais materiais e procedimentos utilizados no monitoramento do processo de compostagem dos resíduos em pequena escala, bem como os métodos empregados para atingir os objetivos propostos que seguiram a ordem apresentada no fluxograma da figura 3.

Figura 3: Fluxograma da sequencia de materiais e métodos.



### 3.1. Local do experimento

O experimento foi realizado em Passo Fundo, Rio Grande do Sul, no Campo Experimental de Geotecnia no Centro de Tecnologia (CETEC), da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, localizado no Campus I da Universidade de Passo Fundo (Figura 4), segundo as coordenadas geográficas no Sistema SIRGAS 2000: S -28.22617 e W: -52.38639.

Figura 4: Local onde foi realizado o experimento



### 3.2. Descrição do experimento

A compostagem foi realizada em uma área de, aproximadamente, 30 m<sup>2</sup>. O experimento foi realizado em reatores cilíndricos aerados e cobertos. A aeração ocorreu por revolvimento manual, com pá e helicóide.

Foram montados 14 reatores cilíndricos de plástico reforçado, com capacidade para 200 kg cada, com dimensões, aproximadas, de 90 cm x 60 cm (AxL), caracterizando-se como um processo em pequena escala. Os materiais: casca de ovo (CO), lodo de graxaria (L), esterco bovino (E) e serragem (S), ocuparam os reatores de forma homogênea, permanecendo distribuídos nos tambores plásticos abertos, com capacidade para armazenar completamente os resíduos.

Todos os reatores eram providos de registro, adaptado na parte inferior. Com o objetivo de facilitar o manuseio, os reatores foram dispostos sobre uma estrutura metálica, com caimento de 2%, para facilitar a retirada do percolado caso fosse necessário.

O processo realizado é classificado como de pequena escala, por ter sido realizado em reatores de pequenas dimensões. A opção por este modelo deu-se pelo espaço disponível e, principalmente, por permitir a investigação experimental de misturas ideais em condições controladas.

No local, foi construída uma cobertura para proteger os reatores das chuvas, evitando o excesso de umidade, porém garantindo luminosidade solar para aumentar a evaporação da água das misturas submetidas à compostagem. A construção da cobertura foi realizada utilizando-se madeira para a estruturação do telhado e aluzinco para a cobertura (Figura 5).

Figura 5: Vista geral do experimento.



Os reatores foram dispostos lado a lado, numerados e adaptados com um dreno individual (Figura 6), para controle do excesso de umidade. Ao dreno era acoplado um registro para retirada do percolado, evitando uma eventual contaminação do solo. O

percolado retirado de forma manual com o auxílio de um recipiente plástico era encaminhado para tratamento no setor responsável na própria Universidade de Passo Fundo.

Figura 6: Adaptação do reator com uma saída para percolado.



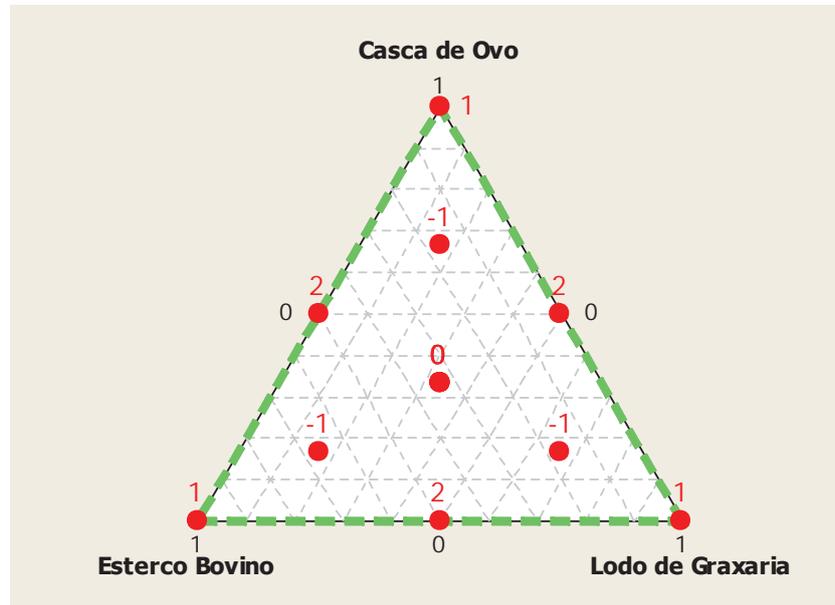
### 3.3. Experimento e tratamentos

As misturas foram compostas por proporções variáveis de três resíduos de origem agroindustrial (casca de ovo, lodo de graxaria e esterco bovino), além de uma quantidade fixa de serragem (meio estruturante).

Para a definição das proporções de casca de ovo, lodo de graxaria e esterco bovino testadas (a quantidade de serragem foi mantida constante para todas as misturas), foi empregado um delineamento do tipo Simplex Centróide, com adição de pontos axiais, apropriado ao estudo experimental de misturas (CORNELL, 2002). A representação geométrica do espaço experimental, denominado espaço simplex, é apresentada na Figura 7. Nesta Figura, os pontos correspondentes aos vértices da região triangular correspondem às misturas unitárias, os pontos médios dos lados do triângulo correspondem às misturas binárias, e os demais pontos às misturas ternárias. Cabe observar que as repetições foram

realizadas somente no ponto central (ponto “0”). Os pontos identificados como “-1” são os denominados pontos axiais.

Figura 7: Delineamento Simplex Centróide



O delineamento experimental resultou em 10 pontos experimentais, com 4 repetições no ponto central, totalizando 14 misturas. As proporções de cada uma das 14 misturas estão apresentadas na Tabela 9. Cada mistura corresponde a um reator.

Tabela 9: Cálculos das proporções obtidas através do planejamento simplex de mistura

Ponto	Mistura	Casca de ovo	Esterco bovino	Lodo de graxaria
1	1	0,000	1,000	0,000
2	2	0,500	0,000	0,500
0	3	0,333	0,333	0,333
-1	4	0,667	0,167	0,167
-1	5	0,167	0,667	0,167
2	6	0,500	0,500	0,000
0	7	0,333	0,333	0,333
2	8	0,000	0,500	0,500
0	9	0,333	0,333	0,333
1	10	0,000	0,000	1,000
0	11	0,333	0,333	0,333
1	12	1,000	0,000	0,000
0	13	0,333	0,333	0,333
-1	14	0,167	0,167	0,667

Com o objetivo de determinar as características iniciais de cada um dos materiais utilizados nesse estudo, foram realizadas análises de umidade, nitrogênio, fósforo, carbono

orgânico pH e relação carbono nitrogênio. Os valores encontrados são fundamentais, pois a partir deles foram realizadas simulações de proporções ideais buscando a otimização do processo de compostagem. Embora existam dados na literatura sobre as características dos materiais, eles são variáveis e conhecer as características específicas do material utilizado foi fundamental.

As análises foram realizadas no período de 13 de janeiro de 2014 a 07 de março de 2014 no Laboratório de Solos da Universidade de Passo Fundo, (Tabela 10) para a casca de ovo, o esterco bovino, o lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE) de graxaria e a serragem.

Tabela 10 - Parâmetros dos materiais empregados no experimento.

<b>MATERIAL</b>	<b>Umidade 65°C</b>	<b>N(1) (%, m/m)</b>	<b>P2O5 (1) (%, m/m)</b>	<b>Carbono Orgânico (%, m/m)</b>	<b>pH (2)</b>	<b>Relação C/N</b>
Esterco Bovino	85,87	0,22	0,20	5,97	7,7	27,14
Lodo de ETE	87,92	0,55	0,58	5,26	8,3	9,56
Serragem	39,91	0,05	0,10	26,21	5,5	524,20
Casca de ovo	28,14	1,72	0,29	3,75	8,8	2,18

(1) Teor Total (2) pH em Ca

Os reatores foram alimentados com resíduos provenientes de granja de poedeiras (casca de ovo), de matadouros (esterco bovino) e de graxaria (lodo de ETE), conforme as proporções apresentadas. A serragem foi o material estruturante dos reatores, em proporção fixa para todas as misturas investigadas.

Considerando-se o volume limitado dos reatores, realizou-se cálculos de massa específica de cada material. Para a determinação das massas específicas dos materiais utilizou-se um tambor de 50L para a realização das pesagens. Cada um dos materiais foi disposto no reator, pesado e determinada a massa específica com a Equação 1. As massas específicas dos materiais constam na Tabela 11.

$$\mu = \frac{m (kg)}{V (m^3)}$$

(1)

Tabela 11 - Massa específica dos resíduos a serem empregados no processo

<b>Resíduo</b>	<b>Massa específica (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Serragem	277
Casca de ovo	980
Esterco bovino	990
Lodo de ETE de graxaria	916

O planejamento experimental permitiu estabelecer as proporções de cada mistura. Com a determinação da massa específica dos materiais, foi possível estabelecer a massa de cada componente para cada um dos reatores. A massa total dos resíduos em cada reator foi fixada em 105 kg, devido à densidade dos materiais que iriam compor cada mistura. Definidas as proporções dos resíduos a integrar cada um dos 14 reatores, sendo que 4 delas são repetições, foram realizadas diferentes simulações de proporções entre resíduo (casca de ovo - CO, esterco bovino - E, e lodo de graxaria - L) e substrato estruturante (serragem - S), com o objetivo de definir a quantidade fixa de serragem. As simulações foram realizadas para diferentes proporções resíduo/substrato. A proporção que apresentou melhores resultados foi a 2:1.

Os cálculos teóricos foram baseados na literatura disponível, observando a capacidade da serragem de absorver os líquidos, a densidade dos materiais, tendo em vista o volume limitante de cada reator, e as condições sugeridas como ideais para uma compostagem eficiente.

A primeira proporção testada foi 4:1. Ela corresponde a uma média entre a proporção de 6:1, utilizada na compostagem de resíduos sólidos orgânicos (MARAGNO *et al*, 2007) e a proporção 2,4:1, utilizada na compostagem de dejetos suínos (DAÍ PRA *et al*, 2009). Outras proporções testadas foram 3,5:1, 3:1, 2,5:1 e 2:1.

Para a determinação do valor teórico da relação C/N, foi utilizada a Equação 2, adaptada de Corrêa (2007):

$$Relação \frac{C}{N} = \frac{kg\ CO \times \% C\ CO + kg\ E \times \% C\ E + kg\ LE \times \% C\ LE + kg\ S \times \% C\ S}{kg\ CO \times \% N\ CO + kg\ E \times \% N\ E + kg\ LE \times \% N\ LE + kg\ S \times \% N\ S} \quad (2)$$

Foi calculado o balanço de massa, para a determinação da umidade de cada mistura nas proporções testadas. Os cálculos de umidade das misturas foram baseados nos resultados da umidade encontrada através das análises de caracterização realizadas para

cada resíduo na fase anterior ao início do processo. Para o cálculo da umidade inicial em cada mistura foi utilizada a Equação 3:

$$Umidade = \frac{kg\ CO \times Umidade\ CO + kg\ E \times Umidade\ E + kg\ LE \times Umidade\ LE + kg\ S \times Umidade\ S}{Massa\ Total} \quad (3)$$

As quantidades de resíduo orgânico e substrato calculados para a proporção 2:1, ou seja, 2 partes de resíduos para uma parte de substrato, estão apresentados na Tabela 12. Os cálculos teóricos para a relação C/N e teor de umidade para esta proporção estão apresentados na Tabela 13.

Esta proporção apresentou valores de umidade em dez misturas dentro da faixa adequada (40% a 65%), sendo que destas dez, seis estão dentro da faixa preferível (50% a 60%), segundo Rynk (1992). A relação C/N teórica nesta proporção apresentou valores entre 20:1 a 40:1 em dez misturas. Esta proporção, segundo Rynk está dentro da faixa adequada para a realização de uma rápida compostagem.

Optou-se então por preparar os reatores utilizando-se a proporção fixa de 2:1 entre resíduo e substrato de serragem de madeira. Cada reator recebeu 105 kg de massa total, sendo que a serragem esteve presente na quantidade de 35 kg em todos as misturas realizadas.

Tabela 12 - Massas de cada resíduo para a proporção 2:1 (kg)

Reator	Casca de ovo	Esterco	Lodo	Serragem
1	0	70	0	35
2	35	0	35	35
3	23,33	23,33	23,33	35
4	46,7	11,65	11,65	35
5	11,65	46,7	11,65	35
6	35	35	0	35
7	23,33	23,33	23,33	35
8	0	35	35	35
9	23,33	23,33	23,33	35
10	0	0	70	35
11	23,33	23,33	23,33	35
12	70	0	0	35
13	23,33	23,33	23,33	35
14	11,65	11,65	46,7	35

Tabela 13 - Valores teóricos da relação C/N e umidade para a proporção 2:1

<b>Reator</b>	<b>Relação C/N</b>	<b>Umidade (%)</b>
1	77,86	71
2	15,18	52
3	21,17	46
4	13,44	45
5	33,82	64
6	20,40	51
7	21,17	58
8	45,66	71
9	21,17	58
10	31,94	72
11	21,17	58
12	9,66	32
13	21,17	58
14	23,26	65

O tempo de compostagem utilizado para o processo em pequena escala estudado na presente pesquisa, de aproximadamente três meses, é coerente com indicações encontradas na literatura (KIEHL, 2002; HAUG, 1993; MARÍN, 2005; BRITO, 2006).

### **3.4. Coleta e armazenamento dos resíduos**

As quantidades necessárias de resíduos e substrato foram coletadas nas empresas mencionadas. Os resíduos foram acondicionados em bombonas (casca de ovo, lodo de ETE e esterco bovino) e em sacos de rafia (serragem). Os materiais foram transportados até a Universidade de Passo Fundo em caminhão e dispostos no local de realização do experimento.

Os resíduos coletados (Figuras 8 e 9) apresentavam características adequadas no que se refere à coloração e odor, quando comparados ao material previamente analisado na fase de caracterização dos materiais.

### **3.5. Alimentação dos reatores**

Após a preparação do local do experimento, no dia 09 de agosto de 2014 foi iniciada a alimentação dos reatores com as misturas de resíduos, de acordo com as proporções determinadas no planejamento experimental.

Com o auxílio de pá, enxada, baldes plásticos e de uma balança, cada um dos materiais foi pesado e distribuído nos reatores separadamente. A cada material adicionado um novo revolvimento era realizado para garantir a homogeneidade da mistura (Figuras 10 e 13).

O primeiro material disposto foi a serragem, seguido do esterco, da casca de ovo e por último o lodo de ETE, respeitadas as proporções definidas para cada reator. Em todos os reatores a altura da massa de resíduos não ultrapassou os 45 cm.

Figura 8: Resíduo esterco bovino que foi utilizado no processo de compostagem



Figura 9: Resíduo casca de ovo a ser compostado junto aos demais materiais.



Figura 10: Montagem dos reatores com cada uma das quatorze misturas.



### 3.6. Monitoramento do experimento

Após a montagem dos reatores, o monitoramento obedeceu criteriosamente à metodologia específica para cada estabelecido no planejamento do experimento.

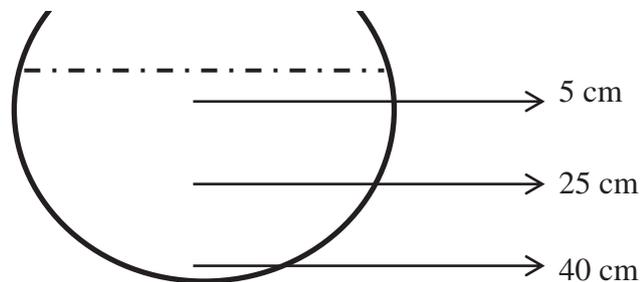
#### 3.6.1. Temperatura

A medição da temperatura foi realizada com termômetro digital com haste metálica medindo 30 cm comprimento (Figura 11). A medição da temperatura foi realizada diariamente em vários pontos da leira conforme as profundidades indicadas na Figura 12. O monitoramento de vários pontos centrais da massa de compostagem (topo, centro e base) foi necessário, pois a temperatura é um dos principais parâmetros do processo de compostagem e esses valores são indicadores do desempenho do processo e da necessidade de qualquer medida corretiva (PEREIRA NETO, 2007). A temperatura ambiente também foi monitorada.

Figura 11: Leituras realizadas diariamente por meio de termômetro digital.



Figura 12: Profundidades do termômetro para leituras da temperatura



### 3.6.2. Aeração

Os reatores são do tipo aerados, sendo que a aeração ocorreu três vezes por semana durante a fase termofílica (KUTER, 1995), de forma manual, com o auxílio de pás. No início do processo, como o material não havia diminuído o volume, o revolvimento manual com pá tornou-se pesado. Foi adaptado então um helicóide com o objetivo de facilitar o revolvimento. Este helicóide foi utilizado durante os primeiros 40 dias do processo, quando a umidade era maior e o volume do material ainda não havia diminuído significativamente. Seu uso foi fundamental, pois facilitou o trabalho e favoreceu o revolvimento uniforme em cada um dos reatores, evitando que regiões permanecessem sem revolvimento (Figura 13).

Figura 13: Revolvimento da massa de resíduos realizada com auxílio do helicóide.



Na fase de maturação, segundo Campos (1998), o revolvimento pode ocorrer uma vez por semana, porém optou-se por manter o revolvimento em três vezes por semana até o final do experimento. Os dias em que os revolvimentos ocorreram foram anotados na planilha de controle.

### 3.6.3. Umidade

O teor de umidade foi verificado semanalmente com a retirada de uma amostra composta de cada um dos reatores, devendo este parâmetro permanecer entre 50% e 60%. A atividade microbiana diminui quando o nível de umidade no composto é menor que de 40 %, significando a desidratação do material inicial. A atividade microbiana torna-se praticamente nula se a umidade atingir valores iguais ou inferiores a 20%, resultando num composto fisicamente estável, mas biologicamente instável (DIAZ e SAVAGE 2007). No experimento realizado, quando ocorreu umidade abaixo de 50% na fase ativa do processo, foi adicionada água e realizado o revolvimento para ajuste deste fator.

Para a determinação da umidade foi utilizada a temperatura de secagem de 65°C, conforme o método descrito por Lanarv (1988). Esse método consiste em pesar uma amostra do composto ( $p$ ), colocá-lo em estufa a 65°C até a estabilização do peso ( $p_1$ ) e calcular o teor de umidade através da fórmula:

$$U_{65^{\circ}C} = \frac{100(p - p_1)}{p}$$

(4)

O controle da temperatura auxiliou no monitoramento da umidade, pois se ela caía durante a fase ativa do processo de compostagem, isto seria um indicativo de que a umidade estava baixa (CAMPOS, 1998).

Figura 14: Fechamento do local do experimento com material de rafia para evitar a incidência de chuvas nos reatores laterais



Durante o experimento, houve períodos de muita chuva e para evitar o excesso de umidade dos reatores que estavam localizados nas laterais, o local foi adaptado com um fechamento feito de rafia, impedindo assim a incidência de maiores quantidades de água sobre os reatores (Figura 14).

Análises laboratoriais para determinação da umidade foram realizadas também por laboratório externo a cada vinte e um dias e comparadas com os resultados obtidos. As análises externas de umidade foram realizadas pelo Laboratório de Solos da UPF.

#### 3.6.4. pH

O pH foi monitorado semanalmente em amostras de aproximadamente 10 g de composto em diferentes pontos da massa. As amostras eram colocadas em pequenos sacos plásticos e identificadas com o número do reator correspondente. Foi realizada uma mistura de cada amostra com 30 mL de água destilada, segundo metodologia da Embrapa (1999). O pH é estabelecido no líquido formado através da filtragem simples de cada

amostra utilizando um medidor de pH. Segundo Haug (1993), a compostagem pode neutralizar altos e baixos valores de pH durante o processo. Isso se deve a formação de um ácido fraco ( $\text{CO}_2$ ) e uma base fraca ( $\text{NH}_3$ ), sendo difícil encontrar um processo de compostagem que não esteja na faixa entre 5,0 a 8,5.

O valor de pH das amostras foi determinado também pelo laboratório de Solos da UPF nas análises que foram realizadas a cada vinte e um dias e comparados com os obtidos pelo estudo.

### **3.6.5. Análise da qualidade do composto**

Ao final do processo, que ocorreu no dia 02 de dezembro de 2014, foram coletadas amostras compostas do material de cada reator, identificadas e acondicionadas em sacos plásticos (Figura 15) para realização das análises apresentadas no Quadro 1, a fim de determinar da qualidade do composto formado.

Foram realizadas análises mensais para determinação do teor de nitrogênio (N) total e a sua razão com o teor de carbono (C) para acompanhamento da evolução da degradação da matéria orgânica através do processo de compostagem.

Os resultados obtidos foram comparados com os parâmetros estabelecidos para fertilizantes orgânicos, conforme a IN n<sup>o</sup> 27/2006 e IN n<sup>o</sup> 25/2009 do MAPA (BRASIL, 2006; 2009).

### **3.7. Análise do experimento**

Na análise dos resultados foram utilizados, além de testes de significância estatística como a Análise de Variância (ANOVA), métodos de análise de regressão linear e técnicas gráficas e numéricas de otimização matemática.

Figura 15: Amostras prontas para envio ao laboratório para realização de análise final da qualidade do composto.



Quadro 1: Parâmetros analisados no composto final.

Parâmetro	Laboratório	Método
Umidade	Solos UPF	A metodologia empregada para a realização das análises é: Manual de métodos analíticos para fertilizantes orgânicos, minerais, organominerais e corretivos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA 2007
pH	Solos UPF	
Nitrogênio	Solos UPF	
Carbono	Solos UPF	
Relação C/N	Solos UPF	
Teor de nutrientes (K, Ca e Mg)	Solos UPF	
<i>Salmonella</i> sp	CEPA	Método - AOAC Official Method 2003.09 - BAX® Automated System. AOAC International 19th Edition, 2012. Método para confirmação de amostras positivas - ISO 6579:2002
Coliformes Termotolerantes	CEPA	Método - Standard Methods for the examination of water and wastewater, 22nd Edition, 2012. Method: 9221.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

No presente capítulo são apresentados e analisados os principais resultados obtidos durante o desenvolvimento do trabalho. Os resultados estão focados nas 14 misturas estudadas. Eles foram comparados com os resultados de outros autores e com os limites estabelecidos pela legislação vigente. Para as repetições, que ocorreram nas misturas 3, 7, 9, 11 e 13 (33,3% de Casca de Ovo – CO; 33,3% de Esterco – E; 33,3% de Lodo – L) foi utilizada a média de cada variável analisada.

### **4.1. Aspectos gerais do processo de compostagem**

Houve variação de temperatura durante a realização dos experimentos. A mínima constatada foi de 8°C e a máxima de 30°C, possivelmente, interferindo no processo de compostagem em estudo.

Da mesma forma, observou-se elevados volumes de precipitação pluviométrica concentradas em um mesmo dia, sendo necessário o fechamento de parte das laterais do ensaio, para evitar aumento demasiado da umidade nos reatores mais externos, uma vez que havia cobertura instalada sobre todo o experimento.

O processo durou 116 dias, entre o inverno e a primavera de 2014.

As misturas submetidas à compostagem apresentaram odor característico nos 15 primeiros dias, principalmente durante a realização do revolvimento. A presença de vetores não foi expressiva e ocorreu apenas nos primeiros dias. Aos 22 dias de compostagem, o material apresentava coloração escura e sem odor desagradável.

O volume mostrou-se bastante reduzido em relação ao volume inicial, comprovando a degradação da matéria orgânica presente nos componentes das misturas. Não foram realizadas determinações das variações nos volumes, apenas foi feita observação visual.

Em relação ao tempo de compostagem, o experimento mostrou-se dentro da normalidade. Devido às características das misturas, no planejamento experimental, o tempo de duração previsto era de aproximadamente 120 dias, o que se confirmou através dos resultados das análises que serão discutidos na sequência.

## 4.2. Variação da temperatura

Durante o processo de compostagem, a temperatura indica a taxa de crescimento e a atividade metabólica dos microrganismos, que realizam a decomposição. Também indica o grau de sobrevivência dos agentes patogênicos (desinfecção) e o controle da taxa de decomposição da matéria orgânica (DIAZ e SAVAGE, 2007).

Com o monitoramento da temperatura das misturas e da temperatura ambiente, realizadas diariamente, obteve-se a variação da temperatura em função do tempo, (Figura 16).

Embora valores de temperatura tenham sido medidos em três profundidades no reator, são discutidos e apresentados apenas os valores medidos na parte central do reator, pois as temperaturas das partes externas sofreram grande influência da temperatura ambiente.

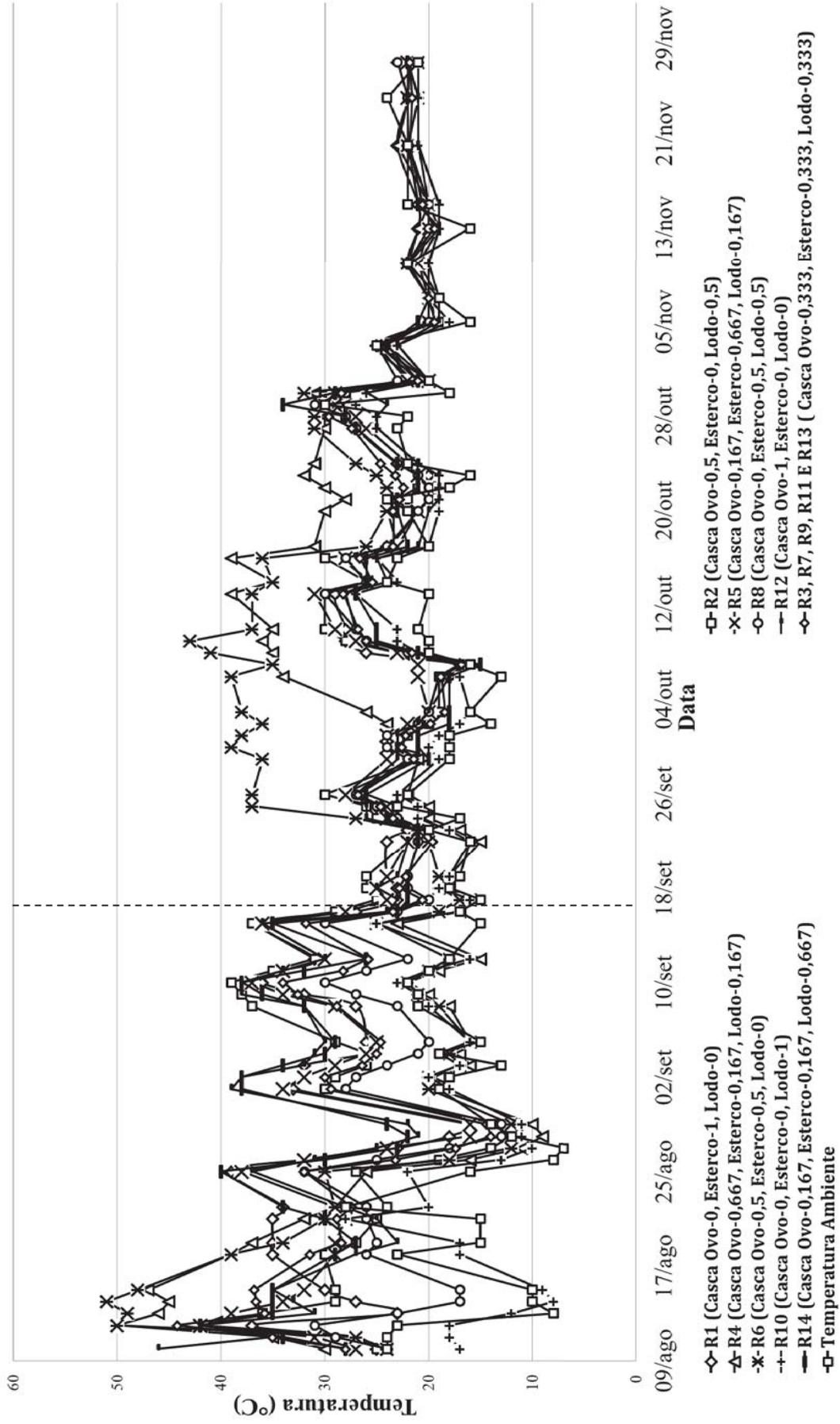
Como pode ser observado na Figura 16, as temperaturas dos 14 reatores apresentaram comportamentos distintos devido às diferentes proporções dos materiais componentes de cada mistura (PEREIRA NETO, 1989), principalmente na fase inicial do processo de compostagem. Segundo Marín *et al.* (2005), a duração de cada estágio da compostagem tem relação, além de outros fatores, com a natureza da matéria orgânica a ser degradada.

A literatura sugere que a primeira etapa dure de 25 a 35 dias e a fase de maturação de 30 a 60 dias (PEREIRA NETO, 1989).

A marcha das temperaturas encontradas neste estudo difere das consideradas ótimas pela literatura correspondentes as fases mesófila e termófila. Segundo o Instituto For Solid Wastes of American Public Works Association (1970), citado por Kiehl (2012), a fase mesofílica considerada ótima está entre 25 e 40°C e a termofílica entre 50 e 55°C, porém o autor considera também as temperaturas mínimas para estas fases que são 15 a 25° e 25 a 45°, respectivamente, que foram as observadas na presente pesquisa.

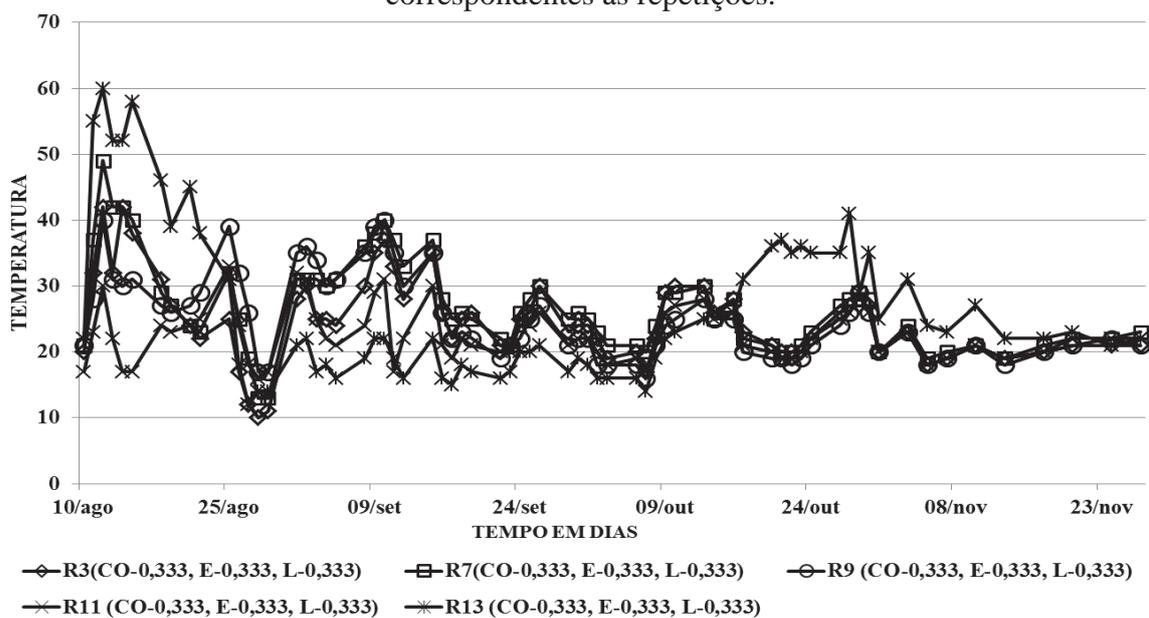
A fase inicial do processo ou fase ativa correspondente à fase termofílica, considerando-se as temperaturas mínimas ideais sugeridas por Kiehl (2012), durou cerca de 38 dias. A linha pontilhada do gráfico da Figura 16 marca o final da fase ativa do processo.

Figura 16: Variação da temperatura durante o processo de compostagem.



No gráfico da Figura 16 as linhas correspondem à temperatura de cada reator sendo que para as repetições, como mencionado anteriormente, foi apresentada somente a média. A Figura 17 apresenta uma comparação entre as repetições no que diz respeito à temperatura, na qual pode-se verificar uma razoável concordância ao longo de todo o período do experimento.

Figura 17: Variação das temperaturas ao longo do experimento para os reatores correspondentes às repetições.



A fase termofílica, considerando-se as temperaturas mínimas citadas por Kiehl (2012), pode ser verificada já nas primeiras horas de compostagem na maioria das misturas. A explicação para este comportamento é a de que os resíduos provavelmente, durante o período de coleta e transporte, já iniciaram o processo de degradação, fazendo com que no momento da montagem das leiras já existisse uma quantidade considerável de microorganismos realizando a degradação da matéria orgânica. Isso fez com que praticamente não ocorresse a distinção das fases mesofílica e termofílica, comumente observadas no início dos processos de compostagem.

Os picos de temperatura variaram e atingiram até 52° C, sendo que diversos autores (por exemplo, KIEHL 1985; PEREIRA NETO, 1989; MARÍN *et al.* 2005) apontam temperaturas ideais máximas de 70°C. Este comportamento da temperatura verificada no estudo era esperado, devido ao tamanho reduzido dos reatores, o que possivelmente

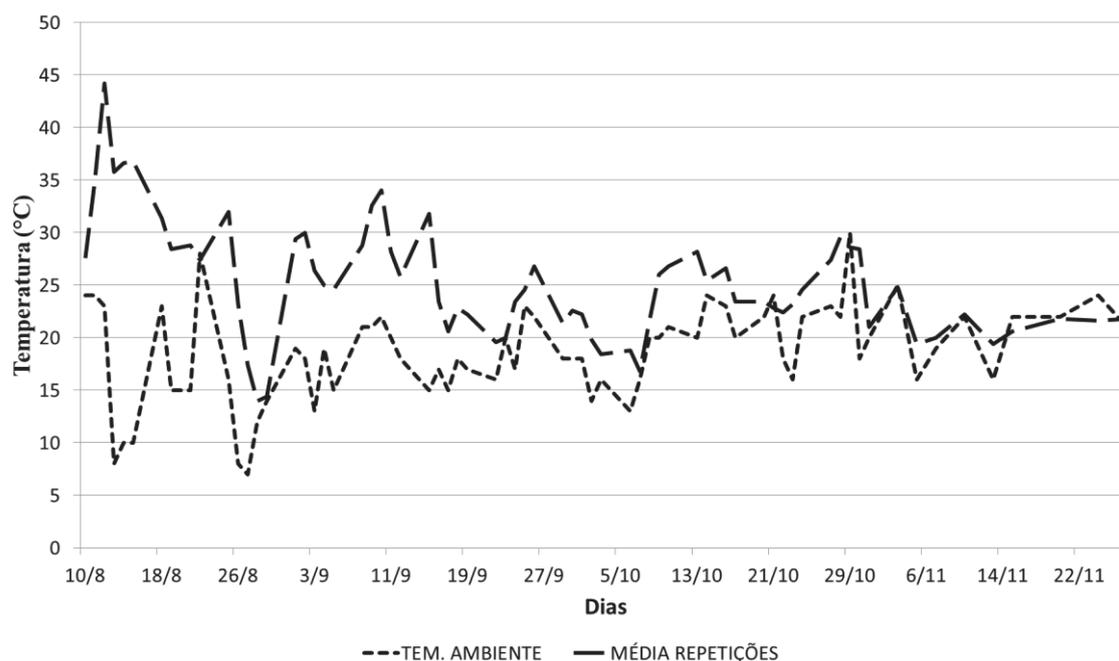
ocasionou uma maior perda de calor em consequência da influência da temperatura externa sobre a massa compostada (USDA, 2010).

É possível verificar a influência da temperatura externa na temperatura das misturas na Figura 18. Neste gráfico para fins de comparação, é apresentada somente a média das temperaturas observadas nas repetições (misturas 3, 7, 9, 11 e 13, com proporções iguais dos três tipos de resíduo). Observa-se ainda que na fase inicial do processo, onde há maior atividade microbiana, a temperatura ambiente influencia de forma menos acentuada a temperatura interna dos reatores.

As variações de temperatura foram influenciadas também pelos revolvimentos realizados três vezes por semana, ocasionando maior perda de calor (KIEHL, 2012) intensificada pela baixa altura da leira.

Entretanto, mesmo com temperaturas menores que as recomendadas pela literatura, foi possível obter resultados satisfatórios, referentes à presença de *salmonella* sp. Este fato pôde ser verificado a partir da análise do composto final, discutida nas seções subsequentes.

Figura 18: Média das temperaturas obtidas nas repetições comparadas à temperatura ambiente



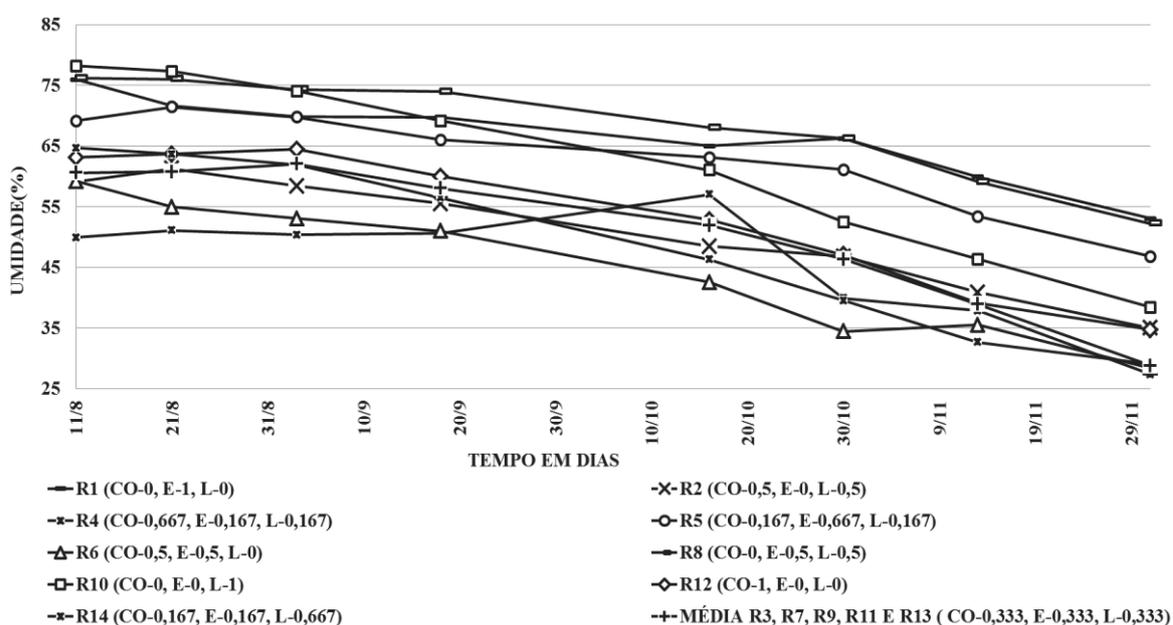
#### 4.3. Variação da umidade

O controle da umidade nos reatores não apresentou maiores dificuldades devido ao local do experimento ter recebido cobertura, evitando-se assim a incidência direta das

chuvas. A verificação da umidade foi semanal, conforme descrito no item 3.5.3. A Figura 19 apresenta a variação do teor de umidade para cada uma das misturas compostadas em relação ao tempo de compostagem.

Além da verificação realizada neste estudo, a cada 21 dias, amostras foram enviadas ao laboratório de Solos da Universidade de Passo Fundo (UPF) para confrontar os resultados obtidos. Não houve diferenças entre as umidades obtidas neste trabalho e as realizadas pelo laboratório. As umidades apresentadas correspondem às análises realizadas pelo Laboratório de Solos da UPF.

Figura 19: Gráfico da variação da umidade ao longo do processo de compostagem.



Pode-se observar que na fase inicial do processo os valores de umidade estão dentro da faixa adequada sugerida por Rynk (1992), entre 40 e 65%. As misturas 1 (Casca Ovo: 0, Esterco: 1, Lodo: 0), 5 (Casca Ovo-0,167, Esterco-0,667, Lodo-0,167), 8 (Casca Ovo: 0, Esterco: 0,5, Lodo: 0,5) e 10 (Casca Ovo-0, Esterco-0, Lodo-1) iniciaram com umidade excessiva causando decomposição anaeróbia (KIEHL, 2012). O excesso de umidade encontrado nessas misturas impediu uma maior atividade biológica e a elevação da temperatura e, por consequência, não ocorreu a remoção da água por evaporação (INÁCIO E MILLER, 2009). O revolvimento foi mantido conforme o planejado e no final do experimento as misturas 5 (Casca Ovo- 0,167, Esterco-0,667, Lodo-0,167) e 10 (Casca Ovo: 0, Esterco-0, Lodo-1) atingiram a umidade ideal estabelecida pela legislação através

da Instrução Normativa N° 25 do MAPA. A influência da umidade na qualidade do composto será melhor discutida no item 4.1.6. Com exceção da 1 (Casca Ovo- 0, Esterco-1, Lodo-0) e 8 (Casca Ovo-0, Esterco-0,5, Lodo-0,5), as demais misturas atenderam ao estabelecido na IN n° 25 do MAPA para o parâmetro umidade que é de no máximo 50%.

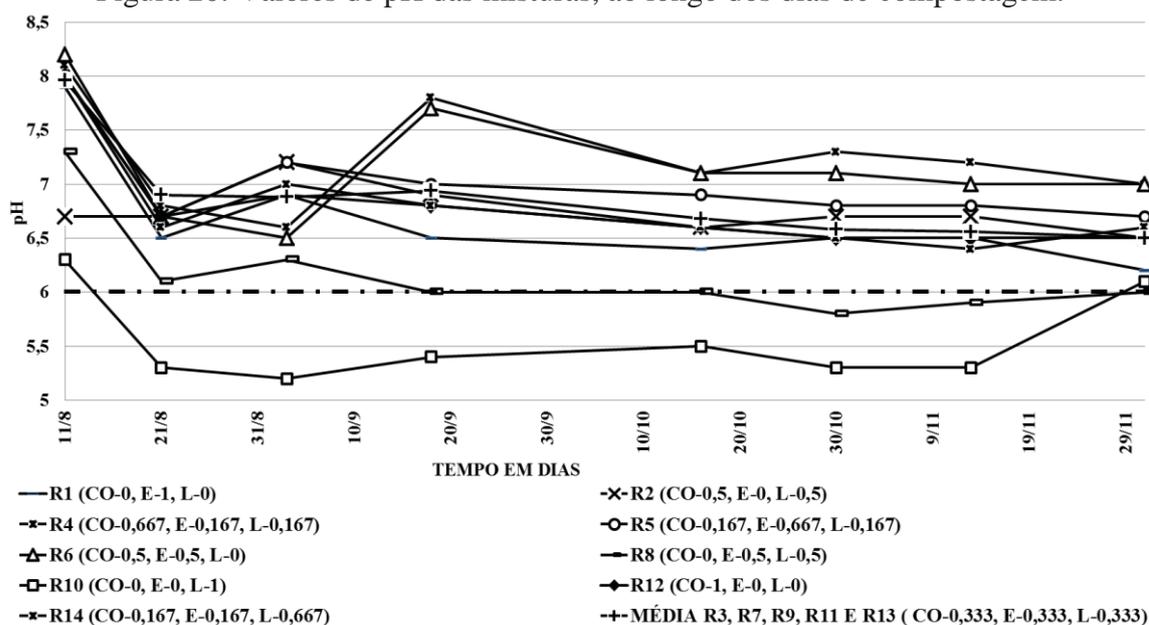
O equilíbrio do teor de umidade mantido entre os 40 e 65% na maioria das misturas garantiu a atividade biológica na fase ativa do processo de compostagem (INÁCIO e MILLER, 2009).

#### 4.4. Variação do pH

A reação da matéria orgânica, segundo Kiehl (2012), quer vegetal, quer animal é geralmente ácida, o que justifica a diminuição do pH no início do processo. Na fase inicial da compostagem, observa-se que o pH caiu, devido à provável formação de ácidos orgânicos (INACIO e MILLER, 2009), oscilando até a análise realizada no dia 20/09, após 43 dias do início do processo, estabilizando-se logo em seguida e permanecendo na maioria das misturas entre 6 e 7,5, até o final do processo (Figura 20).

Segundo Haug (1993), a compostagem tem a habilidade de neutralizar altos e baixos valores de pH durante o processo o que pode ser observado já nos primeiros dias do processo.

Figura 20: Valores de pH das misturas, ao longo dos dias de compostagem.



Inácio e Miller (2009) escrevem que diferentes espécies de microrganismos se adaptam e tem atividade ótima em diferentes faixas de pH. Alguns autores indicam a faixa entre 6,5 a 9,5 como a mais satisfatória para um processo termofílico (EPSTEIN, 1997).

A mistura 10 (Casca Ovo:0, Esterco-0, Lodo-1) apresentou pH ácido durante todo o processo de compostagem o que pode comprometer a qualidade final do composto por retardar a ação microbiana que predomina na compostagem (INACIO e MILLER, 2009).

A linha horizontal em destaque na Figura 20 determina o pH mínimo admitido pela IN 25/2009 que é de 6. Os valores finais de pH estão compatíveis com os relatados por Kiehl (1985) e Haug (1993), estando dentro da faixa estabelecida pela legislação.

#### **4.5. Teor de carbono orgânico, nitrogênio e relação C/N**

A Figura 21 apresenta os valores da relação C/N dos reatores, através das análises realizadas ao longo do período de compostagem pelo Laboratório de Solos da UPF. O comportamento das misturas ficou dentro do esperado. A relação C/N inicial maior de 50 encontrada nas misturas 1 (Casca Ovo-0, Esterco-1, Lodo-0), 8 (Casca Ovo-0, Esterco-0,5, Lodo-0,5), e 10 (Casca Ovo-0, Esterco-0, Lodo-1) é considerada alta (INACIO e MILLER, 2009). Estavam previstos valores altos da relação C/N para os reatores 1 (Casca Ovo- 0, Esterco-1, Lodo-0) e 8 (Casca Ovo-0, Esterco-0,5, Lodo-0,5). Alguma característica do lodo de ETE fez com que a relação C/N fosse diferente da estimada.

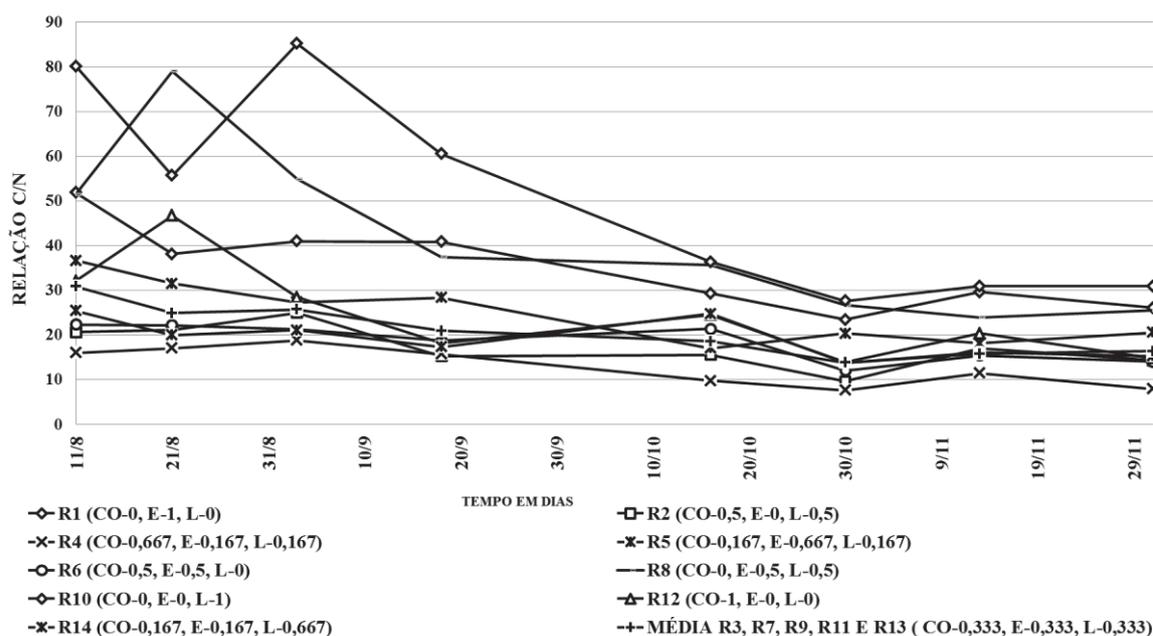
Os valores da relação C/N da fase ativa e ao longo do processo de compostagem, mostraram-se dentro da faixa adequada sugerida por Rynk (1992), compreendida entre 20:1 e 40:1. Embora relações C/N entre 30/1 e 40/1 sejam consideradas mais adequadas à compostagem, o experimento mostra, após 83 dias de processo, uma estabilização dos valores em todas as misturas até o final do processo independente da relação C/N inicial.

Observa-se também que as misturas de alta relação C/N inicial resultaram ao final deste experimento uma relação C/N maior do desejado (misturas 1, 8 e 10). Embora muito próximo do padrão estabelecido pela IN 25/2009, a mistura do reator 5 também não atingiu o parâmetro que é  $<20$ .

Segundo Kiehl (2012), um composto é considerado humificado, além de outros fatores, quando a relação C/N for de 10/1. Apenas a mistura 4 (Casca Ovo-0,667, Esterco-0,167, Lodo-0,167) é humificada, considerando-se a média das repetições, conforme observa-se na Figura 21. O mesmo autor considera que o composto atinge a semicura ou a bioestabilização, quando a relação C/N encontra-se próxima dos 18/1. Observa-se então

que as misturas 1 (Casca Ovo:0, Esterco-1, Lodo-0), 8 (Casca Ovo-0, Esterco-0,5, Lodo-0,5) e 10 (Casca Ovo-0, Esterco-0, Lodo-1) não apresentam semicura ou bioestabilização. As demais misturas atendem ao sugerido por Kiehl (2012), sendo consideradas bioestabilizadas ou semicuradas.

Figura 21: Evolução da degradação da matéria orgânica medida através da relação C/N.



#### 4.6. Presença de patógenos

Embora a eliminação dos patógenos pelo sistema de compostagem seja bem documentada (DEPORTES *et al.*, 1998; TIQUIA *et al.*, 2002; LARNEY *et al.*, 2003), as condições de compostagem (tempo, temperatura), necessárias para conseguir a eliminação ou redução do número de células de coliformes termotolerantes variam bastante.

Amostras compostas de material de cada um dos reatores foram encaminhadas para análise no Laboratório do Centro de Pesquisa em Alimentação (CEPA) da Universidade de Passo Fundo, para a análise da presença ou não de patógenos. As amostras foram coletadas ao final do experimento no dia 02/12/2014 e os resultados foram comparados com a Instrução Normativa nº 27, de 05 de junho de 2006 (BRASIL, 2006), que prevê limites para o número de microrganismos indicadores enteropatogênicos ao ser humano, em compostos orgânicos.

Tabela 14: Resultados da análise de patogênicos realizada nas misturas testadas após encerramento do experimento, comparados ao parâmetro estabelecido pela Legislação.

Reator	<i>Salmonella</i> sp (nº em 4g ST)	Legislação IN 27/2006	Coliformes termotolerantes	Legislação IN 27/2006 NMP/g de MS
R1 (Casca Ovo-0, Esterco-1, Lodo-0)	Ausência		1700	
R2 (Casca Ovo-0,5, Esterco-0, Lodo-0,5)	Ausência		1400	
R3(Casca Ovo-0,333, Esterco-0,333, Lodo-0,333)	Ausência		1700	
R4 (Casca Ovo-0,667, Esterco-0,167, Lodo-0,167)	Ausência	Ausência em 10g de matéria seca	<180	<1000
R5 (Casca Ovo-0,167, Esterco-0,667, Lodo-0,167)	Ausência		1700	
R6 (Casca Ovo-0,5, Esterco-0,5, Lodo-0)	Ausência		<180	
R7(Casca Ovo-0,333, Esterco-0,333, Lodo-0,333)	Ausência		3300	
R8 (Casca Ovo-0, Esterco-0,5, Lodo-0,5)	Ausência		7900	
R9 (Casca Ovo-0,333, Esterco-0,333, Lodo-0,333)	Ausência		7000	
R10 (Casca Ovo-0, Esterco-0, Lodo-1)	Ausência		<180	
R11 (Casca Ovo-0,333, Esterco-0,333, Lodo-0,333)	Ausência		33000	
R12 (Casca Ovo-1, Esterco-0, Lodo-0)	Ausência		2300	
R13 (Casca Ovo-0,333, Esterco-0,333, Lodo-0,333)	Ausência		<180	
R14 (Casca Ovo-0,167, Esterco-0,167, Lodo-0,667)	Ausência		680	

A Tabela 14 mostra os resultados obtidos na análise desses organismos em cada uma das misturas estudadas, ao final do experimento. Houve ausência de *Salmonella* sp, nas misturas submetidas ao processo de compostagem em pequena escala e com revolvimento, o que atende as condições exigidas pelo MAPA, para o registro de um material como fertilizantes orgânicos relacionado a este contaminante.

O fator tempo de exposição e temperatura, mostraram-se adequados para a eliminação da *Salmonella* sp. Embora a temperatura ideal para a eliminação deste patogênico, citadas por diversos autores como Escosteguy (1993), Kiehl (2012) e Haug (1980), sejam superiores às obtidas neste experimento.

Escosteguy *et al.* (1993), assim como Büttendörfer (2004), entre outros, observaram que o revolvimento durante a compostagem é importante no controle destes organismos, uma vez que a mistura possibilita o contato das camadas mais frias às de temperaturas mais elevadas.

Em relação aos coliformes termotolerantes, embora o grupo não seja geralmente considerado patogênico, sua destruição indica que o processo de compostagem foi bem conduzido (KIEHL 2012). Os resultados obtidos, embora dentro do esperado, não atendem o padrão estabelecido pela IN 27/2006 do MAPA. Apenas as misturas 4 (Casca Ovo-0,667, Esterco-0,167, Lodo-0,167), 6 (Casca Ovo-0,5, Esterco-0,5, Lodo-0), 10 (Casca Ovo-0, Esterco-0, Lodo-1), 13 (Casca Ovo-0,333, Esterco-0,333, Lodo-0,333) e 14 (Casca Ovo-0,167, Esterco-0,167, Lodo-0,667), estão atendendo ao limite estabelecido pela Legislação. Comparando com as temperaturas obtidas em cada uma das misturas, é contraditório o resultado satisfatório destas análises. A mistura 4 (Casca Ovo-0,667, Esterco-0,167, Lodo-0,167) atingiu temperaturas máximas de 50°C, a mistura 6 (Casca Ovo-0,5, Esterco-0,5, Lodo-0) temperatura de 51°C; a mistura 10 (Casca Ovo-0, Esterco-0, Lodo-1) atingiu 25°C e a mistura 14 (Casca Ovo-0,167, Esterco-0,167, Lodo-0,667) temperatura máxima de 42°C. A mistura 13 (Casca Ovo-0,333, Esterco-0,333, Lodo-0,333) foi a única do grupo que atingiu temperatura de 60°C, justificando o atendimento ao limite de coliformes termotolerantes como o exigido pela IN 27/2006.

Acredita-se que este problema poderá ser corrigido com leiras de tamanhos maiores, onde serão obtidas temperaturas mais elevadas.

O sucesso na eliminação de microrganismos patogênicos durante o processo de compostagem depende, portanto, de altas temperaturas, do tempo de exposição do material a essas temperaturas elevadas e da uniformidade da temperatura sobre o material da leira de compostagem (ARTHURSON, 2008).

#### **4.7. Qualidade do composto**

Ao final do experimento foram analisados os parâmetros de qualidade do composto final, com o objetivo de compará-los com a Instrução Normativa N° 25/2009.

O produto obtido foi classificado, segundo a IN 25/2009, no grupo dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais - Classe "A".

Os resultados encontrados são apresentados na Tabela 15. No que diz respeito ao teor de umidade, apenas 3 misturas não atenderam ao estabelecido na legislação (misturas 1(Casca Ovo-0, Esterco-1, Lodo-0), 5 (Casca Ovo-0,167, Esterco-0,667, Lodo-0,167) e 8(Casca Ovo-0, Esterco-0,5, Lodo-0,5). As demais misturas apresentaram umidade inferior aos 40% estabelecidos como limite máximo.

Para os teores de nitrogênio, pH e cálcio, em 100% das misturas compostadas, obtidas estão dentro das especificações exigidas pela IN 25/2009 para fertilizante orgânico composto classe "A".

O pentóxido de fósforo e potássio deverão estar de acordo com o declarado, e, portanto não há limites estabelecidos pela legislação considerada. O teor de magnésio foi menor que o estabelecido pela legislação, em todas as misturas compostadas.

Quanto aos teores de carbono orgânico (matéria orgânica), as misturas 2 (Casca Ovo-0,5, Esterco-0, Lodo-0,5), 4 (Casca Ovo-0,667, Esterco-0,167, Lodo-0,167) e 6 (Casca Ovo-0,5, Esterco-0,5, Lodo-0) não atenderam ao mínimo exigido. A mistura 6 está muito próxima do valor ideal, enquanto as demais misturas satisfizeram a Legislação.

A relação C/N é muito importante para determinar a qualidade do composto final. A Instrução Normativa 25/2009 estabelece que para um fertilizante orgânico misto ou composto, o valor da relação C/N não deve ser superior a 20. Nas misturas submetidas ao processo de compostagem as misturas 1 (Casca Ovo-0, Esterco-1, Lodo-0), 5 (Casca Ovo-0,167, Esterco-0,667, Lodo-0,167), 8 (Casca Ovo-0, Esterco-0,5, Lodo-0,5), 11 (Casca Ovo-0,333, Esterco-0,333, Lodo-0,333) e 10 (Casca Ovo-0, Esterco-0, Lodo-1) apresentaram resultado acima do valor permitido pela legislação. A mistura 5 obteve valor muito próximo ao permitido e as demais misturas atendem ao limite estabelecido.

Por fim, o aspecto visual do composto bioestabilizado foi excelente, apresentando cor e odor, característicos de fertilizante.

Tabela 15: Resultados das análises para determinação da qualidade do composto ao final do experimento.

Reator	Umidade (%)	Nitrogênio (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Carbono Orgânico (%)	pH	Relação C/N	Cálcio (%)	Potássio (%)	Magnésio (%)
R1 (CO-0, E-1, L-0)	53,06	0,77	0,39	20,07	6,2	26,06	0,7	0,18	0,04
R2 (CO-0,5, E-0, L-0,5)	35,02	0,93	0,42	13,34	6,5	14,34	10,99	0,17	0,18
R3(CO-0,333, E-0,333, L-0,333)	38,28	1,02	0,49	16,52	6,5	16,2	7,89	0,22	0,09
R4 (CO-0,667, E-0,167, L-0,167)	27,4	1,17	0,73	9,26	7	7,91	13,89	0,23	0,22
R5 (CO-0,167, E-0,667, L-0,167)	46,78	0,86	0,51	17,71	6,7	20,59	3,54	0,25	0,06
R6 (CO-0,5, E-0,5, L-0)	28,44	1,04	0,51	14,6	7	14,04	11,75	0,26	0,07
R7(CO-0,333, E-0,333, L-0,333)	27,43	1,06	0,67	18,65	6,6	17,59	8,84	0,24	0,12
R8 (CO-0, E-0,5, L-0,5)	52,2	0,71	0,42	18,09	6	25,48	0,51	0,17	0,01
R9 (CO-0,333, E-0,333, L-0,333)	21,45	1,38	0,56	20,75	6,4	15,03	9,43	0,28	0,27
R10 (CO-0, E-0, L-1)	38,45	0,84	0,57	25,98	5,6	30,93	0,55	0,094	0,04
R11 (CO-0,333, E-0,333, L-0,333)	36,67	0,92	0,61	20,51	6,2	22,29	9,15	0,17	0,15
R12 (CO-1, E-0, L-0)	34,74	1,23	0,31	18,23	6,5	14,82	6,9	0,23	0,16
R13 (CO-0,333, E-0,333, L-0,333)	20,36	1,08	0,48	15,5	6,8	10,87	14,93	0,22	0,24
R14 (CO-0,167, E-0,167, L-0,667)	29,12	1,08	0,62	16,55	6,6	15,32	1,23	0,23	0,13
Legislação	≤50%	≥0,5	Conforme Declarado	≥15	≥6	≤20	≥1%	Conforme Declarado	≥1%

#### 4.8. Regressão linear e análise de otimização

Nos parágrafos subsequentes é descrita uma análise de regressão linear realizada a partir dos resultados obtidos no programa experimental planejado e conduzido na presente pesquisa, (Tabela 15). O objetivo desta análise foi o de modelar matematicamente o comportamento das misturas (casca de ovo, esterco bovino e lodo de graxaria, em diferentes proporções) no espaço experimental definido no delineamento da pesquisa (região triangular mostrada na Figura 7, também denominada região simplex centróide), frente aos principais parâmetros de resposta medidos ao final do processo de compostagem (Umidade; pH; Relação C/N; Carbono Orgânico; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; N; Ca; K e Mg).

Os resultados da análise de regressão estão sumarizados na Tabela 16. Nesta tabela, são apresentados, para cada um dos parâmetros analisados, o tipo de equação inicialmente ajustada, os termos da equação considerados significativos após o refinamento do modelo, e os respectivos coeficientes de regressão. Como exemplo, a equação ajustada para o teor de nitrogênio possui a seguinte forma:

$$N = 0,81A + 1,23B + 0,89C + 1,10A.C - 1,09B.C$$

em que A, B e C são respectivamente as proporções de casca de ovo, esterco bovino e lodo de graxaria presentes na mistura. A Tabela 16 apresenta ainda, para cada equação de regressão, a significância estatística do modelo ajustado, expressa em termos do *valor-p* obtido através de uma Análise de Variância (ANOVA) da regressão, e o valor do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>). Na definição dos termos presentes em cada equação, foram considerados significativos apenas aqueles com *valor-p* menor ou igual a 0,10.

No contexto da análise de regressão, o *valor-p* pode ser adequadamente interpretado como a margem de erro (probabilidade) assumida ao concluir-se que o modelo ajustado ou os seus termos, individualmente, são estatisticamente significativos. Se o *valor-p* é suficientemente baixo (por exemplo, menor que 0,05 ou 0,10), então é bastante provável que tanto o efeito mesurado de um termo, como a capacidade de um modelo para representar um processo em estudo, sejam reais e não frutos do mero acaso.

Ainda com referência à Tabela 16, cabe ressaltar que para os parâmetros pH, fósforo, potássio e magnésio, o melhor ajuste foi produzido por uma constante, isto é, pela média dos resultados observados no experimento. Por exemplo, para o parâmetro pH, o modelo ajustado assumiu a forma pH = 6,51.

Tabela 16: Resultados da análise de regressão.

Variável de Resposta	Tipo de Modelo	valor-p do Modelo Ajustado	R <sup>2</sup>	Termos e coeficientes do Modelo de Regressão Ajustado (valor-p < 0,10)								
				Const.	A	B	C	A.B	A.C	B.C	A.B <sup>2</sup> .C	
Umidade	Quadrático	0,0279	61,90%	--	37,77	34,79	49,27	--	--	-96,97	--	--
Nitrogênio	Quadrático	0,1069	57,59%	--	0,81	1,23	0,89	--	--	1,10	-1,09	--
Fósforo	Constante	--	--	0,52	--	--	--	--	--	--	--	--
Carbono Orgânico	Quártico	0,0348	83,45%	--	25,34	18,44	17,92	-37,60	--	-27,92	-0,36	479,83
pH	Constante	--	--	6,51	--	--	--	--	--	--	--	--
Relação C/N	Quadrático	0,1004	58,35%	--	27,02	12,42	19,79	--	--	-53,39	40,29	--
Cálcio	Quártico Especial	0,0098	89,53%	--	43,84	31,46	31,09	-62,62	--	-70,80	1,43	998,53
Potássio	Constante	--	--	0,22	--	--	--	--	--	--	--	--
Magnésio	Constante	--	--	0,13	--	--	--	--	--	--	--	--

A – Proporção de casca de ovo; B – Proporção de esterco bovino; C – Proporção de lodo de graxaria; Const. – Termo independente na equação.

As Figuras 22 a 30 apresentam uma comparação entre os valores dos parâmetros de resposta medidos ao final do experimento de compostagem e os correspondentes valores previstos pelos modelos de regressão. Pode-se observar que, embora uma natural dispersão em torno da linha de igualdade, decorrente do ruído experimental, em geral a concordância é satisfatória, indicando a adequação dos modelos ajustados para representar o processo de compostagem em estudo.

Uma vez que os modelos de regressão apresentados na Tabela 16 foram considerados adequados, estes puderam ser utilizados para prever o comportamento dos parâmetros avaliados, não somente para as 10 misturas testadas na presente pesquisa, mas para todos os pontos pertencentes ao espaço experimental, isto é, para toda e qualquer combinação entre proporções dos componentes da mistura. Desta forma, conclusões mais gerais podem ser estabelecidas.

As Figuras 31 a 39 mostram, através de gráficos de linhas de contorno, o comportamento dos parâmetros avaliados no experimento, frente às diferentes possibilidades de proporcionamento da mistura, na totalidade do espaço experimental, a partir da aplicação dos modelos de regressão ajustados.

Figura 22: Gráfico de valores medidos *versus* valores previstos para o parâmetro umidade

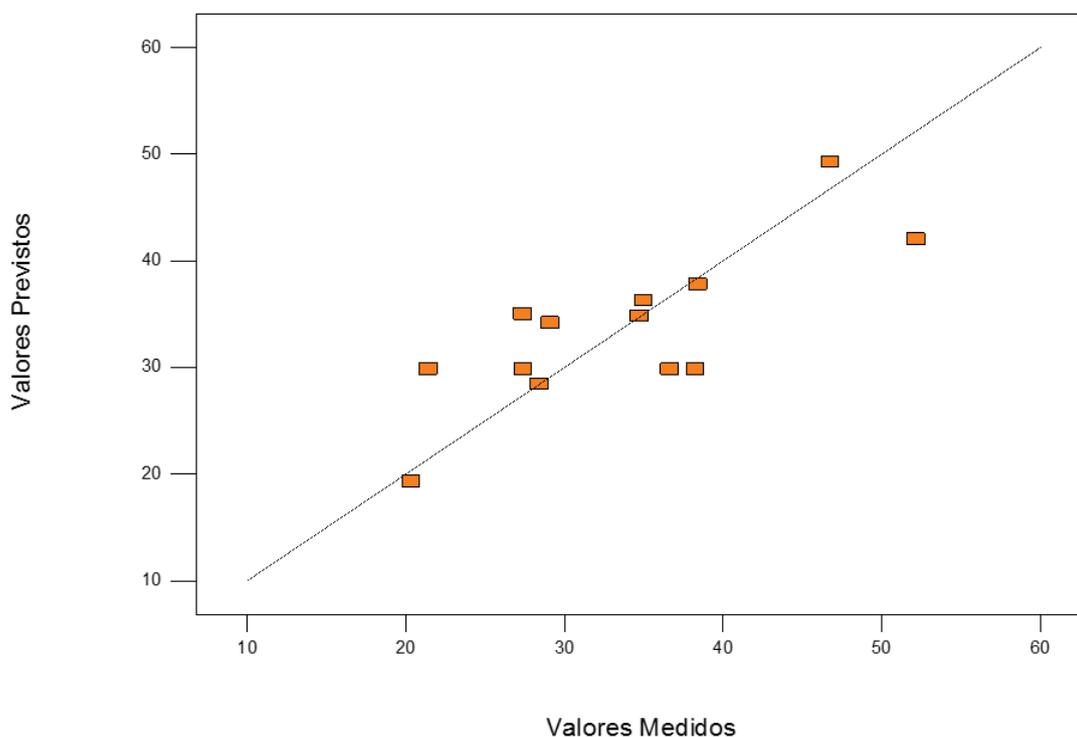


Figura 23: Gráfico de valores medidos versus valores previstos para o parâmetro nitrogênio.

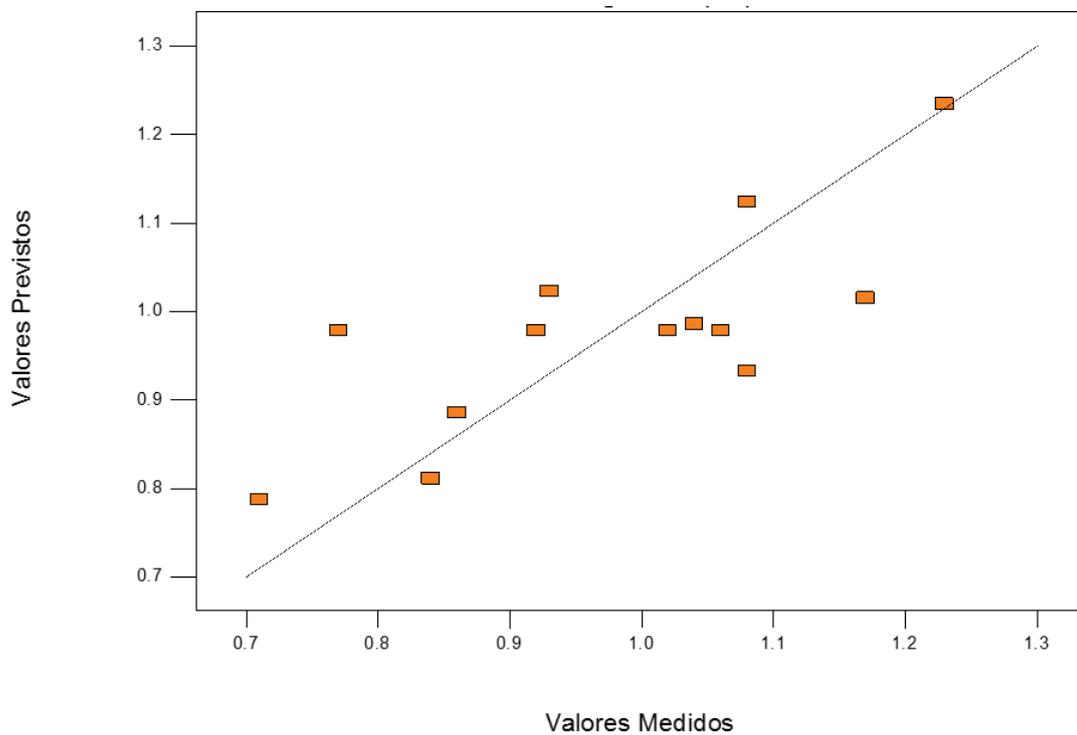


Figura 24: Gráfico de valores medidos versus valores previstos para o parâmetro fósforo.

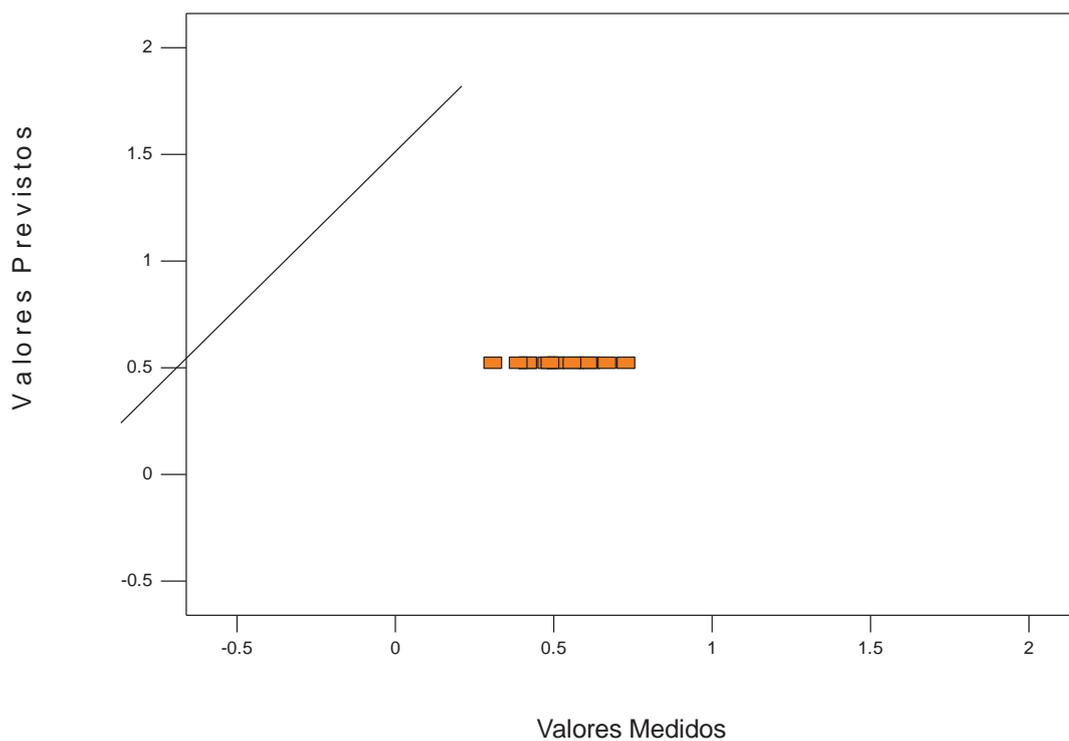


Figura 25: Gráfico de valores medidos versus valores previstos para o parâmetro carbono orgânico.

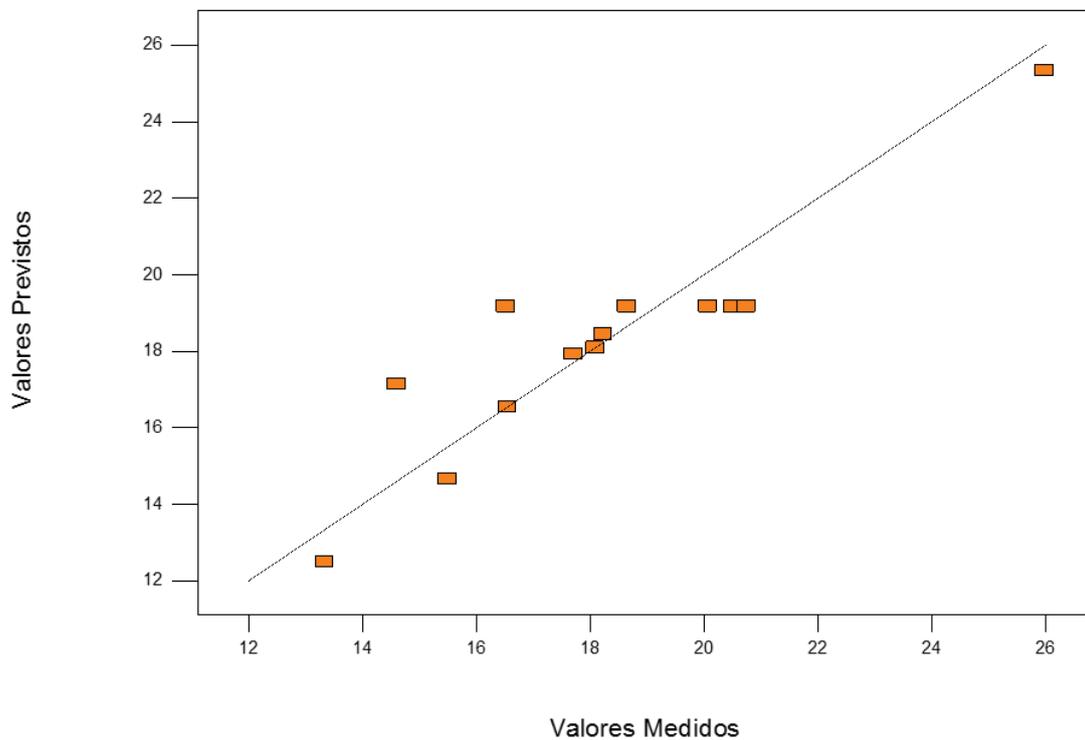


Figura 26: Gráfico de valores medidos versus valores previstos para o parâmetro pH.

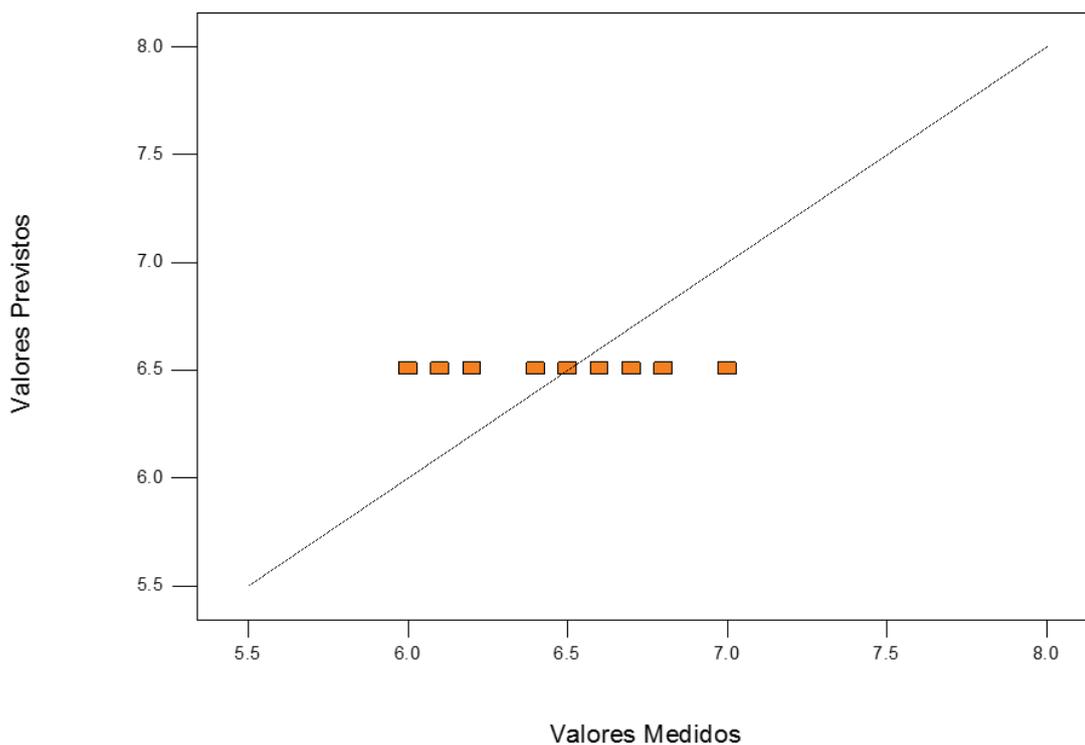


Figura 27: Gráfico de valores medidos versus valores previstos para o parâmetro  
Relação C/N

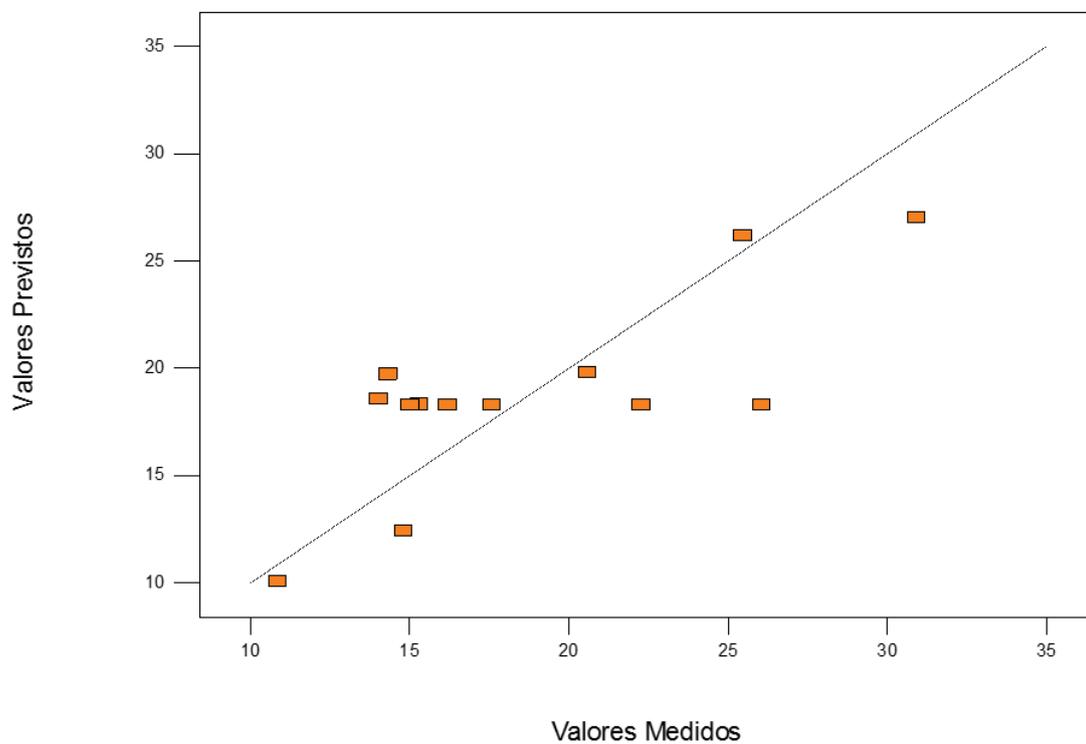


Figura 28: Gráfico de valores medidos versus valores previstos para o parâmetro  
cálcio.

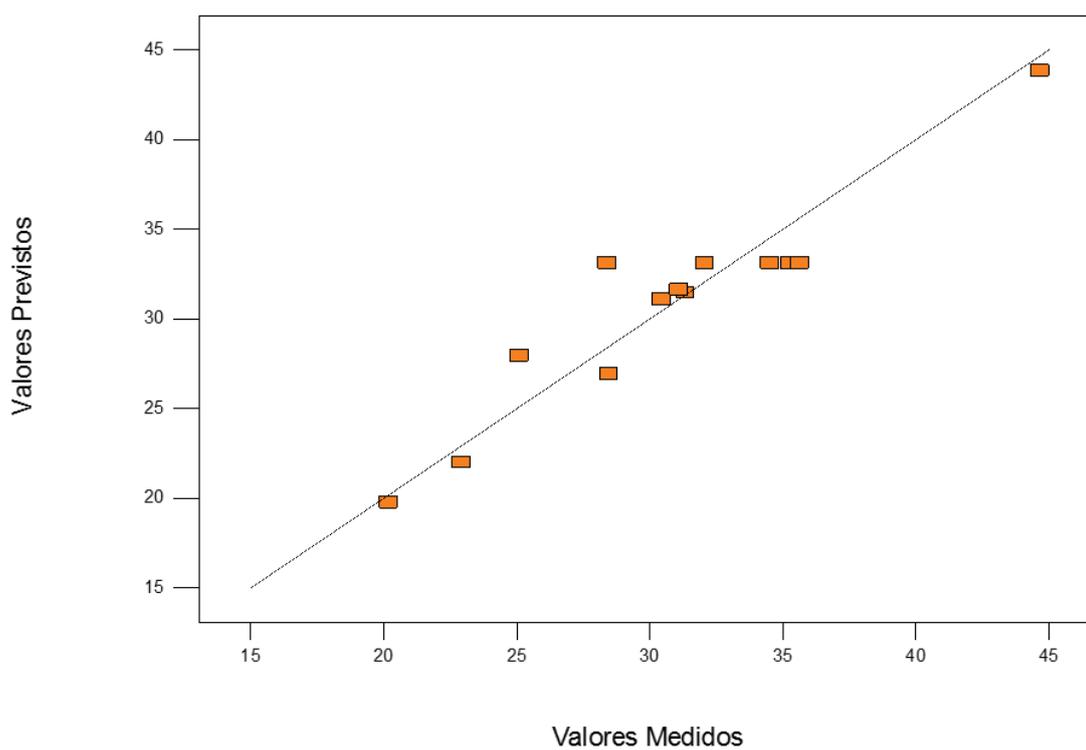


Figura 29: Gráfico de valores medidos versus valores previstos para o parâmetro potássio.

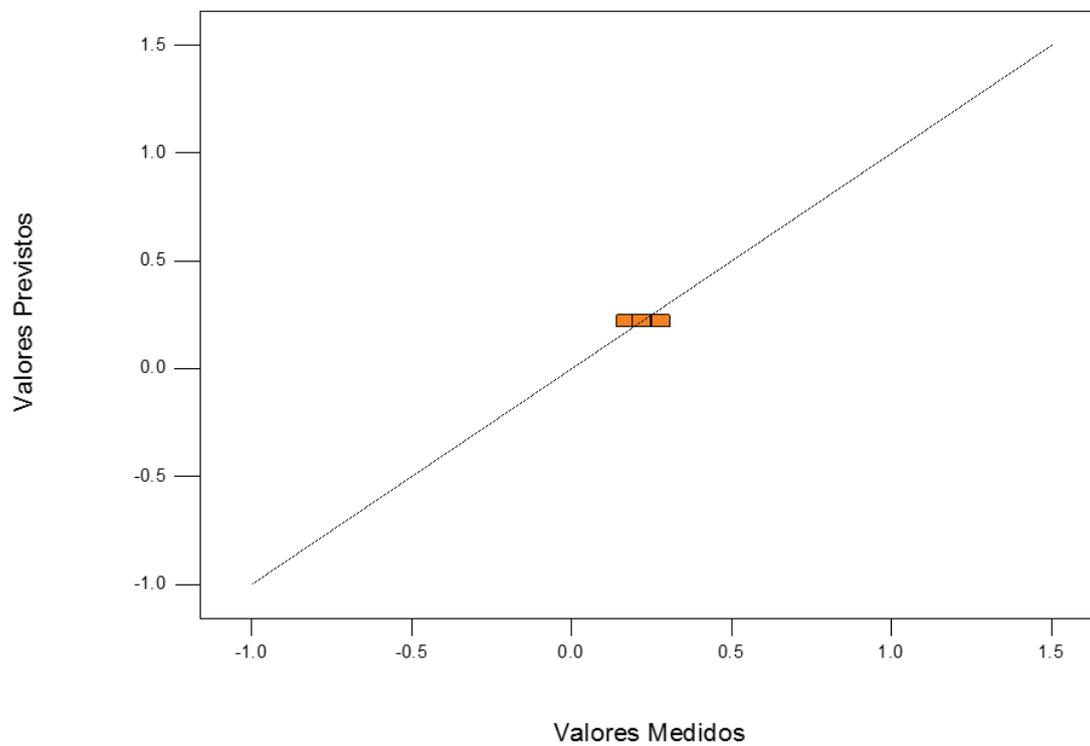


Figura 30: Gráfico de valores medidos versus valores previstos para o parâmetro magnésio.

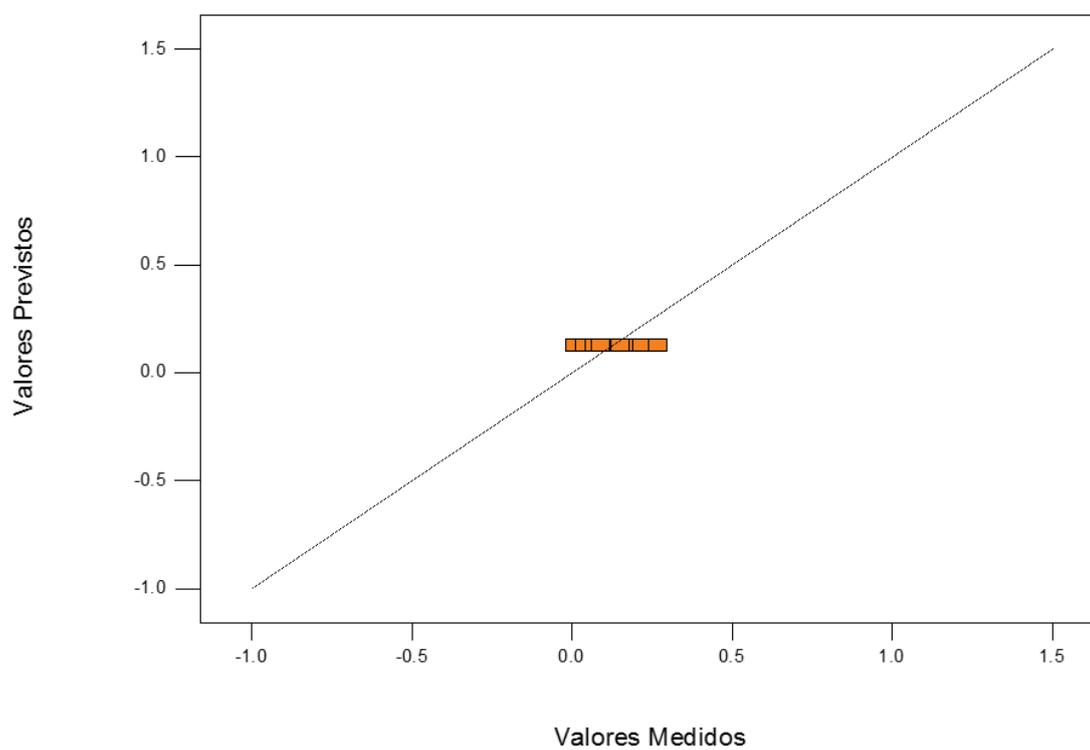


Figura 31: Gráfico de linhas de contorno para o parâmetro Umidade.

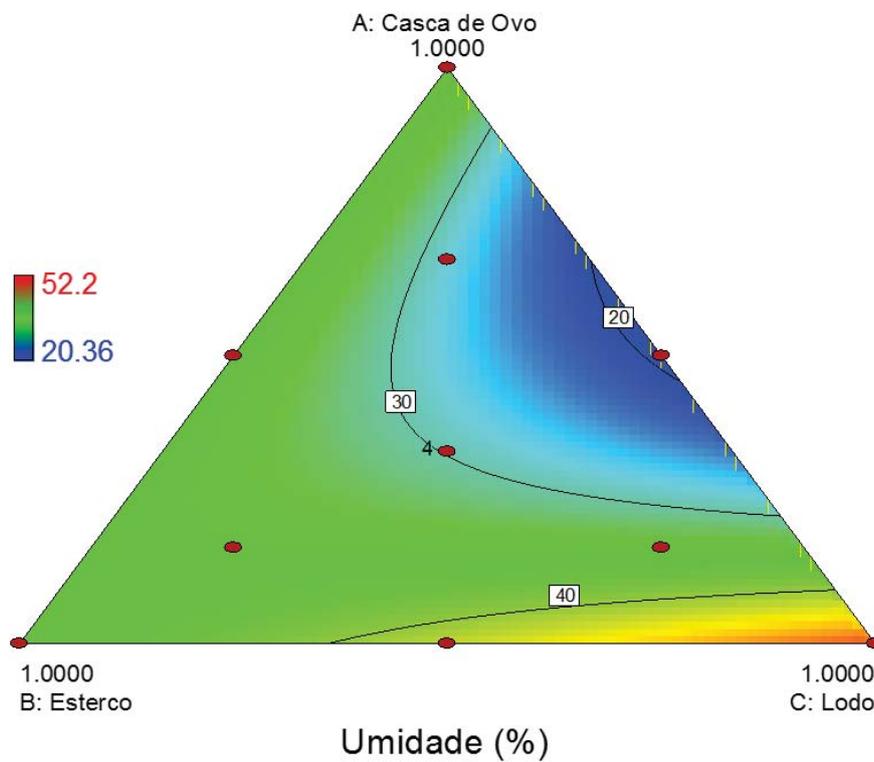


Figura 32: Gráfico de linhas de contorno para o parâmetro Nitrogênio.

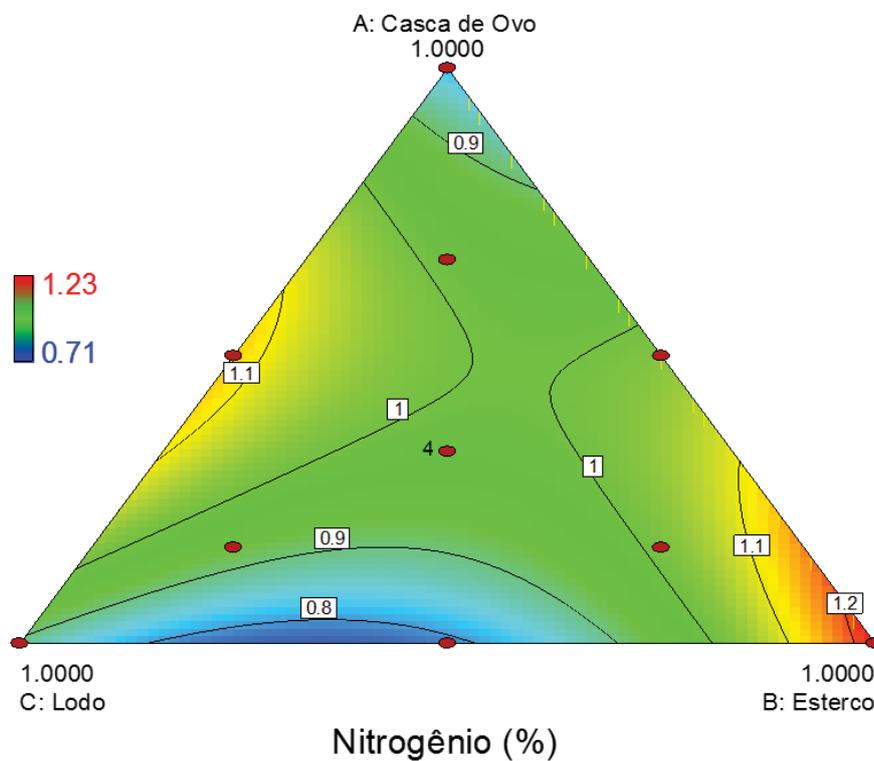


Figura 33: Gráfico de linhas de contorno para o parâmetro Fósforo.

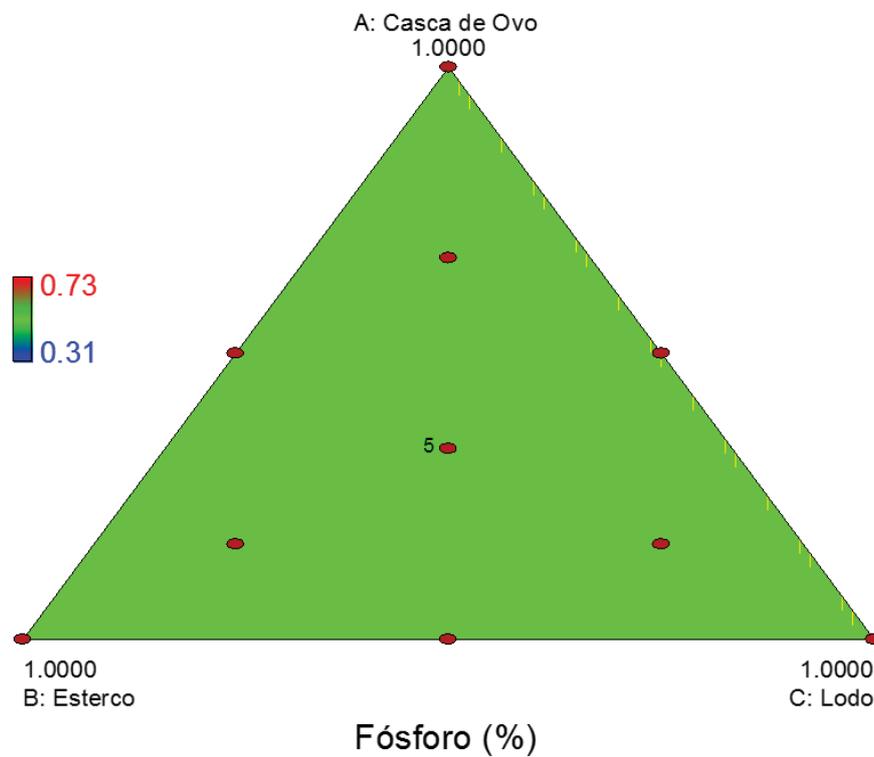


Figura 34: Gráfico de linhas de contorno para o parâmetro Carbono Orgânico.

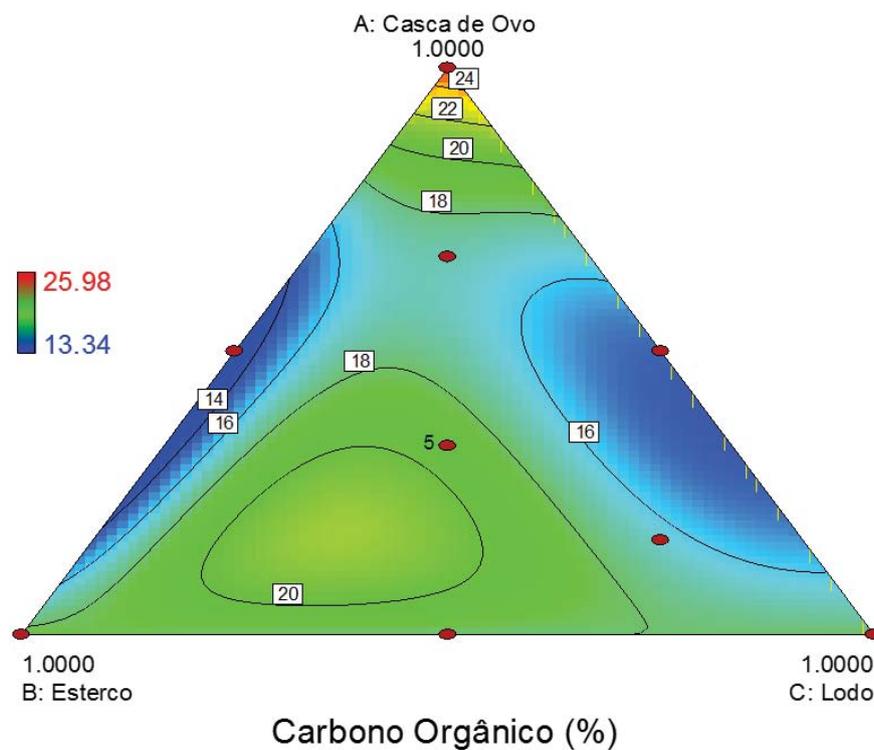


Figura 35: Gráfico de linhas de contorno para o parâmetro pH.

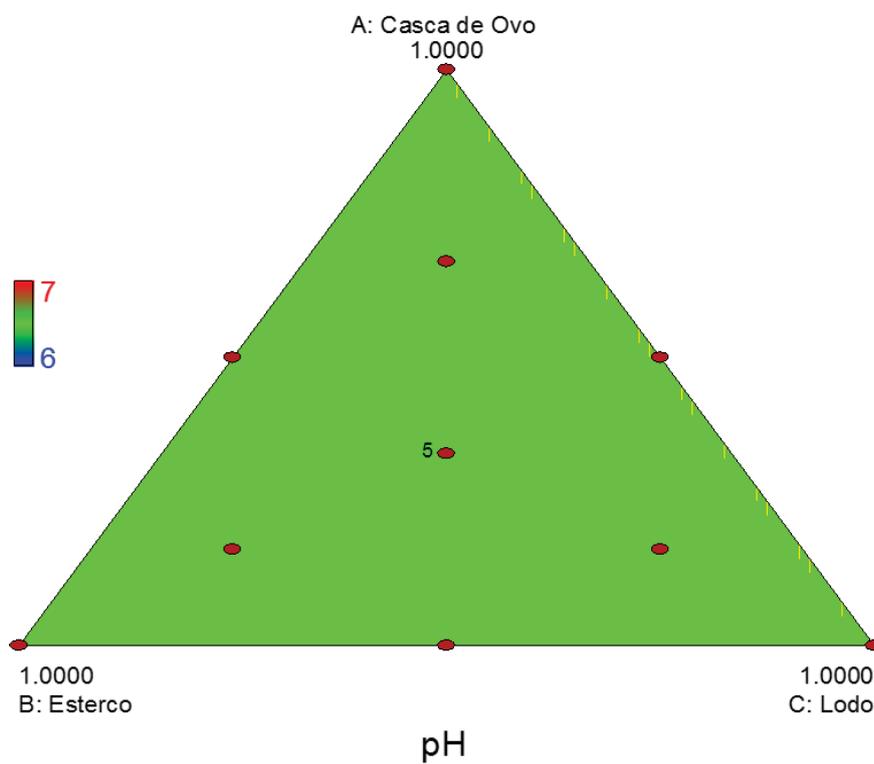


Figura 36: Gráfico de linhas de contorno para o parâmetro Relação C/N.

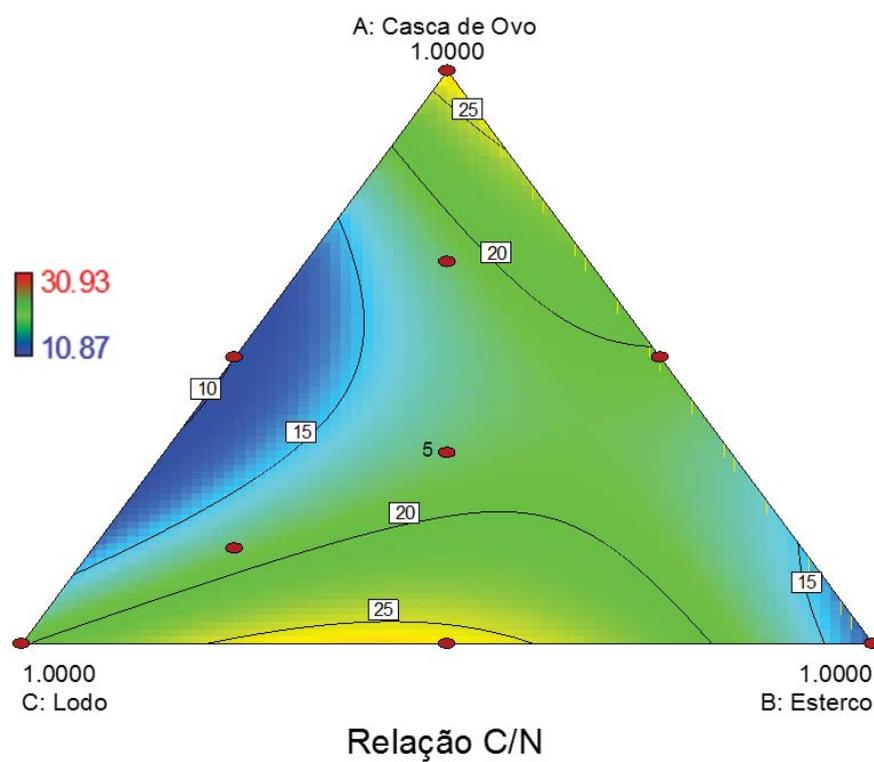


Figura 37: Gráfico de linhas de contorno para o parâmetro Cálcio.

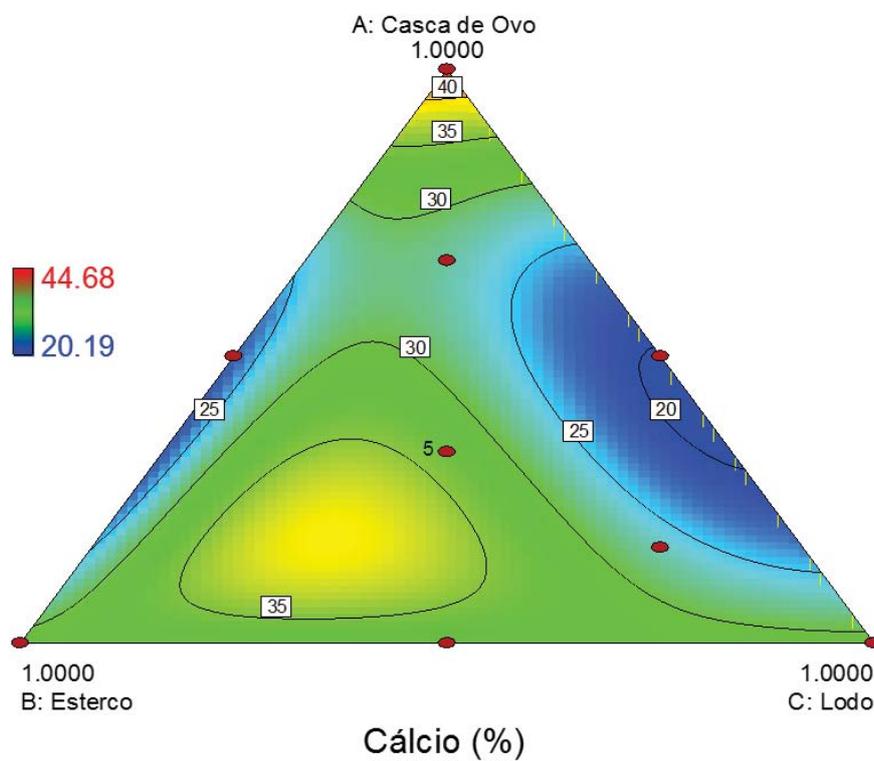


Figura 38: Gráfico de linhas de contorno para o parâmetro Potássio.

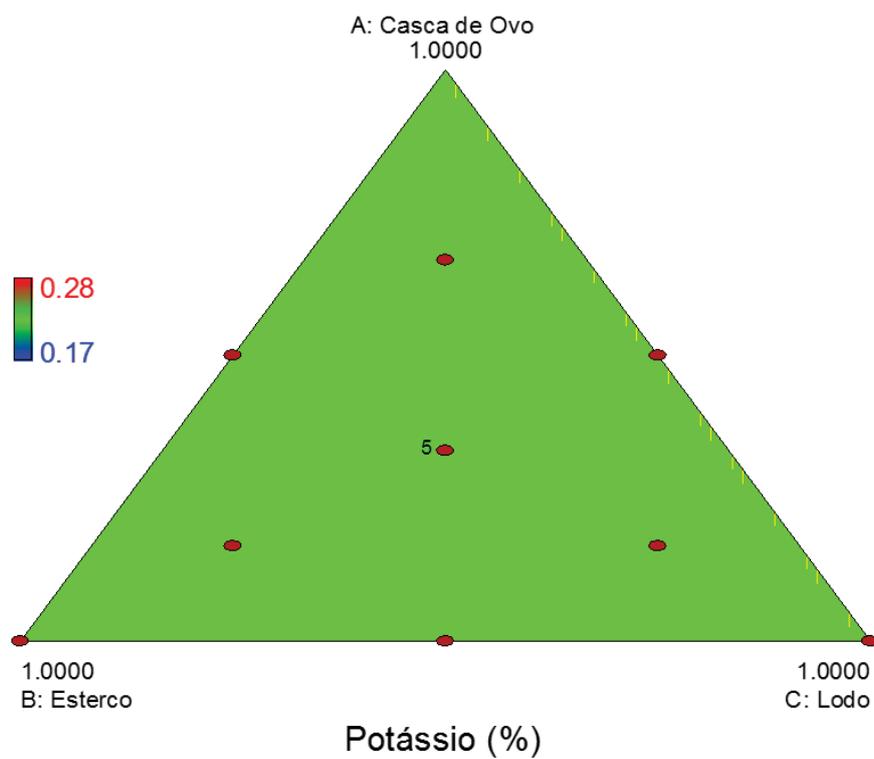
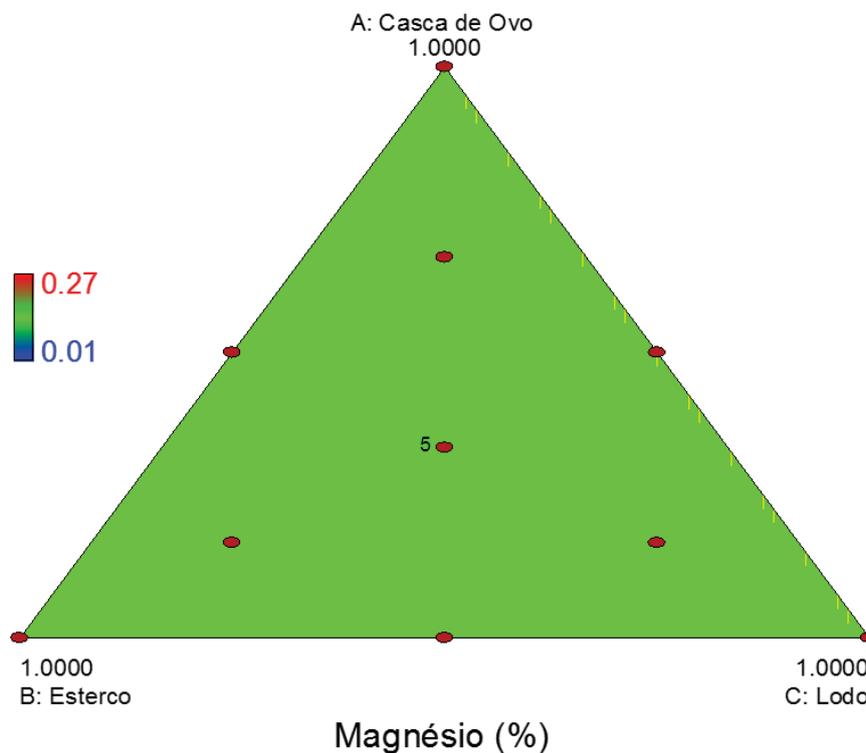


Figura 39: Gráfico de linhas de contorno para o parâmetro magnésio.



De forma geral, o comportamento mostrado nas Figuras 31 a 39 corrobora os argumentos colocados e a discussão realizada nas seções anteriores deste capítulo de resultados, porém de uma forma mais objetiva.

Uma das principais vantagens da análise de regressão é que através da manipulação analítica dos modelos matemáticos ajustados é possível realizar outros tipos de análise, como, por exemplo, a análise de otimização.

No presente trabalho, a análise de otimização teve como objetivo inicial investigar a existência de uma região dentro do espaço experimental em que simultaneamente os limites estabelecidos pela legislação (Tabela 15) para o composto são satisfeitos, e foi realizada a partir da utilização de algoritmos gráficos ou numéricos com o auxílio de programas computacionais específicos.

Na análise foram considerados apenas os parâmetros com limites estabelecidos pela legislação, conforme apresentado na Tabela 15. A exceção é o magnésio, que ficou aquém do limite mínimo para todas as misturas testadas e por esta razão foi excluído da análise. Também não foram incluídos na análise de otimização os parâmetros microbiológicos

*salmonella sp.* e coliformes termotolerantes, os quais foram analisados nas seções precedentes.

Novamente, o objetivo é otimizar a combinação entre os componentes da mistura: casca de ovo, esterco bovino e lodo de graxaria, de forma a atender a critérios pré-estabelecidos de desempenho. A Tabela 17 resume os critérios utilizados na análise de otimização.

Tabela 17: Critérios simultâneos de otimização adotados.

Parâmetro do composto	Meta	Limite inferior	Limite superior
Umidade (%)	Respeitar a faixa	--	50
Nitrogênio (%)	Respeitar a faixa	0,5	--
Carbono orgânico (%)	Respeitar a faixa	15	--
pH	Respeitar a faixa	6	--
Relação C/N	Respeitar a faixa	--	20
Cálcio (%)	Respeitar a faixa	1	--

A análise foi efetuada com dois métodos distintos: (1) por superposição gráfica das linhas de contorno correspondentes aos parâmetros analisados; e (2) com um algoritmo numérico de otimização.

Na análise numérica, para cada combinação possível das proporções dos componentes da mistura, foi calculada uma função de desejabilidade, cujo valor indica o grau de atendimento aos critérios de otimização. O valor da função de desejabilidade varia entre 0 e 1, sendo que no limite superior há o atendimento total e simultâneo aos critérios estabelecidos. Embora seja possível adotar pesos diferentes para cada um dos critérios de otimização, o que, significaria priorizar um critério, em detrimento dos demais, na presente análise foram adotados pesos iguais para todos os critérios.

Nas Figuras 40 e 41, são apresentados os resultados da otimização obtidos com o método gráfico e o do algoritmo numérico, respectivamente. Pode-se observar em ambas figuras que na maior parte do espaço experimental (área em amarelo, na Figura 40; e em vermelho, na Figura 41) os critérios de otimização foram integralmente satisfeitos, indicando a viabilidade técnica do tratamento pelo processo de compostagem de misturas dos resíduos agroindustriais estudados.

Figura 40: Análise de otimização pela superposição de linhas de contorno atendendo aos critérios da Tabela 17.

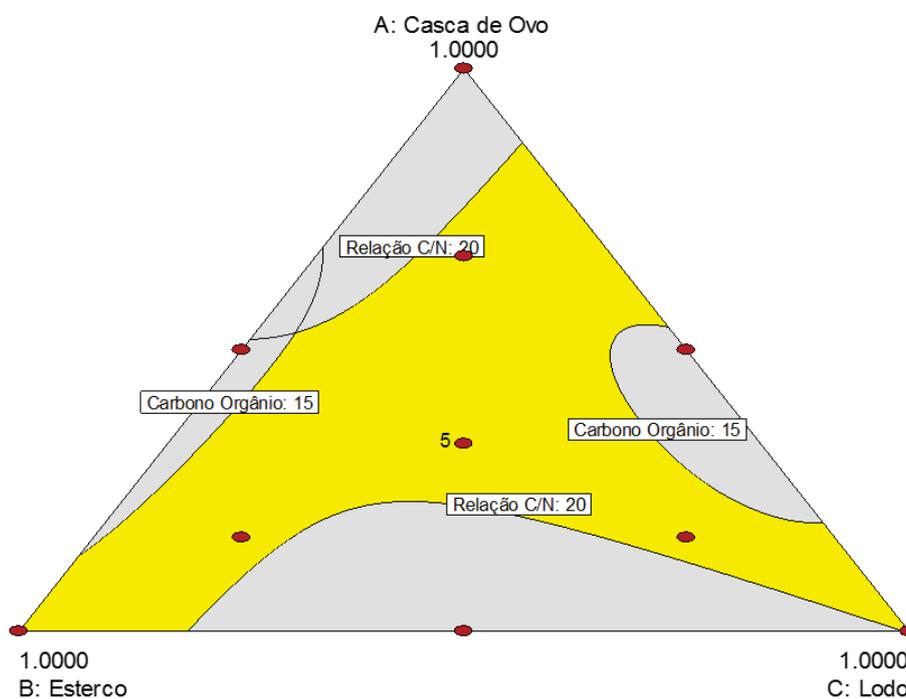
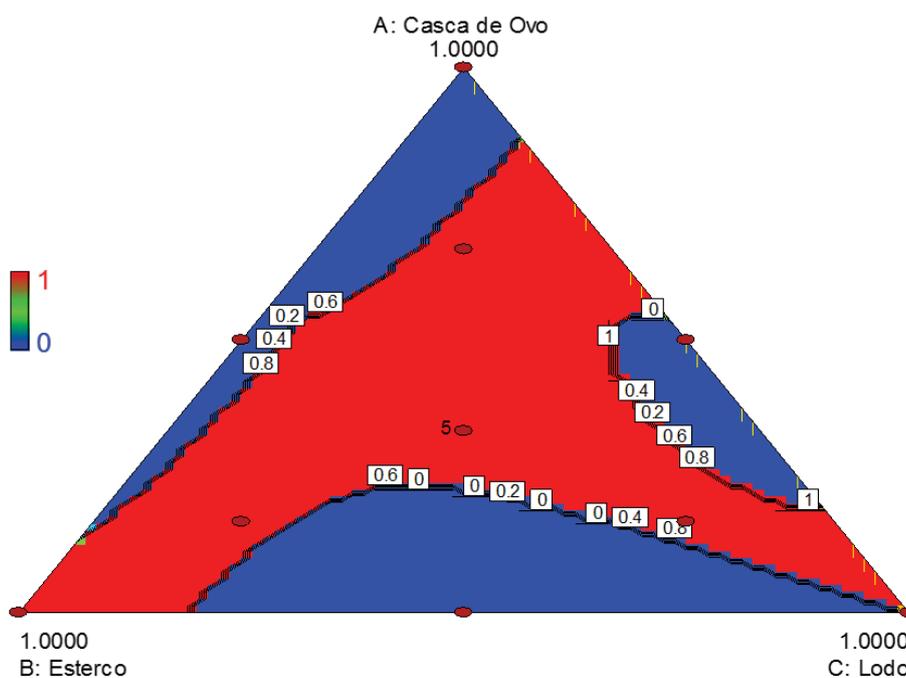


Figura 41: Análise de otimização numérica (função de desejabilidade) atendendo aos critérios da Tabela 17.



Pode-se constatar ainda que nenhuma das misturas binárias com iguais proporções dos componentes (pontos médios das arestas do triângulo simplex) preencheriam os critérios estabelecidos e que dentre as misturas unitárias (com um único componente), apenas a casca de ovo não apresentaria desempenho satisfatório.

A Figura 42 e a Tabela 18 apresentam uma análise adicional, na qual um dos critérios de otimização estabelecidos na Tabela 17 foi modificado buscando a minimização da Relação C/N. Como o valor mínimo deste parâmetro observado no experimento foi 10,87, esta é a meta de minimização adotada pelo algoritmo, o que estaria em acordo com o valor sugerido por Kiehl (2012) para que o composto fosse considerado humificado. Embora não se possa observar visualmente na figura áreas em que a função de desejabilidade assume o valor 1, o algoritmo indica algumas soluções que atenderam integralmente o critério de otimização estabelecido.

Figura 42: Análise de otimização numérica (função de desejabilidade) com minimização da Relação C/N.

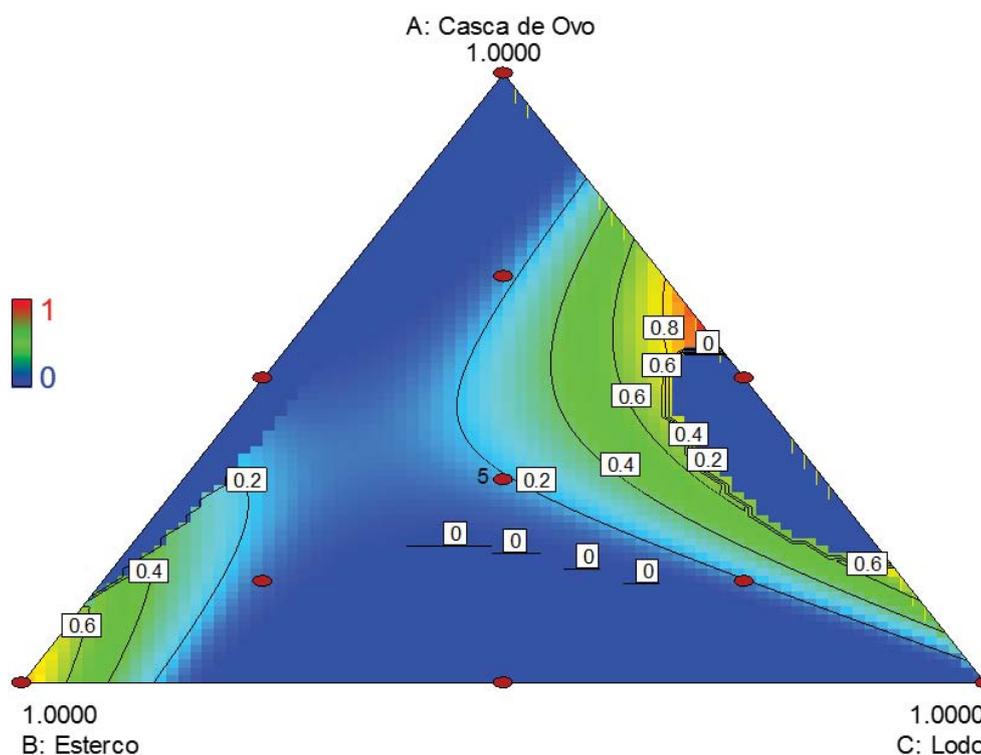


Tabela 18: Solução numérica da otimização com minimização da Relação C/N.

Solução	Proporções na mistura			Relação C/N	Função de Desejabilidade
	Casca de Ovo	Esterco	Lodo		
1	0,5726	0,0000	0,4274	10,87	1,000
2	0,5557	0,0034	0,4409	10,77	1,000
3	0,5420	0,0000	0,4580	10,46	1,000
4	0,0000	1,0000	0,0000	12,42	0,830
5	0,1938	0,0000	0,8062	12,85	0,783

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1. Conclusões

Os resultados obtidos no presente trabalho mostraram ser possível obter um composto de qualidade a partir da mistura dos resíduos agroindustriais casca de ovo, esterco bovino e lodo de ETE de graxaria, utilizando serragem como substrato, para uso na agricultura.

Possivelmente, as dimensões reduzidas das pilhas de compostagem impossibilitaram a obtenção de temperaturas mais elevadas. Foi possível obter temperaturas de até 60°C, porém com uma permanência baixa, insuficiente para eliminação de patogênicos. Possivelmente este aspecto pode ser contornado aumentando-se as dimensões das pilhas de compostagem.

A fase mesofílica não foi observada no início do processo e a fase de degradação ativa durou 38 dias. A fase de maturação do composto durou 78 dias, mas o composto com C/N próximo de 10 foi obtido com as misturas 4 (Casca Ovo-0,667, Esterco-0,167, Lodo-0,167) e 13 (Casca Ovo-0,333, Esterco-0,333, Lodo-0,333). A maturação do composto das misturas 1 (Casca Ovo-0, Esterco-1, Lodo-0), 8 (Casca Ovo-0, Esterco-0,5, Lodo-0,5) e 10 (Casca Ovo-0, Esterco-0, Lodo-1) não foi suficiente para que a relação C/N fosse de acordo com o padrão estabelecido pela legislação. As misturas 5 (Casca Ovo-0,167, Esterco-0,667, Lodo-0,167) e 11 (Casca Ovo-0,333, Esterco-0,333, Lodo-0,333) também estão acima do estabelecido, porém muito próximas do que determina a legislação. As demais misturas atendem a IN 2005/2006 para o parâmetro relação C/N e podem ser consideradas bioestabilizadas com características para aplicação no solo.

De acordo com o exposto, após a análise de todos os parâmetros segundo a Instrução Normativa 25/2009, foi possível concluir que as misturas ternárias de igual proporção entre os três resíduos, presente nos reatores 3, 7, 9 e 13 (Casca Ovo-0,333, Esterco-0,333, Lodo-0,333), como também as misturas dos reatores 12 (Casca Ovo-1, Esterco-0, Lodo-0) e 14 (Casca Ovo-0,167, Esterco-0,167, Lodo-0,667), foram as que apresentaram melhores resultados para uso como fertilizante agrícola, logo as mais adequadas para realização do processo de compostagem envolvendo os resíduos avaliados, não levando em consideração neste caso, a higienização que ficou prejudicada pelo

tamanho reduzido dos reatores. Com o aumento da escala é possível que se obtenha a higienização do material.

Mesmo o processo tendo sido realizado em pequena escala, as análises de regressão e o estudo de otimização permitiram identificar, com maior clareza e objetividade, as regiões do espaço experimental em que as misturas se enquadravam nos limites estabelecidos pela legislação, corroborando os indicativos de viabilidade técnica do processo de compostagem como forma eficaz de tratamento de misturas dos resíduos agroindustriais estudados na presente pesquisa.

O tratamento e disposição final dos resíduos gerados na atividade agroindustrial precisa de soluções ambientalmente corretas e que possam contribuir com o ecossistema. Tratar esses resíduos e ainda trazer benefícios é uma meta buscada por muitas empresas.

A compostagem é uma ótima alternativa de tratamento para resíduos. Ela pode beneficiar tanto o meio urbano como o meio rural. Se planejada de forma integrada e com cuidados ambientais pertinentes, pode gerar resultados amplos e atingir todo o potencial de benefícios que podem ser explorados.

## **5.2. Recomendações para futuros trabalhos**

A continuidade da pesquisa requer maior investigação, especialmente no que diz respeito à escala de experimentação. Construir uma leira em verdadeira grandeza utilizando uma mistura que tenha apresentado resultados satisfatórios é a principal sugestão para estudos futuros.

A construção de uma leira em maior escala será mais representativa, o que deverá permitir alcançar as temperaturas de higienização e a fase de maturação, as quais colaborarão substancialmente para aumentar a qualidade do composto formado.

Faz-se necessário analisar o diâmetro das partículas dos materiais envolvidos bem como identificar os microrganismos presentes no processo de compostagem objeto deste estudo.

No início do processo deverá ser realizada análise para verificar a presença de *salmonella sp* e coliformes termotolerantes a fim de comparar com os resultados obtidos ao final do experimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMLINGER, F., PEYR, S. & C. CURLS. Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment. **Waste Management & Research**, v. 26, p. 47-60. 2008.

ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E.S. Gestão de biossólidos: situação e perspectivas. In: SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BIOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1., CURITIBA. **Anais...** Curitiba: SANEPAR, 1998. p. 1-4.

ANDREOLI, C.V. et al., **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: Abes, 2006. 417 p.

ARTHURSON, V. **Proper sanitization of sewage sludge: A critical issue for a sustainable society**. Applied and Environmental Microbiology, v.74, p.5267-5275, 2008.

AUGUSTO, K. V. Z. **Manejo de dejetos em granjas de postura comercial**. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLA, 2005, Santos.

BARREIRA, L. P., PHILIPPI JUNIOR, A., RODRIGUES, M. S. Usinas de compostagem do Estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.11, n.4, p. 385-393. 2006.

BARTON, J.R., ISSAIAS, I., STENTIFORD, E.I. Carbon – Making the right choice for waste management in developing countries. **Waste Management**, v. 28, p. 690-698. 2008.

BLANCO, M. C. Compostagem. Disponível em: [www.geocities.com.br](http://www.geocities.com.br). Acesso em: 10 de julho 2014.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2012. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 de agosto de 2010. Seção 1, p. 3.**

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006**. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 ago. 2006. Seção 1, p. 141-146, 2006.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 28 de julho de 2009. Capítulo 1, p. 2.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 27, de 5 de julho de 2006**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 09 de julho de 2006.

BRITO, M. **Manual de Compostagem**. Escola Superior Agrária de Ponte Lima (ESAPL), Portugal, 2006.

BÜTTENBENDER, S.E. **Avaliação da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos proveniente da coleta seletiva realizada no município de Angelina/SC**. 2004 – Dissertação de Mestrado da Faculdade Federal de Santa Catarina.

CAMPINHOS Jr. E.; IKEMORI, Y.K.; MARTINS, F.C.G. **Determinação do meio de crescimento mais adequado à formação de mudas de *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.* em recipientes plásticos rígidos**. In: Simpósio Internacional: Métodos de Produção e Controle de Qualidade de Sementes e Mudas Florestais, p.350-358, Curitiba, 1984.

CAMPOS, A. L. O. **Avaliação Metodológica da Estabilização da Fração Orgânica Putrescível em uma Leira de Compostagem de Resíduos Sólidos Domiciliares**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, 1998.

CARVALHO, S. M. R. **Balço energético e potencial de produção de biogás em granja de postura comercial, na região de Marília, SP**. 1999. 89f. Tese - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

CORBITT, R.A. **Standard handbook of environmental engineering**. Second Edition: McGraw-Hill, 1999.

CORNELL, J.A. **Experiments with mixtures: designs, models, and the analysis of mixture data**. 3rd. Edition: Wiley, 2002.

CORREA, R. S., FONSECA, Y. M. F., CORREA, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.4, p. 420-426. 2007.

COSTA, M. S. S. de M. et al., Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2009.

COSTA, M. S. S. de M.; COSTA, L. A. de M.; OLIBONE, D. *et al.* Efeito da aeração no primeiro estágio da compostagem de carcaça de aves. **Engenharia Agrícola**, May/Aug. 2005, vol.25, no.2, p.549-556. ISSN 0100-6916.

COUTINHO, C. J.; CARVALHO, C. M. O. 1983. **Uso da Vermiculita na Produção de Mudanças Florestais**. In: *ENCONTRO NACIONAL DE REFLORESTADORES*, Curitiba, p.54-63, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, 1998.

DAÍ PRA, M. A. et al. **Compostagem como alternativa para gestão ambiental na produção de suínos**. Porto Alegre, 2009. Pag 69.

DIAZ, L.F. and G.M. SAVAGE. *Factors that Affect the Process, in Compost Science and Technology*, L.F. Diaz, et al., Editors.: Elsevier. p. 49 – 65, 2007.

DEPORTES, I.; BENOIT-GUYOD, J.L.; ZMIROU, D.; BOUVIER, M.C. Microbial disinfection capacity of municipal solid waste (MSW) composting. **Journal of Applied Microbiology**, v.85, p.238-246, 1998.

EGGERTH, L.L., L.F.DIAZ, M.T.F.CHANG, and L.ISEPPI (2007) **Maketing of composts, in Compost Science and Technology**, M.d.B. W.B.L.F.Diaz and E. Stentiford, Editors: Elsevier. p. 325-355

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. -. Centro Nacional de Pesquisa de Solos Rio de Janeiro, **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, SPI, 1999.

EMURB – Empresa Municipal de Obras e Urbanização. **Projeto Conceitual do Sistema de Tratamento e Disposição Final dos Resíduos Sólidos de Aracaju e Zona Metropolitana e Programa de Recuperação da Área Degradada pela Lixeira da Terra Dura. Volume II**, Aracaju, 2002.

ENSINAS, A.V., **Estudo de Geração de Biogás no Aterro Delta em Campinas – SP** . Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2003.

EPSTEIN, E. **The Science of Composting**. Pennsylvania. Technomic Publishing, 1997.

EPSTEIN, E. *Industrial Composting: Environmental Engineering and Facilities Management*. Taylor and Francis, 2011.

ESCOSTEGUY, P.A.V.; PARCHEN, C.A.P.; SELBACH, P.A. Bactérias enteropatogênicas em compostos de lixo domiciliar, solo e planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinas-SP**. no 17 pag. 365 a 369. 1993.

FERNANDES, F. et al., **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 84 p.

HAUG, R.T. **The Practical Handbook of Compost Engineering**. Lewis Publishers, 1993.

HAUG, R.T. **Composting engineering: principles and practice**. Michigan: Ann Arbor Science, 1980, 665p.

IBGE. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <[www.censo2010.ibge.gov.br](http://www.censo2010.ibge.gov.br)>

INÁCIO, C.T. E MILLER, P.R.M. **Compostagem: ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos** – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

INSTITUTE FOR SOLID WASTED OF AMERICAN PUBLIC WORKS ASSOCIATION. **Municipal refuse disposal public administration service**. e ed; Illinois. Composting, p. 293 - 329 - 1970.

IPT, **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 2ª ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

KEMPER, N.P. E GOODWIN, H.L., JR. Feasibility and production costs of composting breeder and pullet litter with eggshell waste. *The Journal of Applied Poultry Research*, 18, 2: 172-184, 2009.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos** . São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1985.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. 3ª. ed. Piracicaba, 2002.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. 6ª. ed. Piracicaba, 2012.

KUTER, G. A. **Biosolids composting** . Water Environmental Federation, Alexandria,VA, 187 p., 1995.

LANARV, Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de Corretivos, fertilizantes e Inoculantes**. Métodos Oficiais. 103p. 1988.

LARNEY, F.J.; YANKE, L.J.; MILLER, J.J.; McALLISTER, T.A. Fate of coliform bacteria in composted beef cattle feedlot manure. **Journal of Environmental Quality**, v.32, p.1508-1515, 2003.

LELIS, M. P. N. **Influência da Umidade na Velocidade de Degradação e no Controle de Impactos Ambientais da Compostagem**. Tese de Mestrado, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil, 1998.

LIMA, L. M. Q. **Lixo: Tratamento e Biorremediação**. 3ª ed. rev. aum. São Paulo: Hemus, 1995.

LIU, D.H.F. and B.G. LIPTÁK. *Environmental Engineers' Handbook on CD-ROM*. Taylor and Francis, 1999.

LOPEZ-REAL, J. M. Composting of agricultural wastes. In: *The Science of Composting – European Commission International Symposium, Blackie Academic e Professional*, p. 542-550, England, 1996.

MARAGNO,E.S. et al. **O uso da serragem em sistema de Minicompostagem -2007**  
Disponível em: < <http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/000028/00002840.pdf>>  
Acesso em 16 jun 2014. 10h 20.

MARÍN, I.; SANZ, J. L.; AMILS, R. **Biotecnología y medioambiente**. Ed. Ephemera, Madri, 2005.

MARQUES, M.; HOGLAND, W. **Processo descentralizado de compostagem em pequena escala para resíduos sólidos domiciliares em áreas urbanas**. In: *XVIII Interamerican Congress of Sanitary and Environmental Engineering*, October 27-31, Cancun, Mexico, 2002.

MATTOS, A.T. **Tratamento de Resíduos Agroindustriais**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Viçosa 2005.

MEZENNER, N.Y. and BENSMAILI, A. Kinetics and thermodynamic study of phosphate adsorption on iron hydroxide-eggshell waste. *Chemical Engineering Journal*, 147, 2-3: 87-96, 2009.

MILLER, F.C. Composting as a process base on the controlo f ecologically selective Factors. In: METTING, F. B. (Ed.). **Soil microbial ecology: aplication in agricultural and environmental management**. New York: Marcel Dekker Inc, 1993.

NOVA GERAR. **Relatório Ambiental de Geração de Energia: Planta de minimização de gases efeito estufa e aproveitamento energético do biogás gerado no lixão de Marambaia e no Aterro Sanitário de Adrianópolis**. Nova Iguaçu, RJ,Brasil. Relatório para o Banco Mundial. 2003.

NUVOLARI, A. et al., **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2011. 565p.

OLIVEIRA, D. A.; BENELLI, P.; AMANTE, E. R.; **Valorização de resíduos sólidos: cascas de ovos como matéria-prima no desenvolvimento de novos produtos**. II International Workshop - Advances in Cleaner Production. São Paulo - Brasil, 2009

PARK, H.J.; JEONG, S.W.; YANG, J.K.; KIM, B.G. e LEE, S.M. Removal of heavy metals using waste eggshell. *Journal of Environmental Sciences*, 19, 12: 1436-1441, 2007.

PEDROZA, M.M. et al. **Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão**. Revista Liberato. v.11, n.16, p. 89-188, jul/dez. 2010. Disponível em: <<http://www.liberato.com.br/upload/arquivos/0121121014101925.pdf>>. Acesso em: 10 mar 2013. 08h25.

PEGORINI, E.S. et al., **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba: SANEPAR, 1999. 92p.

PEIXOTO, R.T.G. **Compostagem: Opção para o manejo orgânico do solo.** Londrina: IAPAR, 1988.

PEREIRA NETO, J. T.; MESQUITA, M. M. F. **Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos: aspectos teóricos, operacionais e epidemio lógicos,** Lisboa, 1992.

PEREIRA NETO, J. T. **Conceitos Modernos de Compostagem.** *Engenharia Sanitária*, v.28, n.3, p 104-109. 1989

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de Compostagem: processo de baixo custo – ed.rev.e aum./Viçosa, MG : Ed UFV, 2007)**

PICKIN, J. G, YUEN, S. T. S. , HENNINGS, H. Waste management options to reduce greenhouse gas emissions from paper in Australia. **Atmospheric Environment**, v. 36, p.741-752. 2002.

RYNK, R.**On-farm composting handbook.** Ithaca, NY: NRAES, 1992, 186 p.

SANTOS, C. C. **Avaliação físico-química de compostos de cama de frango e sua utilização na agricultura.** 2000. 93f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

SANTOS, L.M.d.C. **Resíduos com interesse agrícola. Evolução de parâmetros da sua compostagem,** ed. I.P.d. Bragança, 2001.

SEDIYAMA, M. A. N., GARCIA, N. C. P., VIDIGAL, S. M., MATOS, A. T. de. Nutrientes em compostos orgânicos de resíduos vegetais e dejetos de suínos. **Scientia Agricola** [online]. v.57, n.1, p. 185-189. 2000.

SEGANFREDO, M. A. **O impacto ambiental na utilização de cama de aves como fertilizante do solo.** 2000. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br>> Acesso em: 03 set. 2013.

SILVA, M. E. C. **Compostagem de Lixo em Pequenas Unidades de Tratamento**. Viçosa, CPT, 2000.

SILVA, R. P. da; PEIXOTO, J. R.; JUNQUEIRA, N. T. V. Influência de diversos substratos no desenvolvimento de muda de maracujazeiro-azedo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.23, n.2, p. 377-381, 2001.

SIMONS, P., 2007. **Consumo de ovos deve aumentar**. Redação Avicultura Industrial, <[http://www.aviculturaindustrial.com.br/site/dinamica.asp?tipo\\_tabela=especiais&id=2957&categoria=coberturas\\_on\\_line](http://www.aviculturaindustrial.com.br/site/dinamica.asp?tipo_tabela=especiais&id=2957&categoria=coberturas_on_line)>, acessado em Março de 2014.

SISINNO, C. L. S., OLIVEIRA, R. M. **Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: uma visão multidisciplinar**. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2000.

SORME, L., LAGERKVIST, R., **Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm Sci**. Total Environ. 2002, 298 131–145.

STADELMAN, W.J. (2000) - Eggs and egg products. *In*: Francis, F.J. (Ed.) - **Encyclopedia of Food Science and Technology**. New York, John Wiley & Sons, p. 593–599.

TCHOBANOGLIOUS, G., F.L. BURTON, and H.D. STENSEL. **Wastewater engineering: treatment and reuse**, ed. Metcalf and Eddy. McGraw-Hill, 2003.

TEIXEIRA, L. B.; GERMANO, V. L. C.; OLIVEIRA, R.; FURLAN JUNIOR, J. **Processo de Compostagem a partir de lixo orgânico urbano em leira estática com ventilação natural**. Belém, PA Embrapa Amazônia Oriental, 2004.

TIQUIA, S.M.; WAN, J.H.C.; TAM, N.F.Y. Microbial population dynamics and enzyme activities during composting. **Compost Science and Utilization**, v.10, n.2, p.150-161, 2002.

TSAI, W.T.; HSIEN, K.J.; HSU, H.C.; LIN, C.M.; LIN, K.Y. e CHIU, C.-H. (2008) - Utilization of ground eggshell waste as an adsorbent for the removal of dyes from aqueous solution. *Bioresource Technology*, 99, 6: 1623-1629

TROMBETTA, E. **Utilização de fibra natural de pinus ( serragem ) como reforço em componentes automotivos compostos de polipropileno.** 2010 Disponível em:< [http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao\\_114\\_ernani\\_trombetta.pdf](http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao_114_ernani_trombetta.pdf)> Acesso 10 jun 2014.10h10.

(USDA) - United States Environmental Protection Agency, United States Department of Agriculture, and Natural Resources Conservation Service (NRCS) (2010), *Chapter 2 Composting, in National Engineering Handbook - Part 637 Environmental Engineering* Washington, DC: US Dept. of Agriculture.

VANDERGHEYNST, J. S., GOSSETT, J. M., WALKER L. P. **High-solid aerobic decomposition: pilot-scale reactor development and experimentation.** Process Biochemistry, p. 361-375. 1997.

VANOTTI, M.B., SZOGI, A.A., VIVES, C.A. **Greenhouse gas emission reduction and environmental quality improvement from implementation of aerobic waste treatment systems in swine farms.** Waste Management, v. 28, p. 759–766, 2008.

VON SPERLING, M. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p.

WANDER, P.R. **Utilização de resíduo de madeira e lenha como alternativas de energia renováveis para o desenvolvimento sustentável da região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul.** 2001.140p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.