

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

FRANCINE CONCEIÇÃO DE ANDRADE

**COMPOSTAGEM COMO ALTERNATIVA DE DISPOSIÇÃO
FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS GERADOS NA
EMBRAPA SOJA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LONDRINA
2015**

FRANCINE CONCEIÇÃO DE ANDRADE

**COMPOSTAGEM COMO ALTERNATIVA DE DISPOSIÇÃO
FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS GERADOS NA
EMBRAPA SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Tatiane Cristina Dal Bosco.

LONDRINA

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Compostagem como alternativa de disposição final dos resíduos sólidos orgânicos gerados na Embrapa Soja
por
Francine Conceição de Andrade

Monografia apresentada no dia 29 de junho de 2015 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. MsC. Bruno de Oliveira Freitas
(UTFPR)

Prof. Dr. Janksyn Bertozzi
(UTFPR)

Prof^a. Dra. Tatiane Cristina Dal Bosco
(UTFPR)
Orientadora

Prof^a. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

"A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso".

“Apesar de a engenhosidade humana em várias invenções, usar diferentes instrumentos para o mesmo fim, ela nunca encontrará uma invenção mais bonita, mais fácil ou mais econômica do que a da natureza, pois em suas invenções nada falta, nada é supérfluo.”

Leonardo da Vinci

AGRADECIMENTOS

É com imensa satisfação com que venho gratificar o Senhor meu Deus, por me permitir alcançar esta vitória em minha vida, pois “sem Ele nada sou”... Obrigada por me carregar, literalmente, nos momentos difíceis desta caminhada.

Com muito carinho agradeço a minha querida orientadora, Professora Doutora Tatiane Cristina Dal Bosco, em primeiro pelo seu lado compreensivo de ser e, também pela ajuda e dedicação, empenho e amizade ao longo deste percurso acadêmico.

Este trabalho não seria possível sem a contribuição e oportunidade cedida pela Embrapa Soja. Agradeço em especial ao Sr. Cláudio Brigano pela sua confiança e disposição depositadas neste trabalho e, aos demais servidores por ter possibilitado a sua realização. Não poderia também deixar de agradecer aos funcionários pela ajuda na montagem dos experimentos; pesquisadores, técnicos e estagiários do laboratório de Solos e Tecidos Vegetais da Embrapa Soja, pelo acompanhamento na preparação e análises das amostras, e pela incansável ajuda ao longo deste trabalho.

Gostaria de agradecer a todos os professores que me ensinaram e proporcionaram crescimento acadêmico, à banca Bruno e Janksyn pelas contribuições depositadas neste trabalho e ao professor Roger Michels pelo apoio em parte deste trabalho.

Agradeço às pessoas mais importantes da minha vida: pais Shirley e Jaime, por terem dado esta oportunidade mostrando as possibilidades da vida, pelo incansável esforço durante estes anos, por toda a compreensão, apoio e amor incondicional. Não teriam feito nem a metade do que eu fiz sem vocês, são meus exemplos!

Aos meus irmãos Alan e Franciele, e às minhas “Hermanas”, Marcela e Marcella. A vocês, obrigada, por me ouvirem e aconselharem nos momentos de dificuldade e por me proporcionar momentos de alegria.

Ao meu querido Vinícius, por suas eternas palavras de incentivos que me fizeram sentir segura, confortável e feliz sempre ao seu lado.

As minhas queridas avós, Francisca e Maria, por me manterem em seus corações e em suas preces.

Quero agradecer também aos meus amigos que fiz nessa jornada, dias de muito trabalho, alegria, festa e diversão, obrigada pelo companherismo.

E por fim a todos que contribuíram para que esta fase fosse concluída.

“Muito obrigada!”

RESUMO

ANDRADE, Francine C. de. **Compostagem como alternativa de disposição final dos resíduos sólidos orgânicos gerados na Embrapa Soja**. 2015. 98 p. Trabalho de Conclusão de Curso - (Bacharelado em Engenharia Ambiental). - Curso de Engenharia Ambiental - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

Com a ampliação da produção agrícola há uma relação de crescimento na geração de resíduos sólidos, sendo necessária uma destinação final adequada. Com o objetivo de avaliar o processo de compostagem de resíduos orgânicos gerados na Embrapa Soja, foram comparadas em dois sistemas: controlado (aeração e irrigação) e natural a eficácia na estabilização da matéria orgânica. Foram testados os seguintes tratamentos: T11 - Resíduos da coleta seletiva + grãos de soja com palha de soja (controlado); T12 - Resíduos da coleta seletiva+ grãos de soja com palha de soja (natural); T21 - Resíduos da coleta seletiva + grãos de soja com palha de trigo (controlado); T22 - Resíduos da coleta seletiva + grãos de soja com palha de trigo (natural); T31 - Resíduos da coleta seletiva + grãos de soja com poda de árvore (controlado); T32 - Resíduos da coleta seletiva + grãos de soja com poda de árvore (natural); T41 - Resíduos da coleta seletiva + grãos de soja + mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore (controlado); T32 - Resíduos da coleta seletiva + grãos de soja + mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore (natural). O processo de compostagem foi conduzido em leiras por 120 dias, realizados revolvimentos e regas quinzenalmente nos tratamentos controlados. As leiras foram monitoradas quanto ao teor de umidade, pH, condutividade elétrica, carbono total, nitrogênio total, relação C/N, redução de peso e volume. Analisou-se a qualidade final dos compostos gerados de acordo com a IN N° 25/2009 do MAPA. A umidade apresentou-se ideal nos tratamentos controlados e abaixo nos naturais. Os valores de pH estiveram sempre próximo do neutro a alcalino em todos os tratamentos, com valores finais variando entre 7,7 a 8,5. Houve diminuição da condutividade elétrica em todos os tratamentos para valores toleráveis à adubação. Os tratamentos controlados apresentaram maiores valores de nitrogênio ao final compostagem. A relação C/N, diminuiu em todos os tratamentos alcançando valores de 7,5/1 a 8,9/1, indicando compostos maturados. Houve redução de massa e volume nos tratamentos, com destaque aos tratamentos T31 e T32 nos quais as reduções de massa seca foram semelhantes estatisticamente. Ao final da compostagem os compostos atenderam aos limites da IN N° 25/2009 do MAPA a pH, N, C, relação C/N, Mn e Ca. Os demais nutrientes estiveram abaixo dos limites estabelecidos pela normativa.

Palavras-chave: resíduos da coleta seletiva, grãos de soja, palha de trigo, palha de soja, poda de árvores.

ABSTRACT

ANDRADE, Francine C. de. **Composting as a disposal alternative of organic solid waste generated at Embrapa Soja**. 2015. 98 p. Course Conclusion work - (Bachelor of Environmental Engineering). - Environmental Engineering Graduation, Federal Technological University of Parana (UTFPR). Londrina, 2015.

With the expansion of agricultural production, there has been a growing relation in the generation of solid waste, requiring proper disposal. In order to assess the organic waste composting process generated at Embrapa Soja, two systems have been compared: controlled (aeration and irrigation) and natural efficacy in stabilizing organic matter. The following treatments were tested: T11 - Waste selective collection + soybeans with soy straw (controlled); T12 - Waste selective collection + soybeans with soy straw (natural); T21 - Waste selective collection + soybeans with wheat straw (controlled); T22 - Waste selective collection + soybeans with wheat straw (natural); T31 - Waste selective collection + soybeans with tree pruning (controlled); T32 - Waste selective collection + soybeans with tree pruning (natural); T41 - Waste selective collection + soybean + mixture of wheat straw with soy and tree pruning (controlled); T32 - Waste selective collection + soybean + mixture of wheat straw with soy and tree pruning (natural). The composting process was conducted in windrows for 120 days held-turnings and watering every two weeks in controlled treatments. The piles were monitored in their humidity content, pH, electrical conductivity, total carbon, total nitrogen, C/N ratio, reduced weight and volume. The final quality of the generated compounds according to NI N° 25/2009 of the MAPA has been analyzed. Moisture it was ideal in controlled treatments and below in the natural ones. The pH values were always near neutral to basic in all treatments, with final values ranging from 7.7 to 8.5. There was a decrease of electrical conductivity in all treatments to tolerable values to fertilization. Controlled treatments had higher nitrogen values at the end of the composting. The C/N ratio decreases in all treatment reaching values of 7.5/1 to 8.9/1, indicating matured compounds. There was a reduction in mass and volume in treatment, especially the T31 and T32 treatment in wich the dry matter reductions were statistically similar. At the end of composting compounds met the limits of NI N° 25/2009 of MAPA pH, N, C, C/N, Mn and Ca. The other nutrients were below the limits established by regulations.

Keywords: waste selective collection, soybeans, wheat straw, soybean straw, pruning trees.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Unidades da Embrapa no Brasil.....	19
Figura 2 - Principais produtos exportados em 2013.	20
Figura 3 - Produção, área e produtividade da Soja em 1987/90 a 2015.	21
Figura 4 - Mapa da produção em mil toneladas de soja nos estados brasileiros no ano de 2014.	21
Figura 5 - Quantidade de resíduos sólidos gerados no Brasil nos anos: 2012 e 2013.	24
Figura 6 - Estimativa de geração per capita de resíduos sólidos nas regiões do Brasil, nos respectivos anos: 2012 e 2013.	24
Figura 7 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil.	25
Figura 8 - Hierarquia das ações no gerenciamento de resíduos sólidos.	25
Figura 9 - Porcentual de resíduos agroindustriais das treze principais culturas.	27
Figura 10 - Curva padrão da variação da temperatura dos resíduos durante o processo de compostagem.	30
Figura 11 - Variação típica de temperatura em processo de compostagem.	31
Figura 12 - Variação do pH na leira durante o processo de compostagem.	37
Figura 13 - Localização da Embrapa Soja em Londrina - PR, com destaque para composteira.	41
Figura 14 - Amostras dos resíduos sólidos orgânicos.	44
Figura 15 - Esquema experimental utilizado.	44
Figura 16 - Foto das leiras montadas.	46
Figura 17 - Primeiro dia de montagem da leira.	47
Figura 18 - Segundo dia de montagem da leira.	47
Figura 19 - Terceiro e último dia de montagem da leira.	48
Figura 20 - Monitoramento da temperatura nos pontos de medição.	49
Figura 21 - Tambor utilizado para medir volume e balança na aferição das massas.	50
Figura 22 - (a) Amostragem do composto por quarteamento ABNT NBR 10007 (2004), (b) armazenamento das amostras.	51
Figura 23 - (a) Balança, (b) estufa ventilada a 105oC e (c) dessecador respectivamente.	52
Figura 24 - Moagem e peneiramento das amostras.	53
Figura 25 - (a) Balança analítica e cápsula de estanho (b) aferição do valor da pesagem.	54
Figura 26 - Analisador de TOC (Carbono Orgânico Total).	54
Figura 27 - Balança analítica (e) e tubos de Teflon® em processo de pré-digestão (d)	55
Figura 28 - Microondas; Ramp; Hold e resfriamento.	56
Figura 29 - Solução extraída em tubos volumétricos.	57
Figura 30 - Comportamento das temperaturas médias e máxima, no interior das leiras e precipitação ao longo dos 120 dias do processo de compostagem.	61
Figura 31 - Redução da relação C/N nos tratamentos.	74
Figura 33 - Redução de massa e volume no final do processo de compostagem. ...	76
Figura 33 - Descaracterização visual dos tratamentos natural e controlado.	80

Figura 34 - Descaracterização do composto final nos tratamentos controlado (T21) e natural (T22).....	81
Figura 35 - Visualização do composto final nos tratamentos controlado (T31) e natural (T32).....	82
Figura 36 - Composto final dos tratamentos controlado (T41) e natural (T42).....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperaturas mínimas, ótimas e máximas para a atividade microbiológica.	32
Tabela 2 - Relação carbono/nitrogênio dos principais resíduos orgânicos	35
Tabela 3 - Especificação dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos	40
Tabela 4 - Garantias mínimas dos macro e micronutrientes para fertilizantes orgânicos.....	40
Tabela 5 - Variáveis monitoradas durante o processo de compostagem.....	49
Tabela 6 - Caracterização físico-químicas dos resíduos orgânicos compostados	58
Tabela 7 - Relação C/N inicial nas montagens das leiras.	60
Tabela 8 - Valores médios de umidade em porcentagem ao longo da compostagem nos oito tratamentos estudados	64
Tabela 9 - Valores médios de pH nos tratamentos controlado e natural ao longo dos 120 dias de compostagem.	65
Tabela 10 - Valores médios da condutividade elétrica (mS.cm-1) nos tratamentos controlado e natural ao longo dos 120 dias de compostagem.	66
Tabela 11 - Valores médios de carbono total, nitrogênio total e relação C/N nos tratamentos controlado e natural.....	68
Tabela 12 - Comparação dos valores médios de umidade, pH, condutividade elétrica, C, N e relação C/N entre os oito tratamentos.	71
Tabela 13 - Valores de massa e volume no período de início e final do processo de compostagem nos oito tratamentos.	75
Tabela 14 - Média e desvio padrão das características físico-químicas dos compostos finais, de acordo com os valores mínimos exigidos pela Instrução Normativa N° 25:2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para fertilizantes orgânicos.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APWA-PW	Solid Wastes of American Public Works Association
B	Boro
C	Carbono
C/N	Carbono/nitrogênio
Ca	Cálcio
Cl	Cloro
Co	Cobalto
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CS	Coleta Seletiva
Cu	Cobre
DF	Distrito Federal
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fe	Ferro
GO	Goiás
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
HNO ₃	Ácido Nítrico
IAC	Instituto Agrônômico
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry
IPEA	Pesquisa Econômica Aplicada
K	Potássio
MAPA	Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento
MG	Minas Gerais
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
MS	Mato Grosso do Sul
N	Nitrogênio
Na	Sódio
NH ₂	Nitrogênio amídico
NH ₃	Nitrogênio amoniacal
NH ₄ ⁺	Íon Amônia
Ni	Níquel
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
P	Fósforo
PDCAAS	Score de aminoácidos corrigido pela digestibilidade
PGRS	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PR	Paraná
RNPR	Relative Net Protein Ratio
RS	Rio Grande do Sul
RSU	Resíduo Sólido Urbano
S	Enxofre
SDA	Secretária de Defesa Agropecuária
Si	Silício
SNPA	Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária
US-EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REFERÊNCIAL TEÓRICO	18
3.1	O PAPEL DA EMBRAPA NO DESENVOLVIMENTO DA AGROPECUÁRIA NO BRASIL	18
3.2	RESÍDUOS SÓLIDOS	23
3.2.1	Resíduos Sólidos Agroindustriais e reciclagem de nutrientes	26
3.3	COMPOSTAGEM E PRINCIPAIS FATORES QUE INFLUENCIAM NO PROCESSO	28
3.3.1	Temperatura	31
3.3.2	Aeração	33
3.3.3	Teor de umidade.....	34
3.3.4	Relação C/N	34
3.3.5	pH.....	36
3.3.6	Granulometria.....	38
3.4	MATURAÇÃO DO COMPOSTO E FERTILIZANTES ORGÂNICOS	38
4	MATERIAL E MÉTODOS	41
4.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	41
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS E DO EXPERIMENTO	42
4.2.1	Resíduos orgânicos gerados na Embrapa Soja	42
4.2.2	Experimento e tratamentos utilizados.....	44
4.2.3	Montagem das leiras	45
4.3	MONITORAMENTO DA COMPOSTAGEM	48
4.3.1	Temperatura, umidade e revolvimento	49
4.3.2	Redução de volume e massa	50
4.3.3	Análises físico-químicas	50
4.3.3.1	<i>Amostragem</i>	50
4.3.3.2	<i>Determinação de pH e condutividade elétrica</i>	51
4.3.3.3	<i>Umidade</i>	52
4.3.3.4	<i>Determinação de carbono total, nitrogênio total e relação C/N</i>	53
4.3.3.5	<i>Determinação de macronutrientes e micronutrientes</i>	55
4.4	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	57
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS COMPOSTADOS	58
5.2	TEMPERATURA	60
5.3	MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	63
5.3.3	Comparação entre os tratamentos controlado e natural.....	63
5.3.3.1	<i>Umidade</i>	63
5.3.3.2	<i>pH e Condutividade elétrica</i>	65
5.3.3.3	<i>Carbono total, Nitrogênio total e Relação C/N</i>	67
5.3.4	Comparação entre os tratamentos	69
5.4	REDUÇÃO DE MASSA E VOLUME.....	75
5.5	CARACTERÍSTICAS DOS COMPOSTOS FINAIS	77
5.6	DESCARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL	80

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	84
7	CONCLUSÃO.....	86
	REFERÊNCIAS.....	87
	APÊNDICE A	94

1 INTRODUÇÃO

A agropecuária colabora com a alimentação da população, abastecendo o mercado interno e, especialmente, o mercado externo. No Brasil trata-se de uma atividade econômica de suma importância, que contribui com 22,5% do PIB (Produto Interno Bruto) e 37% da força de trabalho (EMBRAPA, 2015).

Em decorrência do crescimento populacional há um aumento de produção no setor agropecuário e, vinculado a isto, práticas de expansão de fronteiras. Com iniciativas de adoção de novas tecnologias no processo produtivo, instituições como a Embrapa, fornecem um conjunto de técnicas, conhecimentos advindos de estudos e pesquisas que podem viabilizar este aumento da produção sem precisar aumentar áreas de cultivos.

Com a ampliação da produção agrícola há uma relação de crescimento na geração de resíduos sólidos nesta esfera, sendo gerados aproximadamente 290 milhões de toneladas de resíduos orgânicos por ano nas agroindústrias de base primária (IBGE, 2009). Desta forma, observa-se que a geração de resíduos inerente à atividade agropecuária é expressiva, ainda mais quando consideradas todas as etapas do processo: da produção ao consumidor final.

A Embrapa Soja é uma unidade com referência mundial no desenvolvimento de tecnologias para a cultura de soja. Atualmente, no empreendimento são gerados resíduos orgânicos de dois tipos: os resíduos agrícolas (resto de culturas e de material de pesquisa) e os resíduos orgânicos do próprio empreendimento, gerados na rotina de trabalho, os quais se assemelham à fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, por conter restos de frutas, alimentos e os resíduos do restaurante.

A Unidade ainda conta com um sistema de Coleta Seletiva e no gerenciamento interno dos resíduos, há coletas distintas para os resíduos orgânicos, recicláveis e rejeitos. Considerando que a Lei nº 12.305/2010, prevê a responsabilidade dos geradores de resíduos sólidos quanto às etapas do gerenciamento, que incluem a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010), desenvolver um sistema eficiente e de fácil manejo para o tratamento de resíduos orgânicos na

Embrapa Soja é de grande interesse, pois além de produzir um composto que pode ser utilizado na Unidade, ainda reduz os custos com a disposição final de resíduos.

A compostagem é considerada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em seu Artigo 3º, inciso VII, uma forma de destinação final ambientalmente adequada dos resíduos orgânicos (BRASIL, 2010). E se torna uma técnica promissora no tratamento para a posterior disposição final de resíduos orgânicos, visto que proporciona a estabilização da matéria orgânica e a eliminação de agentes patogênicos, transformando os resíduos em composto orgânico, que pode ser aplicado ao solo.

Desta forma, munir a Embrapa Soja de informações técnicas quanto aos procedimentos para a montagem e condução das leiras de compostagem foi à grande motivação para a realização desta pesquisa, visando ajudá-la a atender a um requisito legal. Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo aplicar a técnica de compostagem para o tratamento dos diversos resíduos orgânicos gerados na Unidade, bem como avaliar a eficiência do processo em estabilizar a matéria orgânica em dois sistemas: um que contou com o controle recomendado para o processo (aeração e umidade) e outro, ao natural.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o processo de compostagem de diferentes resíduos orgânicos gerados pela Embrapa Soja a fim de analisar a eficácia na estabilização da matéria orgânica, em dois sistemas: um que contou com o controle recomendado para o processo (aeração e umidade) e outro não, denominados, respectivamente, de “controlado” e “natural”.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar o comportamento dos parâmetros: temperatura, redução de volume e massa, pH, umidade, condutividade elétrica, nitrogênio total e carbono total ao longo do processo de compostagem nos dois sistemas propostos;
- Comparar o composto obtido nos sistemas controlada e natural quanto às características físicas e químicas;
- Caracterizar os compostos orgânicos finais em termos de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn); e,
- Verificar a viabilidade de aplicação em solo dos fertilizantes obtidos, comparando os resultados finais de pH, umidade, nitrogênio total, carbono orgânico total, relação C/N, macronutrientes e micronutrientes com as especificações e as tolerâncias da IN N° 25/2009, do Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA).

3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

3.1 O PAPEL DA EMBRAPA NO DESENVOLVIMENTO DA AGROPECUÁRIA NO BRASIL

O termo “agropecuária” é utilizado para designar de forma agrupada a pecuária e a agricultura. Trata-se de uma das primeiras atividades econômicas desenvolvidas no Brasil. Representada no setor primário de atividade econômica do país, ocupa uma área territorial de 330 milhões de hectares no Brasil, cerca de 40% da área territorial, segundo o último Censo Agropecuário decenal realizado em 2006 (IBGE, 2009).

Com o crescimento populacional, aliado ao aumento do consumo, houve a necessidade de ampliar a oferta de alimentos. Para isso foi necessário também proporcionar o aumento na produtividade agropecuária (VIEIRA, 2014).

Em um contexto histórico, a produção agropecuária esteve associada diretamente a práticas de expansão de fronteiras, a fim de abrir novas áreas para os cultivos. Porém, foi a partir da década de 90 que o aumento da produção começou a depender de adoção de novas tecnologias no processo produtivo, onde, para que fosse atingindo um índice alto de produtividade dependia-se de um conjunto de técnicas, conhecimentos advindos de estudos e pesquisas que pudessem viabilizar o aumento da produção (FREITAS, 2013).

Nesse sentido, nos últimos 20 anos cresceram as pesquisas e os estudos ligados ao aumento na produtividade agropecuária no Brasil e a instituição responsável por essas pesquisas é a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), que vem proporcionando o desenvolvimento da agricultura de precisão (EMBRAPA, 2015).

A Embrapa, criada em 26 de abril de 1973, vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e em conjunto com o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA), desenvolve inovação tecnológica focada na geração de conhecimento e tecnologia para um modelo de agricultura e pecuária tropical (EMBRAPA, 2015).

Conforme a Figura 1, atualmente, a Embrapa conta com 47 unidades de pesquisas distribuídas no território nacional (descentralizadas), 15 unidades centrais localizadas na capital do país, quatro laboratórios virtuais no exterior do país, com cerca de 2500 pesquisadores atuando no melhoramento da produção agrícola e pecuária. Toda essa inovação na agropecuária brasileira possibilitou ao cenário do agronegócio tornar o país um dos maiores produtores e exportadores de alimentos básicos do mundo (EMBRAPA, 2015).



Figura 1 - Unidades da Embrapa no Brasil.
Fonte: EMBRAPA (2015).

A Embrapa Soja, situada no município de Londrina-PR, conta com 311 colaboradores. Entre suas contribuições estão o desenvolvimento de cultivares adaptadas às regiões de baixas latitudes, o controle biológico de pragas, as técnicas de manejo e conservação do solo, entre outras. Sua contribuição histórica ao agronegócio da soja no Brasil coloca a unidade como referência mundial no

desenvolvimento de tecnologias para a cultura em regiões tropicais (EMBRAPA/SOJA, 2014).

Atualmente o Brasil está entre os maiores exportadores de produtos agropecuários do mundo, no qual a soja foi o principal produto exportado em 2013, conforme a Figura 2.

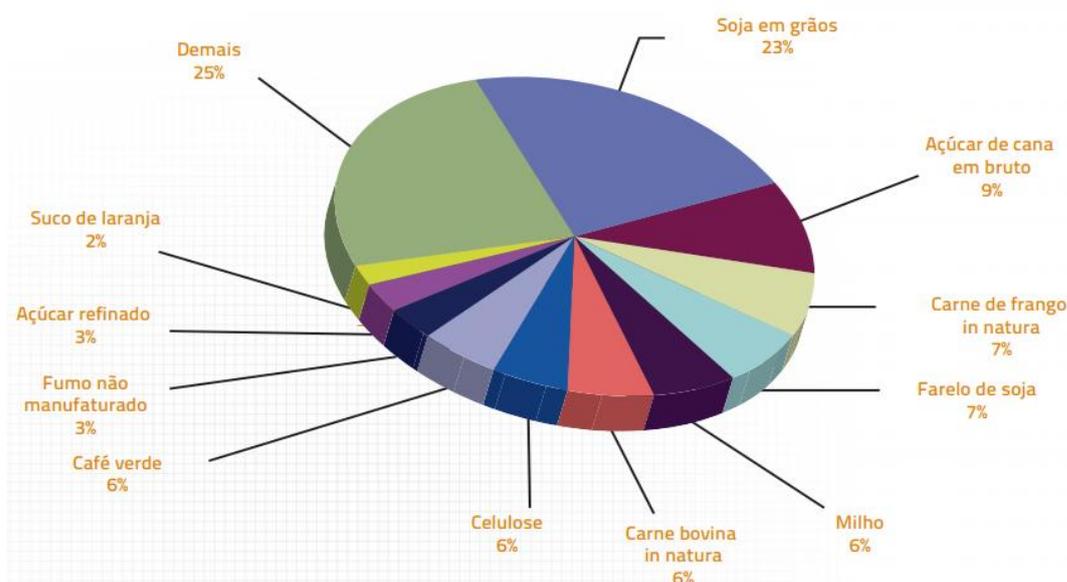


Figura 2 - Principais produtos exportados em 2013.

* Informações relativas a 2014 ainda não divulgadas pelo MAPA.

Fonte: EMBRAPA, 2015.

Na safra de soja de 2014/2015, foram produzidos cerca de 94 milhões de toneladas no mundo, o que o colocou o Brasil em condições de disputar a liderança mundial na produção da oleaginosa ao lado dos Estados Unidos (EMBRAPA, 2015).

De 1970 para 2015 sua produtividade média passou de 1.144 kg.ha⁻¹ para 2.994 kg.ha⁻¹, representando um aumento de 162%. Em 40 anos, a produção cresceu 63 vezes, enquanto a área cultivada aumentou apenas 24 vezes (EMBRAPA, 2015). Na Figura 3, pode-se observar a evolução da produção da soja ao longo de 40 anos no Brasil.

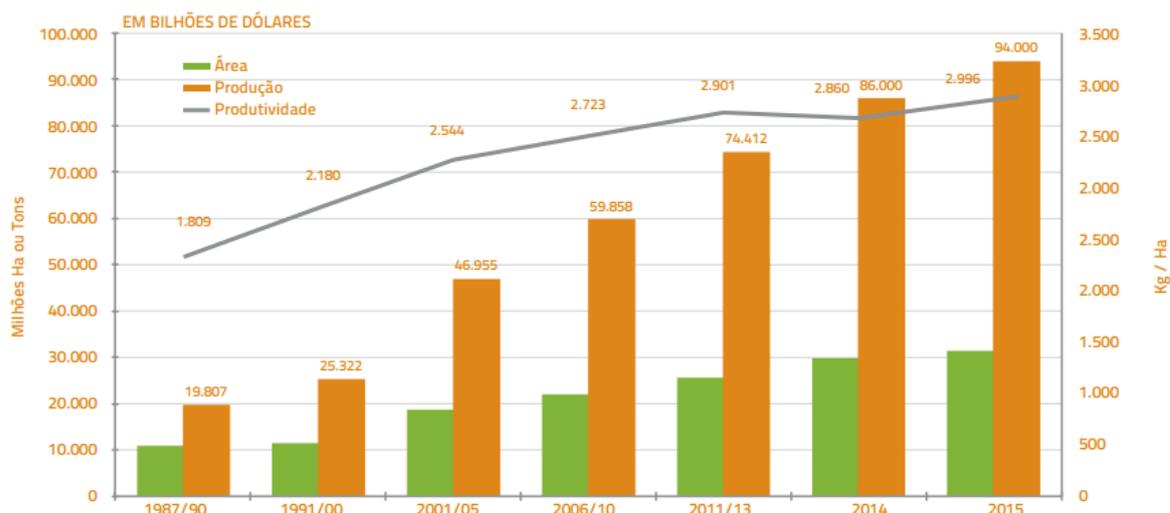


Figura 3 - Produção, área e produtividade da Soja em 1987/90 a 2015.
Fonte: EMBRAPA, 2015.

Atualmente, o estado do Paraná ocupa o segundo lugar em produção nacional de soja, com 15,4 mil toneladas, atrás apenas do maior produtor de soja nacional: o estado do Mato Grosso (27 mil toneladas) (EMBRAPA, 2015). Na Figura 4, é possível ver as regiões brasileiras produtoras da soja.

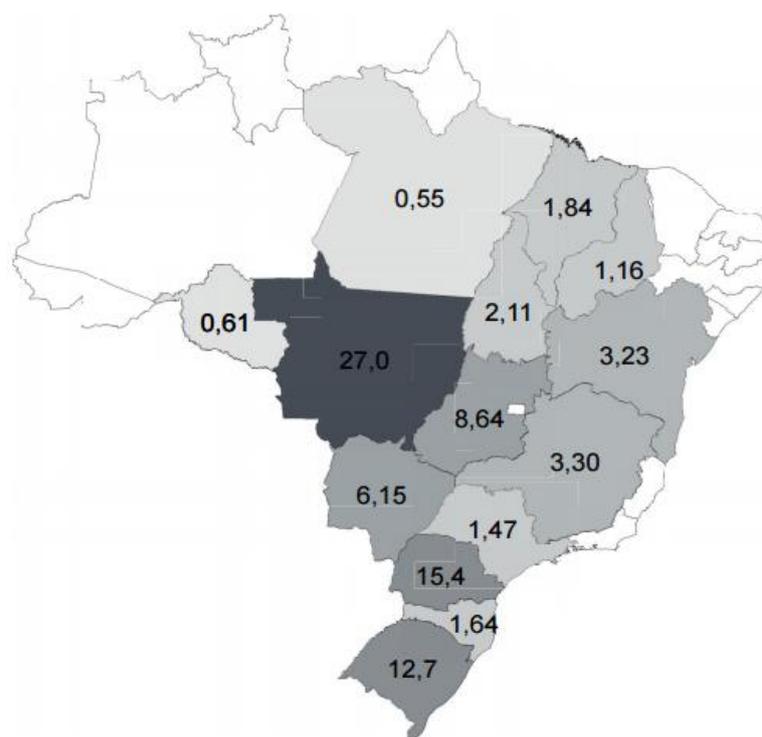


Figura 4 - Mapa da produção em mil toneladas de soja nos estados brasileiros no ano de 2014.
Fonte: EMBRAPA, 2015.

Além da soja, a Embrapa Soja também mantém um programa de melhoramento de trigo para a região Centro-Sul do Brasil, abrangendo os Estados do Paraná, São Paulo, Santa Catarina e Sul do Mato Grosso do Sul. Este programa é desenvolvido em parceria com a Embrapa Trigo (Passo Fundo - RS) e com o Instituto Agronômico do Paraná (Iapar).

A produção anual brasileira de trigo oscila entre 5 e 6 milhões de toneladas. O produto é cultivado nas regiões sul (RS, SC e PR), sudeste (MG e SP) e centro-oeste (MS, GO E DF). O consumo anual no país tem se mantido em torno de 10 milhões de toneladas. O desenvolvimento de pesquisas específicas voltadas ao setor contribuiu para o crescimento médio de 2,1% ao ano, resultando no aumento da produtividade de 1. kg.ha⁻¹ em 1973 para 2.207 kg.ha⁻¹ em 2014 (EMBRAPA, 2015).

A Unidade também é responsável pela pesquisa de girassol para todo o território nacional. Em relação à produtividade de girassol, enquanto a média mundial é de cerca de 1.300 kg.ha⁻¹, no Brasil, mesmo com a expansão desordenada da cultura, falta de zoneamento agroclimático e fitossanitário, além da assistência técnica pouco capacitada, a produtividade média está em torno de 1.500 kg.ha⁻¹, acima da média mundial. Contudo, em condições de campo e em regiões com mais tradição de cultivo, a produtividade média alcançou 2.000 kg.ha⁻¹ (EMBRAPA/SOJA, 2014).

Considerando que o girassol é uma cultura de segunda safra (ou safrinha) no Brasil, baseado nas produtividades alcançadas, estima-se que o país poderá se tornar um dos protagonistas na cultura, não só em produtividade, mas também em área cultivada (EMBRAPA/SOJA, 2014).

Além disso, a Embrapa Soja participa de atividades de pesquisa de outras unidades, como a Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas – MG) e a Embrapa Arroz e Feijão (Santo Antônio de Goiás – GO), onde são realizadas pesquisas com milho e feijão para o Estado do Paraná.

3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo a NBR 10.004/2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, que dispõe sobre a classificação dos resíduos sólidos, entende-se como resíduos sólidos:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

Para efeitos de Lei, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, estabelecida na Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), que classifica os resíduos quanto à origem, podendo ser resíduos: domiciliares, de limpeza pública, industriais, de serviço de saúde, de construção civil, etc. A NBR 10.004/2004 (ABNT, 2004) ainda classifica os resíduos sólidos em perigosos e não perigosos, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação dos resíduos sólidos segundo a periculosidade

Resíduos		
Perigosos (classe I)	Não perigosos (classe II)	
	Não inertes (classe II A)	Inertes (classe II B)
<p>Aqueles que apresentam periculosidade por possuírem:</p> <ul style="list-style-type: none"> • inflamabilidade; • corrosividade; • reatividade; • toxicidade e/ou • patogenicidade <p>Anexos A ou B</p>	<p>Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I ou classe II B. Podem ter propriedades, tais como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • biodegradabilidade; • combustibilidade ou • solubilidade em água <p>Anexo H</p>	<p>Resíduos que, quando amostrados e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água (cor, turbidez, dureza e sabor).</p> <p>Anexo G</p>

Fonte: Adaptada de ABNT NBR 10004:2004.

A produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) tem aumentado anualmente. Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos de 2013, apresentado pela Abrelpe, nos anos de 2012 e 2013 (Figura 5), houve um acréscimo de 4,1% na quantidade total gerada no país (ABRELPE, 2013).

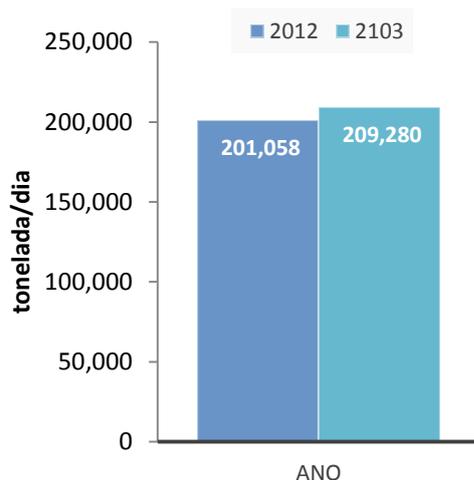


Figura 5 - Quantidade de resíduos sólidos gerados no Brasil nos anos: 2012 e 2013.
 Fonte: Adaptado de Abrelpe (2013, p. 41).

A geração per capita de RSU (Figura 6) revelou um aumento inferior a meio ponto percentual no mesmo período (ABRELPE, 2013).

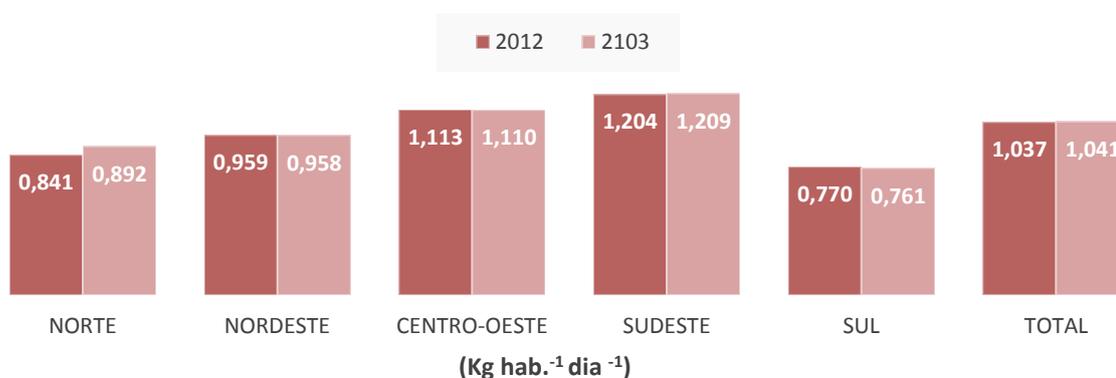


Figura 6 - Estimativa de geração per capita de resíduos sólidos nas regiões do Brasil, nos respectivos anos: 2012 e 2013.
 Fonte: Adaptado de Abrelpe (2013, p. 41).

Segundo o relatório de pesquisa realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012) sobre resíduos sólidos urbanos, a média simples da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos em 93 municípios brasileiros (Figura 7), revelou que a maior porcentagem dos RSU constituem-se de matéria orgânica.

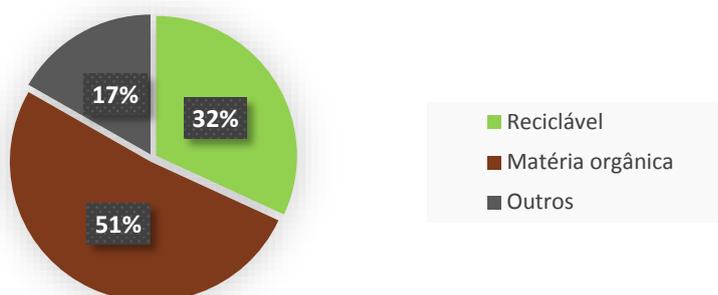


Figura 7 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil.

Fonte: Adaptado de IPEA (2012, p. 36).

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) proíbe o lançamento in natura a céu aberto ou queima sem licenciamento como disposição final dos resíduos sólidos. Para tanto, prevê no Art. 9º ações para a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos, segundo as prioridades apresentadas na Figura 8.

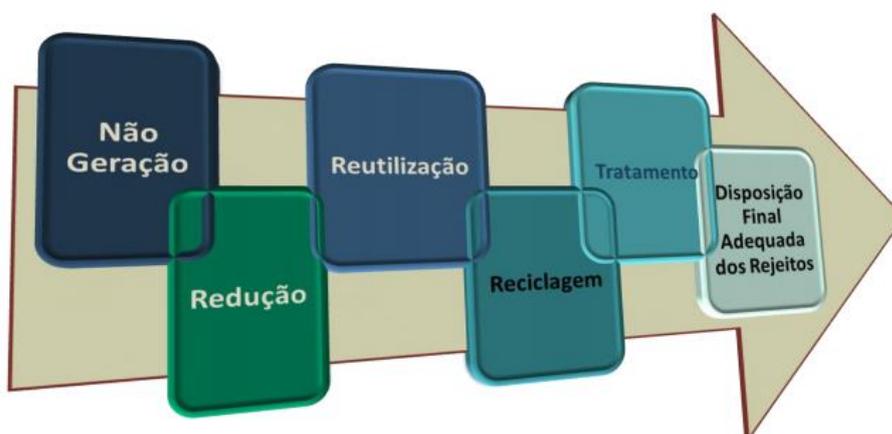


Figura 8 - Hierarquia das ações no gerenciamento de resíduos sólidos.

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2011).

Observa-se que deve ser seguida uma escala de prioridades. Inicialmente, deve-se evitar a geração nas diversas atividades (não geração); caso não seja possível, é preciso tentar diminuir a geração destes resíduos (redução), bem como reaproveitar e reprocessar os resíduos servindo como fonte de matéria-prima para outras atividades produtivas (reutilização e reciclagem); e então aplicar técnicas e tecnologias limpas para o tratamento adequado dos resíduos (tratamento adequado dos resíduos sólidos). Só por último, aos resíduos que não possuem tecnologias economicamente viáveis para tratamento, denominados de rejeitos, terão como disposição final os aterros sanitários (BRASIL, 2010).

Na tentativa de equacionar a problemática no gerenciamento de resíduos sólidos, vários métodos de tratamento, disposição e destinação ambientalmente adequada foram e vem sendo pesquisados em todo mundo, destacando-se a compostagem, os aterros sanitários, a recuperação e aproveitamento energético por incineração, a solidificação, entre outros, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, bem como minimizar os impactos ambientais (INÁCIO e MILLER, 2009; BRASIL, 2010).

3.2.1 Resíduos Sólidos Agroindustriais e reciclagem de nutrientes

Conforme dados do IBGE (2009), foram gerados 291,1 milhões de toneladas de resíduos sólidos nas agroindústrias, associadas às treze culturas de maior área cultivada no Brasil. Na Figura 9 é possível observar o percentual de resíduos sólidos gerados nessas agroindústrias de base, não sendo estimada a parcela de resíduos orgânicos gerados nas atividades de cultivo e colheita da produção de campo (IPEA, 2012).

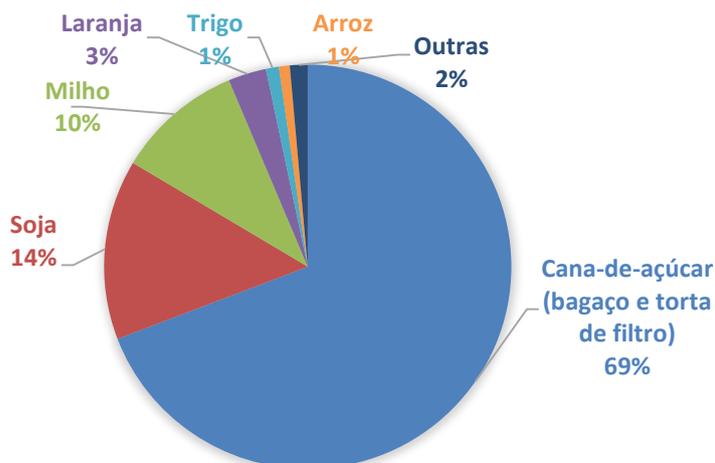


Figura 9 - Porcentual de resíduos agroindustriais das treze principais culturas.
 Fonte: Adaptado do IPEA (2012, p. 13).

No Brasil, as agroindústrias de soja representam a segunda posição na geração de resíduos orgânicos. Conforme Matos (2005) estima-se que a cultura de soja produza cerca de 2700 toneladas de resíduos para cada 1000 toneladas de grãos processados. Assim, pode-se considerar que no processamento da cultura da soja são gerados 73% de resíduos. Vale ressaltar que o plantio direto permite a parcela dos resíduos ficar em campo, ao passo que instituições de pesquisa as plantas são trilhadas fora do campo e portanto gerando-se uma proporção de resíduos expressiva.

A soja (*Glycine max L.*) é uma das principais fontes de proteína e óleo vegetal do mundo, sendo utilizada na alimentação humana e animal por milênios. Segundo os índices RNPR (*Relative Net Protein Ratio*) e PDCAAS (escore de aminoácidos corrigido pela digestibilidade), a qualidade da proteína do resíduo de soja é similar à do grão integral (valores protéicos de 87% e 85%) (EMBRAPA/SOJA, 2014).

O trigo (*Triticum aestivum, L. Monocotyledonae, Gramínae.*) é uma gramínea de ciclo anual, cultivada durante o inverno, consumida em forma de farinha ou ração animal (EMBRAPA/SOJA, 2014). O trigo fornece cerca de 20% das calorias provenientes de alimentos consumidos pelo homem e possui uma proteína chamada glúten, não encontrada em outros grãos, o que faz do trigo componente indispensável na alimentação humana (ARAÚJO et al., 2007). Porém,

diante da necessidade da produção deste grão, os resíduos das agroindústrias de trigo representam uma pequena parcela.

Os impactos ambientais causados pelos resíduos do setor agropecuarista podem ser positivos, uma vez que podem ser convertidas em adubo orgânico pelo processo de compostagem ou como fonte de energia renovável. A utilização desses resíduos para a adubação permite a recuperação de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), além de contribuir, através da adição de matéria orgânica ao solo, para melhorar a sua estrutura física e a sua capacidade de absorção de água e de fornecimento de nutrientes para as plantas, aumentando a produtividade (IPEA, 2012).

Entretanto, caso esses resíduos não sejam bem manejados, tratados e dispostos corretamente, possuem alto potencial de gerar impactos negativos, provocando contaminação do meio ambiente, bem como riscos à saúde humana (BROLLO; SILVA, 2001).

3.3 COMPOSTAGEM E PRINCIPAIS FATORES QUE INFLUENCIAM NO PROCESSO

De acordo com Kiehl (1985), durante o século XX, na Europa, teve-se a idéia de preparar amontoados de restos vegetais e dejetos animais deixando-os se decomporem naturalmente para obtenção de um adubo orgânico. Este processo foi chamado de “nitreira”, haja visto que o nitrogênio orgânico presente no resíduo agropecuário por decomposição natural transforma-se em nitrogênio amoniacal e finalmente em nitrato.

Os nativos na Índia também se utilizavam dos resíduos agrícolas para obtenção de fertilizantes orgânicos, porém sem uma técnica especializada. Foi então, no início do século XXI, entre os anos de 1925 e 1930, que o fitopatologista inglês, Sir. Albert Howard desenvolveu, a partir do método empírico indiano, uma técnica para obtenção de compostos orgânicos, a qual ficou conhecida mundialmente como método “Indore” (EHLERS, 1999). Já no Brasil o primeiro diretor do Instituto Agrônomo (IAC), Dafert Wilhelm, em meados do ano de 1888,

induziu os fazendeiros a produzirem os seus próprios compostos a partir de dejetos animais.

As palavras “compostar” e “compostagem” derivaram do vocabulário inglês *compost*, indicando a ação ou ato de preparar um adubo. Kiehl (1985) definiu a compostagem como “uma técnica idealizada para se obter rapidamente e em melhores condições a desejada estabilização da matéria orgânica”.

Para Inácio e Miller (2009) existem várias definições para compostagem, variando conforme o enfoque: microbiológico, agrônômico ou de engenharia ambiental, porém todas elas destacam as características aeróbica e termofílica do processo:

A compostagem é a decomposição biológica e estabilização de substratos orgânicos, sob condições que permitam o desenvolvimento de temperaturas termófilas como um resultado do calor fornecido biologicamente, para produzir um produto final que é estável, livre de agentes patógenos e sementes de planta, e pode ser benéficamente aplicado ao solo (HAUG, 1993).

Por se tratar de um processo biológico, Kiehl (2004), classifica o processo de compostagem em três fases (Figura 10), que estão relacionadas com as atividades metabólicas microbianas nas faixas ótimas de temperatura:

- I. Fase inicial, que é rápida e também chamada de fitotoxicidade ou de composto cru ou imaturo: predominam microrganismos psicrófilos (10 a 20°C) e mesófilos (20 a 45°C) como bactérias e fungos produtores de ácidos;
- II. Fase ativa ou bioestabilização: população predominante de actinomicetos, bactérias e fungos termófilos (45 a 65°C);
- III. Fase de maturação ou humificação: indica a finalização do processo e acontece a mineralização de determinados componentes da matéria orgânica. Nesta fase predominam fungos e bactérias mesófilos; também podem ser encontrados protozoários, nematóides, insetos etc.

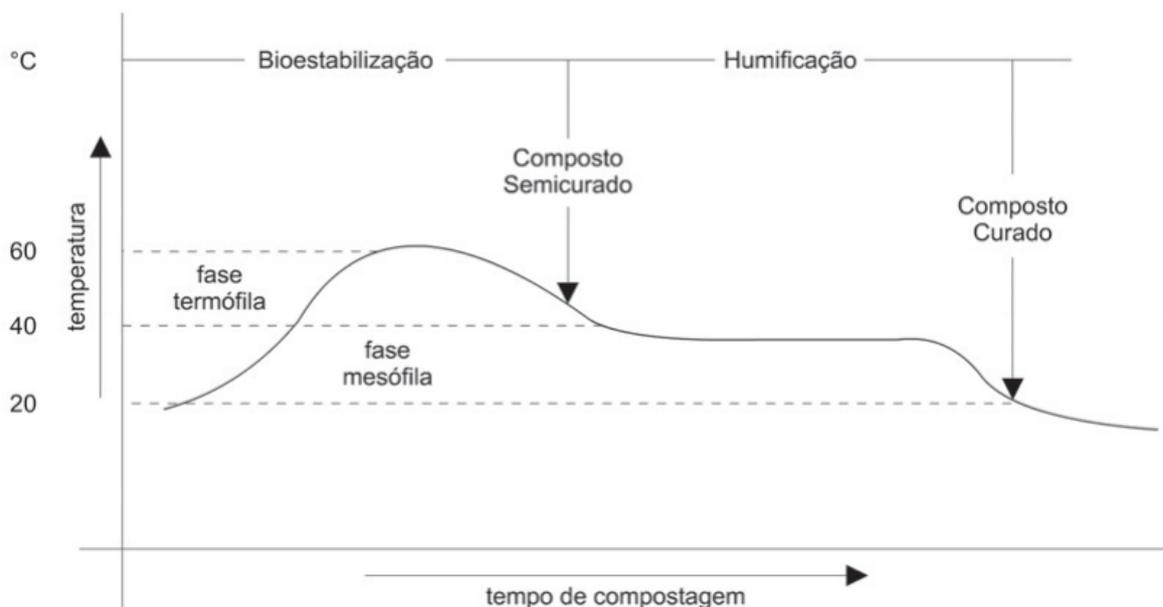


Figura 10 - Curva padrão da variação da temperatura dos resíduos durante o processo de compostagem.
 Fonte: Kiehl (2004).

Segundo Pereira Neto (2007) os principais microrganismos envolvidos no processo de compostagem são: as bactérias, os fungos, os protozoários e os actinomicetos.

Das bactérias incluem-se as eubactérias utilizadas para síntese proteica e as *archaeobacterias* que agem na iniciação dessa síntese. De uma forma geral, são responsáveis pela quebra inicial da matéria orgânica gerando e liberando calor no processo. Já os fungos são bastante eficientes em altas temperaturas e degradação de compostos carbonáceos (celulose e lignina), pois utilizam da matéria orgânica sintetizada pelas bactérias como fonte de sua energia (PEREIRA NETO, 2007).

Além dos microrganismos citados acima, existem os protozoários que vivem em meios de grande umidade e adquirem energia através da reação de oxidação-redução, alimentando-se de pequenas partículas orgânicas (AZEVEDO, 1997). Há ainda os que desempenham papel importante: os actinomicetos (bactérias que apresentam algumas características de fungos), pois degradam substâncias de difícil decomposição não decompostas pelas bactérias e fungos. Estes microrganismos se desenvolvem em ambientes com altas temperaturas e baixos teores de água (OLIVEIRA, 2003).

As condições em que os microrganismos se encontram influenciam a velocidade e a eficiência na degradação da matéria orgânica (KIEHL, 1985). Para isso, os principais fatores que influenciam o processo de compostagem são: temperatura, umidade, aeração, pH, relação C/N e granulometria.

3.3.1 Temperatura

A temperatura é um dos principais parâmetros que indicam o funcionamento do processo de compostagem, pois a produção de calor mostra que está ocorrendo a degradação da matéria orgânica pelos microrganismos (MALHEIROS, 1996; VALENTE et al., 2009; PUYUELO et al., 2010). Na Figura 11 observa-se o comportamento típico da temperatura durante o processo de compostagem.

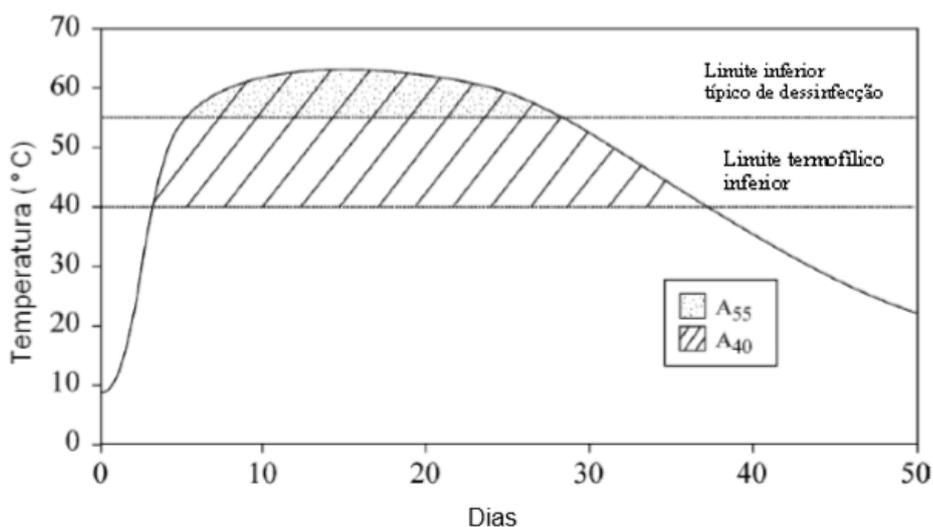


Figura 11 - Variação típica de temperatura em processo de compostagem.
Fonte: MASON; MILKE (2005).

Nas primeiras horas do processo, a massa orgânica encontra-se em temperaturas menores que a ambiente e, portanto, em geral, se encontra em uma faixa mesófila de 25°C a 40°C (KIEHL, 1985). Conforme estudo realizado por Pereira et al. (2013), nas primeiras 24 horas da montagem acontece na leira a

elevação da temperatura para faixa de 40°C a 55°C, fase chamada de termófila, pois as atividades microbianas se intensificam, consomem açúcares e amidos, reagindo e liberando calor e conseqüentemente elevando a temperatura no interior da leira, a qual pode atingir 70°C ou mais (KIEHL, 1985). Para Malheiros (1996), esse aumento de temperatura se deu a partir do segundo ao quarto dia do início do processo.

Segundo Fernandes e Silva (1999) esta elevação da temperatura se faz necessária para eliminação de microrganismos patogênicos e, manter o controle da temperatura na faixa de 55°C a 65°C, garante uma máxima intensidade da atividade microbiana. Se as temperaturas se encontrarem acima de 65°C, poderá haver destruição da maioria dos microrganismos, incluindo aqueles que são responsáveis pela decomposição (OLIVEIRA; SARTONI; GARCEZ, 2008).

Em estudo realizado por Tiquia e Tam (2002) os compostos atingiram temperaturas ambiente aos 128 dias. Já para Pereira et al. (2013), o composto perdeu calor e retornou à fase mesófila, após o 40º dia. Leal et al. (2011) estudando a compostagem de capim elefante e crotalária, observaram que a redução da temperatura se deu a partir do 50º dia. Segundo os autores, quando os compostos atingirem valores médios de temperatura próximos à ambiente é um indicativo de estabilização da matéria orgânica nos compostos.

De maneira geral, certos grupos de microrganismos têm faixa de temperatura ótima de desenvolvimento e a manutenção de aeração e o monitoramento da temperatura são importantes, para não provocar redução da população e da atividade metabólica (BRITO et al., 2008).

De acordo com estudos realizados pelo Institute for Solid Wastes of American Public Works Association (APWA - PW) (1970), as temperaturas que identificam as faixas ideais para a eficácia da atividade bacteriana durante o processo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Temperaturas mínimas, ótimas e máximas para a atividade microbiológica.

Bactéria	Mínima (°C)	Ótima (°C)	Máxima (°C)
Mesófila	12 a 25	25 a 40	43
Termófila	25 a 45	50 a 55	85

Fonte: APWA – PW (1970).

3.3.2 Aeração

Costa (2005) e Valente et al. (2009) explicam que a aeração no processo de compostagem pode ser feita de modo natural, de maneira forçada (insuflação de oxigênio no interior da leira), ou através de revolvimentos. O revolvimento por sua vez, pode ocorrer de forma manual, com auxílio de ferramentas (enxadas, pás etc.) ou mecanizada (equipamentos tratorizados), o que possibilita a homogeneização da massa em decomposição, pois mistura os resíduos ricos em carbono com aqueles ricos em nitrogênio.

Costa et al. (2005) avaliaram o processo de compostagem em resíduos da indústria de desfibrilação de algodão em dois sistemas: com e sem aeração e concluíram que a intensificação dos revolvimentos nas leiras diminuiu o tempo de compostagem, uma vez que a presença de oxigênio na massa faz aumentar a velocidade de oxidação, conseqüentemente acelerando a degradação da matéria orgânica, além de fornecer oxigênio para garantia da atividade microbiana.

Por outro lado, pode representar aumento nos custos com mão-de-obra e tornar a atividade inviável economicamente, embora a diminuição do tempo de compostagem com a realização de revolvimentos permita dimensionar área menor para o pátio de compostagem (COSTA et al., 2005).

Zhu et al. (2004) avaliaram a influência de três sistemas de aeração (ativa, passiva e natural) nas características físico-químicas de compostagem da mistura de dejetos sólidos de suínos e casca de arroz. Os resultados indicaram que para a variável temperatura, houve um aumento significativo, quando foi utilizada a aeração forçada. Para as demais características como o pH, o C, o N, a relação C/N e a matéria orgânica, não houve diferenças significativas entre os três sistemas.

Para Pereira Neto (2007) no interior das leiras a disponibilidade de oxigênio é encontrada em concentrações tão pequenas, que são incapazes de serem medidas por equipamentos. Portanto, Valente et al. (2009) afirmam que a ausência de revolvimentos não é um fator prejudicial para o desenvolvimento do processo. No entanto, se fazem necessários em algumas situações, quando se tem umidade excedente nas leiras e principalmente em situações em que as temperaturas são muito elevadas (>80°C) (BENITO et al., 2006).

3.3.3 Teor de umidade

Para Fernandes e Silva (1999) a presença de água é indispensável à atividade dos microrganismos, porém o excesso de umidade (>65%) diminui a presença de oxigênio na leira, pois os espaços vazios presentes são ocupados por água, uma vez que a matéria orgânica decomposta é hidrófila e possibilita forte interação das moléculas de água em sua superfície, saturando seus microporos e impedindo assim a livre passagem do oxigênio (ECO-CHEM, 2014). Richard et al. (2002), ainda dizem que este excesso cria áreas de anaerobiose, a lixiviação de nutrientes e resulta na decomposição lenta.

Por outro lado, baixos teores (<40%) podem inibir a atividade microbiana, diminuindo a taxa de estabilização da matéria orgânica (PEREIRA NETO, 1996).

Segundo Kiehl (2004) a umidade ideal para o processo de compostagem se encontra em uma faixa de 40 e 60%; para Crawford (1983), a umidade ideal está entre 50 e 70%; sendo um valor ótimo 55% para Pereira Neto (1996). Fernandes e Silva (1999), ainda citam que o ajuste de umidade pode ser feito por mistura de material ou ainda pela irrigação no processo.

3.3.4 Relação C/N

Carbono e nitrogênio são os nutrientes mais importantes para a atividade microbiana, pois se utiliza do carbono orgânico como fonte de energia e do nitrogênio para síntese protéica (reprodução e crescimento). Esta ação dos microrganismos em decompor a matéria orgânica resulta na geração de CO₂, água, substâncias húmicas e sais inorgânicos (KIEHL, 1985).

De uma maneira geral, o comportamento da concentração de carbono diminui ao longo do processo devido à perda de C na forma de CO₂, por meio da respiração microbiana. Experimentos realizados por Tiqua e Tam (2002), Costa et al. (2005), Rigolin (2013) e Sbizzaro (2013), confirmaram essa redução de carbono.

Simultaneamente durante o processo de compostagem o nitrogênio contido na matéria orgânica, passa a nitrogênio amídico (NH_2), depois a amoniacal (NH_3), nitrito (NO^{2-}) e, finalmente a nitrato (NO^{3-}) (KIEHL, 2008).

Rigolin (2013) em estudos de compostagem com resíduos orgânicos de uma indústria de oleoquímica percebeu decréscimo de 56,2% na quantidade de N. Contrapondo, Leal et al. (2011) em compostagem de crotalária com capim elefante, observaram aumento de N em todos os tratamentos durante o processo de compostagem, principalmente aos tratamentos com maiores proporções de crotalária. A explicação está atrelada ao fato de que resíduos leguminosos como a crotalária apresentam maiores teores de N do que outros resíduos palhosos, no caso o capim elefante.

Observa-se, portanto, que é significativo o controle da relação C/N para a compostagem, pois se faz uso para avaliar os níveis de maturação da matéria orgânica e seus efeitos no desenvolvimento microbiológico (SHARMA et al., 1997).

Materiais palhosos, folhas, galhos e troncos de árvores, sabugos, capins, papel e serragens possuem alta relação C/N, ou seja, são ricos em carbono. Enquanto materiais de média a baixa relação C/N, considerados nitrogenados, como tortas vegetais (mamona, algodão, amendoim, cana-de-açúcar), plantas leguminosas (feijão, soja, crotalária), dejetos e urina de origem animal, horti-fruti etc. (KIEHL, 1985; RICCI et al., 2008).

Na Tabela 2, apresenta-se a relação C/N de alguns resíduos sólidos orgânicos gerados na Embrapa Soja.

Tabela 2 - Relação carbono/nitrogênio dos principais resíduos orgânicos

Resíduos	Relação C/N	Fonte
Trigo (palha)	86/1	FERNANDES e SILVA (1999)
Trigo (casca)	56/1	KIEHL (1985)
Soja (palha)	51/1	ABREU et al. (2011)
Soja preta	16/1	SPAGNOLO et al. (2002)
Folhas trituradas de poda	35,5/1	BATTISTI (2011)
Serragem de madeira	865/1	KIEHL (1985)
Gramma de jardim	36/1	KIEHL (1985)
Poda de árvore	46/1	FERNANDES e SILVA (1999)
Resíduos urbanos	9,8/1	TEIXEIRA et al. (2000)

Kiehl (2004) determina uma relação inicial ótima de 30/1 para a compostagem, porém de acordo com a biodegradabilidade do resíduo para Fernandes e Silva (1999), este índice inicial pode variar entre 20 a 70, onde valores muito baixos acarretam a perda de nitrogênio por volatilização da amônia. Já os valores altos resultam na limitação da atividade microbiana, ou seja, maior será o tempo de degradação dos resíduos orgânicos. Inácio e Miller (2009) demonstraram este fato na decomposição de aparas de madeira (C/N = 300-500), que foi extremamente lenta, comparada com a de restos de verduras (C/N = 16), processo muito rápido.

Valente et al. (2009) comentam que para alcançar uma relação C/N adequada é necessário misturar diferentes resíduos orgânicos para que ocorra a estabilização ou a maturação dos resíduos orgânicos, o que está diretamente ligado à relação C/N inicial dos resíduos utilizados como matéria-prima.

Em um tempo maior de compostagem, Corrêa (1998) avaliou diferentes camas na criação de suínos, como casca de arroz, maravalha, sabugo de milho e serragem, e verificou que no alojamento dos animais, no primeiro lote, os materiais apresentaram, respectivamente, os seguintes valores para a relação C/N: 85/1; 513/1; 87/1 e 179/1, sendo que ao final de três lotes criados sobre as camas, os valores reduziram para 14/1; 15/1; 12/1 e 20/1, respectivamente.

Sbizzaro (2013) testou cinco tratamentos com misturas de dejetos ovino e bovino com palha de cana-de-açúcar submetidos a duas relações C/N iniciais: 30/1 e 19/1. Dos dois tratamentos submetidos à relação C/N inicial de 19/1 houve uma redução para 17/1. Já para os tratamentos com relação C/N inicial 30/1, houve redução para 24/1; 22/1 e 17/1, comprovando a estabilidade dos compostos.

3.3.5 pH

O pH característico de cada resíduo utilizado no processo de compostagem influenciará a dinâmica microbiana, onde diferentes espécies de microrganismos se adaptam e têm um bom desenvolvimento para decomposição da matéria orgânica nas diferentes faixas de pH (INÁCIO; MILLER, 2009).

Para efeito de interpretação prática, no processo de compostagem (Figura 12) os resíduos orgânicos, utilizados como matéria-prima na compostagem, são de natureza ácida, e pela intensa atividade microbiana (mesófilos) nos primeiros dias, o composto pode tornar-se mais ácido ainda, devido à formação de pequenas quantidades de ácidos minerais, que logo desaparecem, e dão lugar aos ácidos orgânicos; estes, à medida que vão se formando, reagem com as bases liberadas da matéria orgânica, gerando compostos neutros, indicando que o composto está bioestabilizado (KIEHL, 1985; VALENTE et al., 2009).

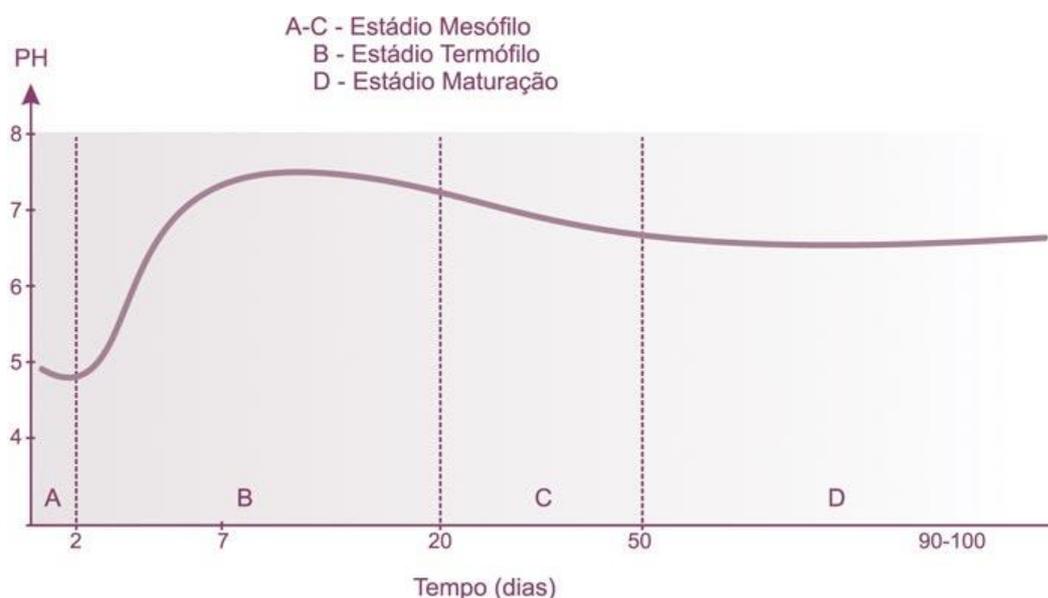


Figura 12 - Variação do pH na leira durante o processo de compostagem
Fonte: HOLANDA (2013).

Dessa forma o processo inicial terá reações químicas que irão regular esta acidez para gerar um composto final com pH na faixa de 7,0 a 8,5 (VALENTE et al., 2009). Fernandes e Silva (1999) apresentam uma faixa que varia de 7,5 a 9,5.

Em pesquisa realizada com a compostagem de resíduos urbanos observou-se que no início do processo a massa em compostagem apresentou-se ácida (pH em torno de 5,0) e, após cerca de 50 dias, atingiu valores próximos a 8,5 (JAHNEL; MELLONI; CARDOSO, 2008). Leal et al. (2011), em seus experimentos de compostagem de crotalária com capim elefante, mostraram que após 60 dias de compostagem o pH estabilizou em valores próximos a 7,8.

3.3.6 Granulometria

A granulometria está relacionada ao tamanho das partículas dos resíduos a serem compostados. Como a compostagem é um processo microbiológico, a decomposição da matéria orgânica está ligada ao ataque dos microrganismos ao material. Portanto, quanto menor a granulometria das partículas dos resíduos, maior a área superficial para a digestão microbiológica (KIEHL, 1985; FERNANDES; SILVA, 1999).

Pereira Neto (1996) comenta que o tamanho das partículas não deve ser pequeno (< 2 cm) para evitar compactação durante o processo e nem tão grande (> 8 cm), por reter pouca umidade e possuir menor superfície de contato para os microrganismos. Deste modo, a recomendação de Pereira Neto (2007) é de que a granulometria dos resíduos deve se situar numa faixa de 1 a 5 cm.

Valente et al. (2009) propõem que a melhor solução é misturar diversos tipos de resíduos orgânicos para tentar compensar o tamanho das partículas, favorecendo a uma menor compactação, através da homogeneização dos resíduos.

3.4 MATURAÇÃO DO COMPOSTO E FERTILIZANTES ORGÂNICOS

A aproximação da temperatura do composto à temperatura ambiente é um indicativo do equilíbrio microbiológico. Porém, não pode ser utilizada como parâmetro na verificação de maturidade do composto. A avaliação da maturidade de compostos orgânicos deve ser realizada, associando-se alguns parâmetros, uma vez que a decomposição das parcelas orgânicas depende da origem e da composição da mistura inicial compostada (VALENTE et al., 2009).

Kiehl (2004) argumenta que a relação C/N constitui um dos parâmetros para a verificação de maturidade, em que a relação deve apresentar uma faixa de 8/1 a 12/1. Valores de 18/1 ou um pouco inferior indicam que o composto está semicurado.

Malheiros (1996) ainda propõe para confirmação dessa fase final de compostagem se valer de mais parâmetros como: pH; a ausência de nitrogênio amoniacal e a alta concentração de nitrato.

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

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

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

O adubo orgânico não é um produto único, podendo sua qualidade variar de acordo com os resíduos orgânicos e os processos empregados, portanto a qualidade do composto final da compostagem deve ser regulamentada por lei específica do país (VALENTE et al., 2009).

No Brasil, o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), juntamente com a Secretária de Defesa Agropecuária (SDA) criou a Instrução Normativa SDA nº 25, de 23 de Julho de 2009, que aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.

Os fertilizantes orgânicos são enquadrados nas seguintes classes: A, B, C e D. No Art. 7º, inciso I, ressalta-se que, para os produtos sólidos, as garantias serão, no mínimo, os valores que são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Especificação dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos

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

Fonte: MAPA IN Nº 25/2009.

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

Os fertilizantes orgânicos sólidos terão ainda a forma e solubilidade dos nutrientes indicadas em percentagem mássica para aplicação em solo, de acordo com a Tabela 4. Dessa forma, a utilização e/ou comercialização de fertilizantes orgânicos aplicáveis a solo devem atender os parâmetros desta normativa.

Tabela 4 - Garantias mínimas dos macro e micronutrientes para fertilizantes orgânicos.

Nutriente	Aplicação ao solo
	Teor total mínimo (%)
Fósforo (S)	Teor total
Potássio (K)	Teor total
Cálcio (Ca)	1,0
Magnésio (Mg)	1,0
Enxofre (S)	1,0
Boro (B)	0,03
Cloro (Cl)	0,1
Cobalto (Co)	0,005
Cobre (Cu)	0,05
Ferro (Fe)	0,2
Manganês (Mn)	0,05
Molibdênio (Mo)	0,005
Níquel (Ni)	0,005
Silício (Si)	1,0
Zinco (Zn)	0,1

Fonte: Adaptado de MAPA IN Nº 25/2009.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O presente estudo teve início no dia 10 de novembro de 2014 e término no dia 02 de abril de 2015, onde cada tratamento permaneceu em acompanhamento por 120 dias.

Os experimentos foram realizados no campo, em um local chamado de “composteira” (Figura 13), localizada na sede da Embrapa Soja, na Fazenda Santa Terezinha, Rodovia Carlos João Strass, Distrito de Warta, Londrina – Paraná. A “composteira” não possuía impermeabilização de base e cobertura.



Figura 13 - Localização da Embrapa Soja em Londrina - PR, com destaque para composteira. Fonte: Google Earth (2015).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS E DO EXPERIMENTO

4.2.1 Resíduos orgânicos gerados na Embrapa Soja

As diversas atividades realizadas pela Embrapa Soja resultam em diferentes resíduos e, de acordo com o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) da Unidade, os resíduos produzidos se dividem quanto a sua atividade/localidade de geração em resíduos: gerais, de laboratórios e campos experimentais e ainda são classificados e segregados como perigosos, rejeitos, orgânicos e recicláveis.

Considerando os resíduos orgânicos gerados pela Embrapa Soja, pode-se destacar os listados no Quadro 2.

Quadro 2 - Resíduos orgânicos gerados na Embrapa Soja.

Fonte de geração	Resíduos orgânicos	Quantidade aproximada de geração
Campos experimentais	Plantas de soja, de trigo, ou seja, restos de culturas, grãos e sementes (soja, trigo e girassol), estacas de bambu.	120 toneladas/ano
Jardinagem	Folhas, galhos, raízes e gramas oriundos de poda e roçadas dos jardins.	Não definido
Coleta Seletiva Solidária ⁽¹⁾	Restos da preparação de alimentos e de refeições, cascas de frutas, legumes e cereais, borras de café, chás e chimarrão, palitos de madeira e guardanapos de papel e papéis toalha engordurados, molhados ou sujos de alimentos.	370 kg/semana
Laboratórios de pesquisa ⁽¹⁾	Amostras de grãos, plântulas, plantas, raízes, folhas, palhas, solos, papéis utilizados na germinação de plântulas, insetos mortos (percevejos e lagartas), resto de dietas e géis utilizados para alimentação de insetos, meios de cultura e algodão não contaminados e outros resíduos orgânicos não contaminados por substâncias químicas perigosas.	70 kg/semana

Fonte: Adaptado do PGRS da Embrapa Soja (2014).

Nota¹: Resíduos coletados pelo programa de Coleta Seletiva Solidária da Unidade.

Em média, são gerados 440 kg de resíduos orgânicos por semana, havendo necessidade de uma coleta específica, a qual é realizada internamente por empresa terceirizada, num programa chamado de “Coleta Seletiva Solidária”. Os resíduos orgânicos gerados pelos laboratórios são segregados e coletados juntamente com os resíduos gerais, portanto, estão incluídos no Programa de Coleta Seletiva Solidária.

Os resíduos provenientes dos campos experimentais são gerados de duas formas: grande parcela é produzida no momento da colheita, permanecendo na própria área de cultivo (plantio direto), e a outra parcela desses resíduos são parte das culturas colhidas inteiras e trilhadas fora da área de plantio. Neste último caso, estima-se que a quantidade destes resíduos agrícolas seja de 120 toneladas por ano (PGRS, 2014).

Os resíduos utilizados no presente experimento de compostagem consistiram daqueles gerados pela Unidade, conforme o Quadro 2.

Quadro 3 - Resíduos orgânicos a serem compostados

Resíduos	Matéria orgânica
R1	Resíduos orgânicos da coleta seletiva solidária e laboratórios de pesquisa constituídos por: restos da preparação de alimentos e de refeições, cascas de frutas, legumes e cereais, borras de café, chás e chimarrão, palitos de madeira e guardanapos de papel e papéis toalha engordurados, molhados ou sujos de alimentos (fração úmida), papéis de germinação de plântulas, restos de dieta, meios de cultura, insetos mortos etc.
R2	Grãos de soja tratados ou não
R3	Palha de soja
R4	Palha de trigo
R5	Poda de árvore (folhas e galhos)
R6	Palha de soja + palha de trigo + poda de árvore

Fonte: Adaptado de PGRS (2014).

Os resíduos úmidos compostos por R1 e R2 foram utilizados em seu formato original. Já os resíduos secos (R3, R4, R5 e R6) foram triturados mecanicamente, de modo a atender a faixa granulométrica ótima para decomposição da matéria orgânica: 1 a 5 cm (PEREIRA NETO, 2007).

Foi realizada uma coleta de três amostras (Figura 14) dos resíduos iniciais (R1, R2, R3, R4, R5 e R6) para caracterizar os seguintes parâmetros físico-

químicos: umidade, pH, condutividade elétrica, carbono total, nitrogênio total e relação C/N.



Figura 14 - Amostras dos resíduos sólidos orgânicos.
Fonte: Autoria própria (2014).

4.2.2 Experimento e tratamentos utilizados

Utilizou-se uma mistura dos resíduos (R1 e R2), considerados ricos em nitrogênio, com os resíduos considerados ricos em carbono (R3, R4, R5 e R6). Foram estudadas quatro misturas de resíduos secos, com o resíduo R1 e R2, a fim de verificar a estabilização da matéria orgânica. De cada tratamento foram realizados dois experimentos, que consistiram em aplicar, em um dos experimentos, condições de umidade e aeração controladas (Controlado), enquanto no outro não houve este controle (Natural). Desde modo, os tratamentos foram: T11 e T12; T21 e T22; T31 e T32 e T41 T42 (Figura 15).



Figura 15 - Esquema experimental utilizado.
Fonte: Autoria própria.

4.2.3 Montagem das leiras

Para montagem dos tratamentos, utilizou-se a sistemática de compostagem praticada pela Embrapa, uma vez que é confeccionada uma leira semanal com a respectiva quantidade de resíduos da coleta seletiva gerada no mesmo período. As leiras durante a semana acabam recebendo três recargas dos resíduos, a mesma frequência de coleta dos resíduos da coleta seletiva.

Sendo assim, as leiras (Figura 16) receberam a quantidade equivalente de resíduos orgânicos da coleta seletiva (R1) gerada no período de uma semana (5 dias). Foram montadas em formato trapezoidal, com três camadas de resíduos (R1 e R2) em cada leira, intercalada ao resíduo palhoso (R3, R4, R5 ou R6). A confecção das leiras levou três dias, visando respeitar o que ocorre na rotina da Unidade.

Já os tratamentos (Figura 16) foram montados em épocas diferentes, o T1 montado na primeira semana, e assim sucessivamente. Dessa forma, o experimento levou quatro semanas para ser confeccionado.



Nota ⁽¹⁾: T11 – CS, grãos de soja com palha de soja (controlado); T12 – CS, grãos de soja com palha de soja (natural); T21 – CS, grãos de soja com palha de trigo (controlado); T22 – CS, grãos de soja com palha de trigo (natural); T31 – CS, grãos de soja com poda de árvore (controlado); T32 – CS, grãos de soja com poda de árvore (natural); T41 – CS, grãos de soja com mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore (controlado); T42 – CS, grãos de soja com mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore (natural).

Figura 16 - Foto das leiras montadas.

Fonte: Autoria própria.

Às segundas-feiras era montada uma base com resíduo palhoso (R3, R4, R5 ou R6) nas dimensões de 1,25 m de largura e 1,5 m de comprimento e 0,10 m de altura, depositando por cima os resíduos R1 e R2 gerados neste dia. Em seguida, o material era coberto com uma camada de 0,10 m de resíduo palhoso, visando evitar a atração de vetores e contribuir na relação C/N inicial da leira (Figura 17).

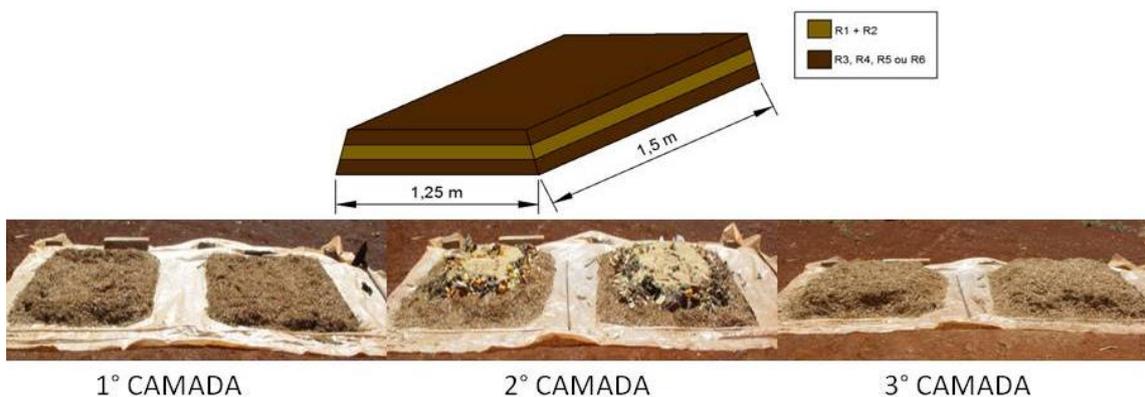


Figura 17 - Primeiro dia de montagem da leira.

Fonte: Autoria própria.

Às quartas-feiras era feito o depósito de R1 e R2, gerados na terça e quarta-feira na Unidade, sobre a camada existente, sendo feito uma cobertura com cerca de 0,10 m de resíduo palhoso (Figura 18).

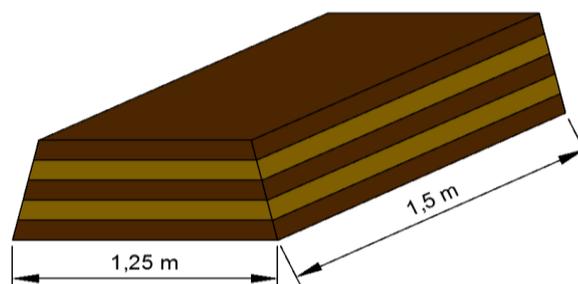


Figura 18 - Segundo dia de montagem da leira.

Fonte: Autoria própria.

Às sextas-feiras o procedimento do segundo dia foi repetido sobre a leira, recarregando-a e zelando pela arquitetura em forma de trapézio. Na finalização do processo de montagem, a leira ficou com a configuração ilustrada na Figura 19.

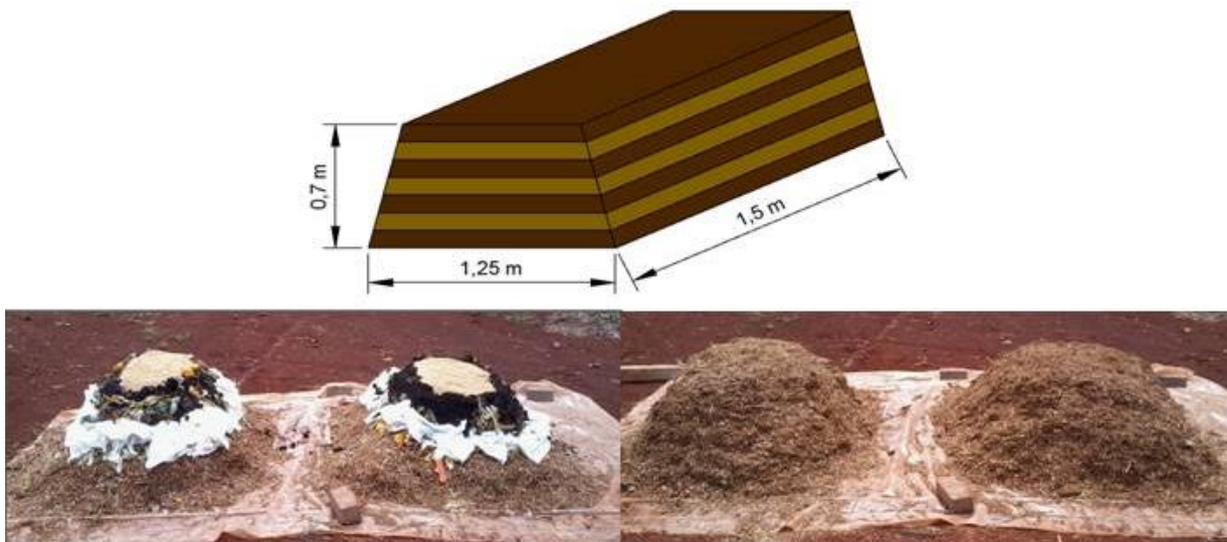


Figura 19 - Terceiro e último dia de montagem da leira.
Fonte: Autoria própria.

Para determinar a relação C/N nos tratamentos, os resíduos foram pesados em balança e medidos os volumes em tambores, conforme a Equação 1, proposta por Kiehl (2008).

$$Q = \frac{(30 * Nm) - Cm}{(Cc) - (30 * Nc)} \quad (1)$$

Onde:

Q: quantidade em Kg de resíduo rico em C para cada Kg de resíduo rico em N;

Nm: teor de nitrogênio do resíduo rico em N;

Cm: teor de carbono do resíduo pobre em C;

Cc: teor de carbono do resíduo rico em C;

Nc: teor de nitrogênio do resíduo pobre em N.

4.3 MONITORAMENTO DA COMPOSTAGEM

Na Tabela 5 estão descritas as variáveis que foram monitorados durante o processo de compostagem nos tratamentos.

Tabela 5 - Variáveis monitoradas durante o processo de compostagem

Variáveis	Tratamentos Controlados	Tratamentos Naturais	Métodos
Temperatura	Diário	Diário	Termômetro tipo espeto
Revolvimento e Irrigação	A cada 15 dias	Não se aplica	Mecanizado/ mangueira
Redução de Massa/volume	Início e final	Início e final	Balança/ cubicagem
Análises físico-químicas ¹	10°,30°,60°,90°,120° dia	10°,30°,60°,90°,120° dia	Item 5.3.3
Análise nutricional ²	Final	Final	Item 5.3.5

Nota¹: pH, umidade, condutividade elétrica, relação C/N, carbono e nitrogênio totais.

Nota²: Macronutrientes e micronutrientes.

4.3.1 Temperatura, umidade e revolvimento

Com o auxílio de um termômetro digital tipo espeto seis pontos foram monitorados para medição da temperatura no horário da manhã, conforme a Figura 20. O monitoramento da temperatura ambiente aconteceu por meio de dados obtidos na estação meteorológica situada a uma distância de 500 metros do local do experimento.

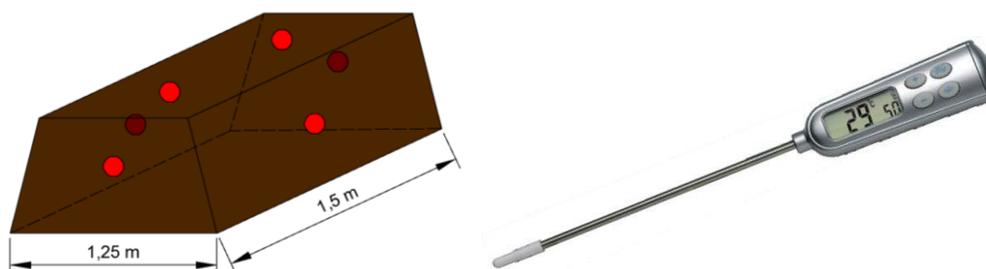


Figura 20 – Monitoramento da temperatura nos pontos de medição.
Fonte: Autoria própria.

Os revolvimentos dos tratamentos controlados ocorreram a cada 15 dias, com auxílio de uma Mini-Carregadeira Bob Cat®, sempre após a leitura das temperaturas. Para avaliar a correção de umidade utilizou-se o teste da mão, que consistiu em bolear o composto e perceber a umidade aparente excedente ou não

(NUNES, 2009). Caso necessário as regas ocorreram manualmente com auxílio de uma mangueira.

4.3.2 Redução de volume e massa

O volume e a massa (Figura 21) foram determinados no início da montagem da leira e ao final do processo, respectivamente, pelo método da cubicagem (com auxílio de um tambor de volume conhecido) e pesagem em balança da marca Welmy®. Os resultados foram expressos em base seca de material.

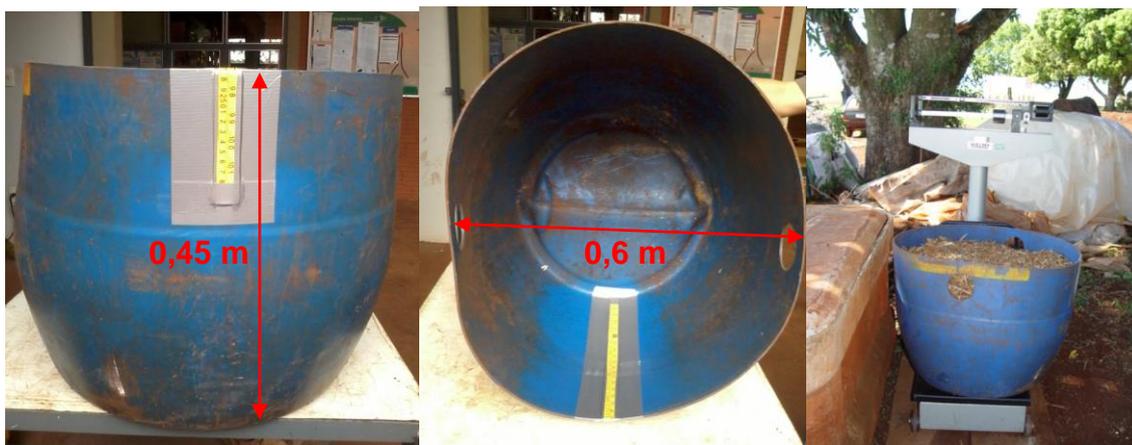


Figura 21 – Tambor utilizado para medir volume e balança na aferição das massas.
Fonte: Autoria própria.

4.3.3 Análises físico-químicas

4.3.3.1 Amostragem

Para a coleta das amostras dos resíduos orgânicos foram tomadas três partes dos resíduos de diferentes pontos. Em seguida realizou-se uma homogeneização e retirou-se cerca de 200 g da amostra.

Já as coletas de amostras dos compostos finais ocorreram a partir da retirada de seis pontos da leira: dois pontos no topo, dois pontos no meio e dois pontos na base. As amostras (Figura 22) foram homogeneizadas e reduzidas pelo método de quarteamento manual, a segundo ABNT NBR 10007 (2004). Tal método consiste em formar um monte circular com a amostra e dividir em quatro partes iguais, tomando duas partes opostas, repetindo a operação até obter cerca de 200 g da amostra. Em seguida, as amostras (Figura 22) foram armazenadas em sacos plásticos, encaminhadas ao Laboratório de Manejo do Solo da Embrapa Soja, congeladas (refrigeração a uma temperatura de - 4°C) para as análises de C, N, C/N e nutrientes.



Figura 22 – (a) Amostragem do composto por quarteamento ABNT NBR 10007 (2004), (b) armazenamento das amostras.
Fonte: Autoria própria.

4.3.3.2 *Determinação de pH e condutividade elétrica*

A determinação de pH e condutividade elétrica foi realizada em água. Pesou-se 10 g da amostra úmida em um recipiente plástico de 100 mL e adicionou-se 50 mL de água deionizada. A mistura foi levada para um agitador de movimento circular horizontal por 30 minutos a 150 rpm.

Em seguida, o material foi deixado em repouso por 1 hora. Fizeram-se as medições no sobrenadante da solução: do pH com peagâmetro calibrado da marca Techall® e da condutividade elétrica com um condutímetro calibrada marca Jencons®, modelo 4010 (TEDESCO et al., 1995).

4.3.3.3 Umidade

Para a umidade, 10 g das amostras foram pesadas em um béquer previamente seco, o qual foi levado para uma estufa com ventilação forçada, a 105°C por 24 horas.

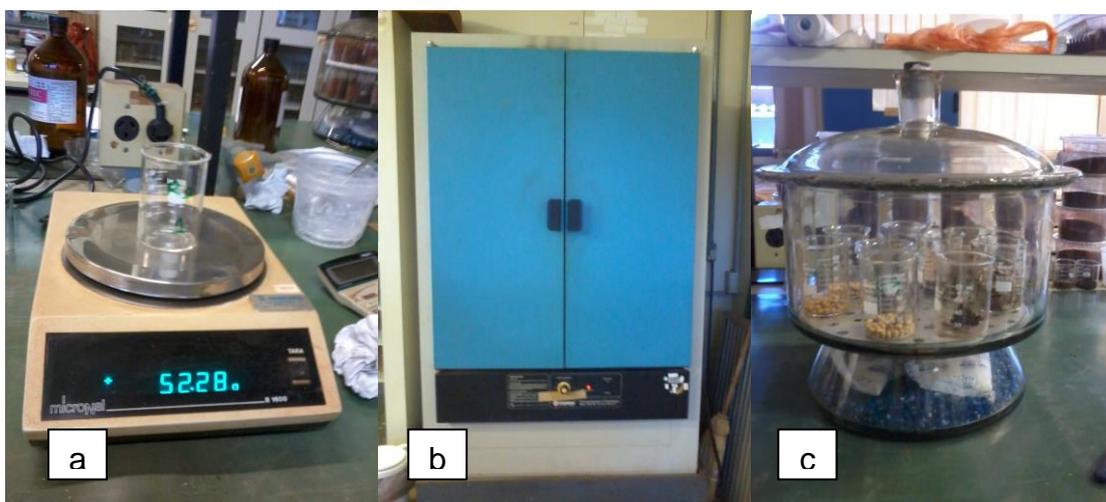


Figura 23 – (a) Balança, (b) estufa ventilada a 105°C e (c) dessecador respectivamente. Fonte: Autoria própria.

Após a secagem a massa do béquer foi verificada novamente (SILVA, 2009).

Assim, a umidade foi calculada pela Equação 2:

$$U (\%) = \left(\frac{\text{massa úmida} - \text{massa seca}}{\text{massa úmida} - \text{massa béquer}} \right) * 100 \quad (2)$$

Onde:

U = Umidade

Massa úmida = Peso do béquer + amostra úmida

Massa seca = Peso do béquer + amostra seca

Massa béquer = Peso do béquer

4.3.3.4 Determinação de carbono total, nitrogênio total e relação C/N

C total, N total e relação C/N dos resíduos e amostras foram determinadas pelo método da combustão seca em um analisador de carbono orgânico total (TOC)

Inicialmente as amostras foram secas em estufa por mais de 48h a uma temperatura de 45 a 60°C, moídas em um moinho (Figura 24) e, passadas os compostos em peneiras (Figura 24) com malha de 0,210 mm e os resíduos, em malha de 0,500 mm. Até o momento da análise, ficaram em estufa a 60°C, para retirar a umidade remanescente.



Figura 24 - Moagem e peneiramento das amostras
Fonte: Autoria própria

Das amostras secas realizadas em duplicata, foram pesadas 20 mg em uma balança analítica da marca METTLER TOLEDO®, do modelo “Classic”, com

precisão de pesagem de 0,00001g e acondicionadas e seladas em cápsulas de estanho (Figura 25).

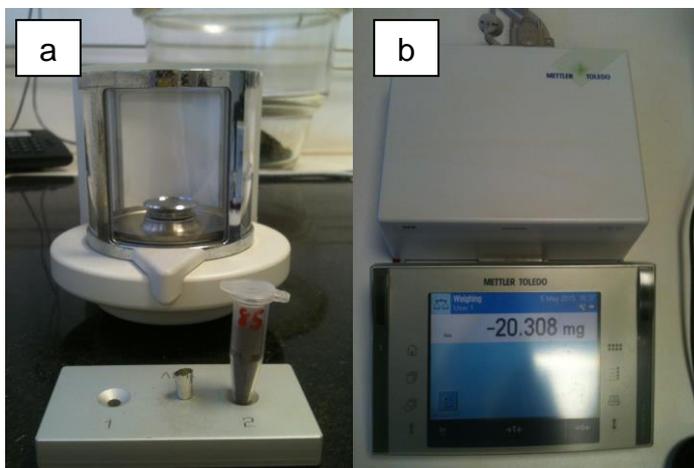


Figura 25 – (a) Balança analítica e cápsula de estanho (b) aferição do valor da pesagem
Fonte: Autoria própria.

Na sequência as amostras submetidas ao analisador de carbono orgânico total (TOC), da marca Thermo Scientific®, modelo FLASH 2000 Series (Figura 26). foram incineradas em temperatura aproximada de 950°C, por 5 minutos, em um tubo de quartzo de combustão, onde foi utilizado como carregador o gás O₂, com 99,998% de pureza. Após a combustão, toda a matéria orgânica foi convertida em CO₂ e através de um sensor infravermelho foi possível detectar a quantidade de C e N elementares existentes na amostra (adaptado de CARMO; SILVA, 2012).



Figura 26 - Analisador de TOC (Carbono Orgânico Total).
Fonte: Autoria própria.

4.3.3.5 Determinação de macronutrientes e micronutrientes

Para a determinação dos nutrientes (macro e micro) dos compostos, foi adaptado o método SW 846 - 3051A da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (US-EPA, 2007), feita a digestão das amostras pela técnica de aquecimento por microondas e, posteriormente, a determinação dos elementos P, K, Ca, Mg, S, B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn pela técnica de ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*).

As análises foram realizadas em triplicata e o procedimento consistiu em pesar cerca de 0,2500 g das amostras moídas e secas (40 – 45 °C por 48 horas em estufa com ventilação) em uma balança analítica de precisão (de 0,1000 g). Com auxílio de uma espátula as amostras foram transferidas para os tubos de digestão do tipo Teflon®, específico do forno de microondas.

Em seguida, foram adicionados 6 mL de ácido nítrico (HNO₃) 1:1 e 2 mL de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), deixando os tubos abertos e em repouso por 24 horas em capela de exaustão.



Figura 27 – Balança analítica (e) e tubos de Teflon® em processo de pré-digestão (d)
Fonte: Autoria própria.

Após este período, os tubos foram fechados e a solubilização foi efetuada nos digestores com aquecimento por microondas da marca CEM Corporation, modelo Mars Xpress, série MD-4848, com potência máxima de 1600W, a uma pressão de 130 psi (9 atm), temperatura aproximada de 175 °C, com tempo de rampa (Ramp) de 10 minutos e sob pressão (hold) por 15 minutos.

Após o término da programação, os tubos foram resfriados durante 20 minutos até alcançar uma pressão de cerca de 10 psi (69 kPa), sendo realizada a abertura dos tubos em capela com sistema para exaustão de gases.



Figura 28 - Microondas; Ramp; Hold e resfriamento
Fonte: Autoria própria

Na sequência, foram transferidos os extratos para tubos volumétricos (Figura 29), completando-se com água destilada o volume para 30 mL (diluição).



Figura 29 - Solução extraída em tubos volumétricos.
Fonte: Autoria própria.

A determinação dos teores dos elementos de interesse da IN N° 25/2009 do MAPA, foi realizada em espectrofotômetro de emissão óptica com fonte de indução de plasma acoplada individualmente (ICP-OES) marca Perkin-Elmer®, modelo Optima 3000, sequencial, com vista Axial ou Radial, alimentado com amostrador automático Perkin Elmer, AS-90 plus.

4.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Realizou-se comparação das médias entre os tratamentos controlado e natural através do teste t - Student, utilizando o Microsoft Excel®. Entre os tratamentos (T1, T2, T3 e T4) foram realizadas análises de variância ao nível de 5% de significância, utilizando-se o software Sisvar 5.4 e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-knott.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS COMPOSTADOS

O valor ótimo da porcentagem de umidade (Tabela 6) inicial para a compostagem variou de acordo com a natureza dos materiais a compostar, devendo situar-se entre 45 e 70% (BATISTA e BATISTA, 2007). Sendo assim, o resíduo da coleta seletiva (R1) apresentou uma umidade de 66,9%, valor dentro da faixa proposta por Batista e Batista (2007), mas acima do nível máximo proposta por Gonçalves (1999), de 55% para RSU. Aos demais resíduos compostados apresentaram umidade inferior à faixa de 45 e 70%, apontando a necessidade de regas na montagem das leiras.

Tabela 6 - Caracterização físico-químicas dos resíduos orgânicos compostados

Características	pH		Condutividade elétrica (mS cm ⁻¹)		Umidade (%)		C (%)		N (%)		C/N		Nível ⁽²⁾
	Média	Desv. Padrão	Média	Desv. Padrão	Média	Desv. Padrão	Média	Desv. Padrão	Média	Desv. Padrão	Média	Desv. Padrão	
Resíduos (1)													
R1	4,20	±0,47	1,19	±0,84	66,9	±9,09	44,86	±2,22	3,01	±0,55	15,3/1	±2,42	Baixa
R2	6,23	±0,03	0,15	±0,03	11,4	±2,96	49,72	±0,52	7,08	±0,25	7,0/1	±0,27	Baixa
R3	7,58	±0,09	0,72	±0,02	13,7	±1,40	40,66	±3,03	2,04	±0,39	21,3/1	±2,57	Média
R4	8,82	±0,11	1,60	±0,11	9,62	±1,57	41,19	±2,44	1,67	±0,54	26,1/1	±7,00	Média
R5	6,19	±0,35	0,54	±0,12	39,9	±16,13	36,92	±1,03	1,81	±0,47	21,2/1	±4,41	Média
R6	7,06	±0,08	0,78	±0,04	25,9	±8,59	38,60	±0,75	1,61	±0,06	24,1/1	±1,17	Média

Nota ⁽¹⁾: R1 - coleta seletiva; R2 - grãos de soja; R3 - palha de soja; R4 - palha de trigo; R5 - poda de árvore e R6 - mistura de palhas de soja e trigo com poda de árvore.

Nota ⁽²⁾: Classificação segundo Kiehl (2008).

Fonte: A autoria própria.

Pode-se observar que o resíduo orgânico advindo da coleta seletiva (R1) apresentou pH ácido, o que corrobora com Leite et al. (2004), que caracterizaram RSU e verificaram valores de pH variando de 3,4 a 5,6. Os demais resíduos (R2, R3, R4, R5 e R6) apresentaram pH próximo ao neutro. Russo (2003) afirma que matéria orgânica de valores de pH próximos da neutralidade (5,5 a 8) são

considerados os melhores no ponto de vista de degradação, uma vez que essa é a faixa ótima para os microrganismos

A condutividade elétrica apresentou valores elevados nos resíduos da coleta seletiva (R1) e na palha de trigo (R4), de 1,19 e 1,6 mS.cm⁻¹, respectivamente, indicando assim materiais orgânicos com grande quantidade de sais.

Quanto à relação C/N, percebe-se que os resíduos da coleta seletiva (R1) e grãos de soja (R2) apresentaram os menores valores. Teixeira et al. (2000) encontraram valores de relação C/N para RSU de 9,8/1, representando uma fonte de resíduos nitrogenados no processo de degradação. Os demais resíduos apresentaram relação C/N superior a 20/1. Abreu et al. (2011) encontraram uma relação C/N de palha de soja de 51/1. Fernandes e Silva (1999) na palha de trigo observaram relação C/N de 86/1. Battisti (2011) obteve a relação de 35/1 para a poda de árvore. Verifica-se, portanto, que os valores relatados na literatura são superiores aos encontrados no presente estudo. No entanto, existe consenso de que estes materiais representam uma fonte de material carbonáceo no processo de compostagem.

De acordo com Kiehl (2008), conhecendo-se a composição dos resíduos orgânicos a serem compostados, pode-se calcular as proporções que devem ser tomadas para se obter uma relação C/N 30/1 na montagem das leiras, de modo a promover a mistura de material orgânico rico em nitrogênio (de relação C/N baixa) com os ricos em carbono (de relação C/N mais elevada).

Com base nos valores analisados de N e C dos resíduos orgânicos (Tabela 6) e as quantidades em quilogramas de resíduos ricos em carbono e nitrogênio utilizados na montagem das leiras pode-se calcular através da Equação 1, contida no item 4.2.3, a relação C/N inicial dos tratamentos (Tabela 7).

Tabela 7 - Relação C/N inicial nas montagens das leiras.

Tratamentos	Coleta seletiva (R1) (Kg)	Grãos de soja (R2) (Kg)	Material rico em C (R3, R4, R5 e R6) (Kg)	Relação C/N inicial
T11	72,09	16,50	72,31	14,53/1
T12	82,54	20,14	89,60	14,55/1
T21	95,00	13,08	49,93	15,09/1
T22	89,24	13,54	45,24	14,86/1
T31	75,82	10,48	61,93	14,98/1
T32	75,92	11,36	59,70	14,80/1
T41	81,45	8,82	58,73	15,81/1
T42	87,59	11,04	56,43	15,38/1

Nota ⁽¹⁾: R1 - coleta seletiva; R2 - grãos de soja; R3 - palha de soja; R4 - palha de trigo; R5 - poda de árvore e R6 - mistura de palhas de soja e trigo com poda de árvore.

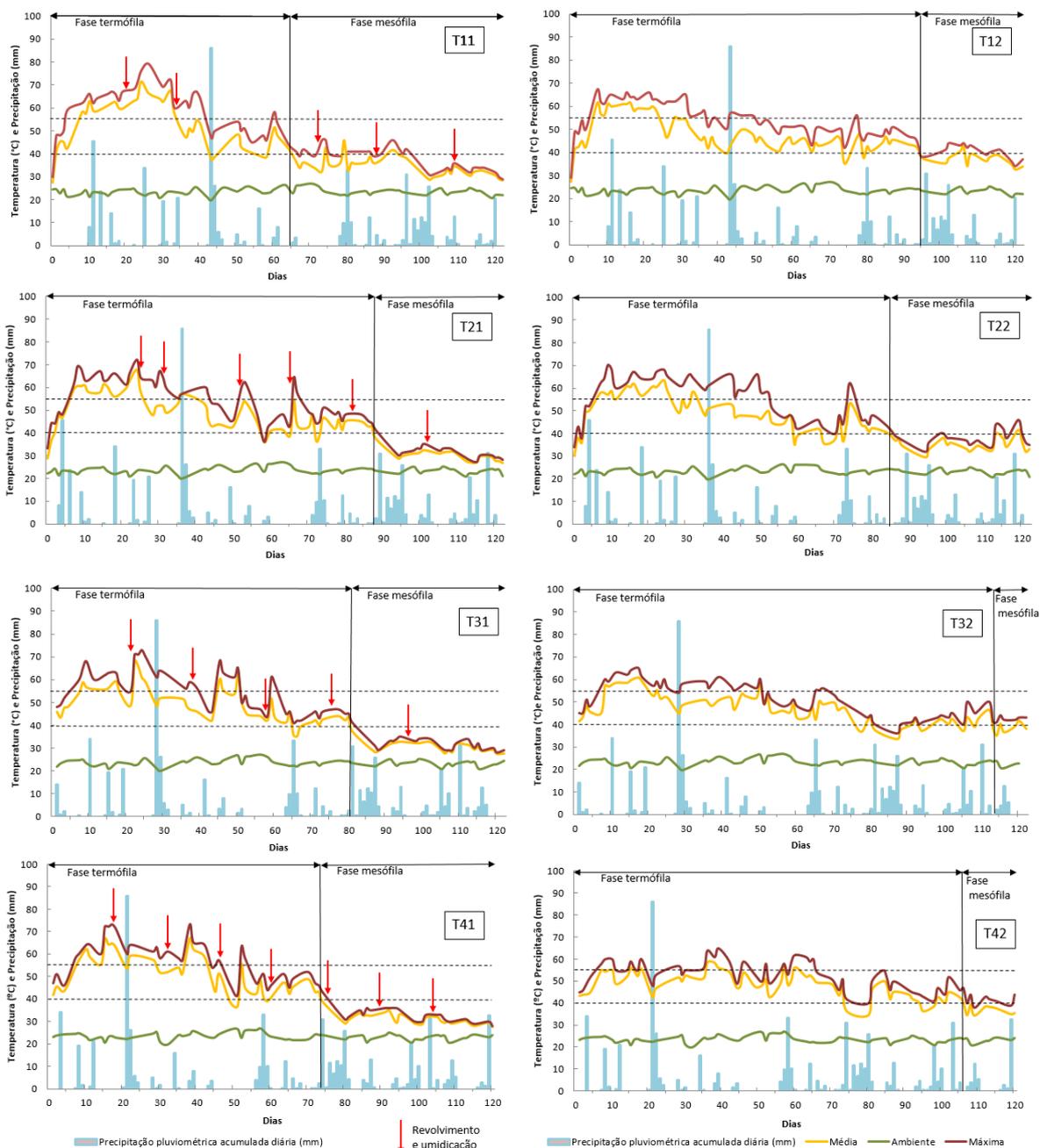
Nota ⁽²⁾: Valores em base seca (105°C).

Fonte: **Autoria própria (2015).**

Observa-se, que nas montagens dos tratamentos a relação C/N inicial foi em média de 15/1, ou seja, abaixo da faixa ideal proposta Kiehl (2008), de 25/1 a 35/1, uma vez que leiras montadas com baixa relação C/N podem acarretar a perda de nitrogênio na volatilização da amônia (SILVA, 1999).

5.2 TEMPERATURA

Na compostagem a decomposição aeróbica é um processo exotérmico, ou seja, com liberação de calor. De uma maneira geral, todos os tratamentos (Figura 30) apresentaram comportamentos semelhantes quanto ao perfil típico de temperaturas no período de 1 a 120 dias de compostagem, com ocorrência de uma fase denominada termófila, de temperaturas médias variando entre 40°C a 70°C, e outra mesófila, sempre acima da ambiente, demonstrando assim, a intensa atividade microbiana na degradação da matéria orgânica (KIEHL, 1985; MALHEIROS, 1996; VALENTE et al., 2009; PUYUELO et al., 2010).



Nota ⁽¹⁾: T11 – CS, grãos de soja com palha de soja (controlado); T12 – CS, grãos de soja com palha de soja (natural); T21 – CS, grãos de soja com palha de trigo (controlado); T22 – CS, grãos de soja com palha de trigo (natural); T31 – CS, grãos de soja com poda de árvore (controlado); T32 – CS, grãos de soja com poda de árvore (natural); T41 – CS, grãos de soja com mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore (controlado); T32 – CS, grãos de soja com mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore (natural).

Figura 30 - Comportamento das temperaturas médias e máxima, no interior das leiras e precipitação ao longo dos 120 dias do processo de compostagem.

Fonte: Autoria própria.

Com a fase de aquecimento acontecendo a partir do primeiro dia de montagem, num período de 30 dias, se percebe que nos tratamentos controlados (T11, T21, T31 e T41) as temperaturas atingiram picos máximos de 79°C, 72°C,

73°C e 73°C respectivamente, valores maiores comparados aos picos máximos dos tratamentos ao natural: 67°C (T12), 70°C (T22), 65°C (T32) e 65°C (T42). De acordo com Oliveira, Sartoni e Garcez (2008), valores acima de 65°C podem acarretar a eliminação de microrganismos tanto patógenos quanto os degradadores. Porém, para acelerar a biodegradação, Fernandes e Silva (1999) e Hassen et al. (2001) recomendaram que a temperatura das leiras deve ficar acima de 55°C - 65°C durante os 30 primeiros dias de compostagem. Dessa forma, pode-se afirmar que quanto à variável temperatura todos os tratamentos estiveram na faixa recomendada e no período indicado, demonstrando que o processo de degradação estava ocorrendo.

Em relação ao manejo realizado (controlado e natural) e à composição das misturas, observam-se na Figura 30, que as fases termófilas e mesófilas ocorreram em períodos diferentes. No T11, a fase termófila durou até o 65º dia, dando início à fase mesófila com valores menores que 40 °C. Já a leira natural (T12), os valores de temperaturas médias foram superiores as da leira controlada (T11) e a fase mesófila iniciou apenas a partir do 95º dia.

O comportamento de temperatura nos tratamentos T21 e T22 foi semelhante: a duração da fase termófila foi de 88 dias e 85 dias, respectivamente. Uma explicação é que as leiras com palha de trigo podem ter proporcionado condições favoráveis de umidade (decorrido de um período chuvoso no processo) e aeração, ocasionada pelo arrançamento da palha de trigo que possibilitou a oxigenação no interior da massa, fatores estes que aceleram a degradação da matéria orgânica pelo microorganismos.

Na leira T31, a fase mesófila iniciou apenas no 80º dia, enquanto na leira T32, no 104º dia de compostagem. As leiras T41 apresentou a fase mesófila no 74º dia e na T42 esta fase teve início no 106º dia após a montagem.

As reduções nos valores de temperatura observadas nos tratamentos T11, T31, T41 estão associadas à aeração, provocada pelo revolvimento que proporcionou a aumento na velocidade de decomposição da massa orgânica e conseqüentemente menor atividade microbiana e diminuição nas temperaturas. O contrário foi observado em T12, T32 e T42: a permanência de temperaturas elevadas, ou seja, a manutenção do calor no interior das leiras e intensa atividade microbiana pela falta de revolvimentos indicam uma degradação mais lenta e segundo Leal et al. (2011), a uma não estabilização da matéria

orgânica. Observa-se, ainda, quanto ao tempo de permanência da fase termófila no T21 e T22 que não houve variação, não tendo necessidade, portanto, de controle para o tratamento com poda de trigo.

Deve-se ressaltar que com o manejo aplicado às leiras controladas houve interferência no comportamento da curva de temperatura, devido ao revolvimento e às regas que proporcionaram uma aceleração na decomposição das matérias orgânicas presentes. Sendo assim, a ocorrência e a permanência destas fases durante a compostagem irão indicar a eficiência do processo quanto à eliminação de microrganismos patogênicos, à decomposição da matéria orgânica, à maturação e estabilidade dos resíduos durante a compostagem (KIEHL, 1998).

5.3 MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

A caracterização físico-química das amostras analisadas durante o ensaio de compostagem é apresentada nas Tabelas 8, 9, 10, 11, 12 e no Apêndice A.

5.3.3 Comparação entre os tratamentos controlado e natural

Foram monitorados os principais fatores que norteiam a eficiência da compostagem em tratamentos submetidos a manejos diferenciados.

5.3.3.1 *Umidade*

O teor de água é imprescindível para o metabolismo dos microrganismos. Na Tabela 8, pode-se observar a comparação dos valores médios de umidade nos tratamentos controlado e natural ao longo dos 120 dias de compostagem.

Tabela 8 - Valores médios de umidade em porcentagem ao longo da compostagem nos oito tratamentos estudados

Dias após o início do processo	15	30	60	90	120	Média Geral (%)
Tratamentos ⁽¹⁾	Média (%)					
T11	52,26 A	57,44 A	47,02 A	61,14 B	70,74 A	57,72 B
T12	48,08 A	57,60 A	53,31 A	29,07 A	50,88 A	47,79 A
T21	57,56 B	53,96 B	64,57 A	69,28 A	68,41 B	63,36 B
T22	36,15 A	26,81 A	54,83 A	57,07 A	27,68 A	40,51 A
T31	53,15 A	57,80 B	49,92 B	65,37 B	59,22 A	57,09 B
T32	40,56 A	36,19 A	30,19 A	33,15 A	57,67 A	40,35 A
T41	70,05 B	55,05 A	64,92 B	72,21 A	73,16 B	67,08 B
T42	41,59 A	52,47 A	41,48 A	65,38 A	36,19 A	47,42 A

Nota ⁽¹⁾: T11 – CS, grãos de soja com palha de soja (controlado); T12 – CS, grãos de soja com palha de soja (natural); T21 – CS, grãos de soja com palha de trigo (controlado); T22 – CS, grãos de soja com palha de trigo (natural); T31 – CS, grãos de soja com poda de árvore (controlado); T32 – CS, grãos de soja com poda de árvore (natural); T41 – CS, grãos de soja com mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore (controlado); T42 – CS, grãos de soja com mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore (natural).

Nota ⁽²⁾: Letras iguais entre as linhas de controle e natural dos tratamentos implicam em equivalência estatística dos valores ao nível de 5% de significância, pelo teste t - Student.

Nas leiras T11 e T12, a umidade apresentou diferença estatística entre si apenas no 90º dia, onde se pode observar que o valor de umidade na leira natural estava fora da faixa considerada ideal: de 50 a 70%, segundo Crawford (1983).

A umidade nos tratamentos T21 e T22 foram iguais apenas aos 60 e 90 dias após o início da compostagem e os valores se encontraram dentro da faixa ideal proposta para o processo. Nessa época houve um período chuvoso (Figura 30), o que possibilitou à leira natural (T22) condições equivalentes à controlada (T21). O fato de que, a partir do 85º dia, ambos os tratamentos entraram em fase mesófila resultou em menor perda de água para a atmosfera devido à atividade de biodegradação ser menos intensa.

Quanto às leiras T31 e T32, nota-se que as diferenças estatísticas de umidade ocorreram aos 30, 60 e 90 dias após o início do processo sendo, que nestas análises a umidade do tratamento natural (T32), estava abaixo do teor ideal (40%) por Kiehl (2008)

Nos tratamentos T41 e T42, nas análises realizadas aos 30 e 90 dias os teores de umidade foram equivalentes entre si. Destaca-se que aos 15, 90 e 120 dias a umidade do T41 se mostrou acima do teor tido como ideal: 60% segundo Kiehl (2004).

O teor de umidade abaixo de 40% torna a decomposição lenta, uma vez que os microrganismos decompositores necessitam da água para sua atividade. Se os valores forem maiores que 60%, os espaços vazios destinados à aeração do material serão ocupados pela água, tornando o processo anaeróbio (KIEHL, 2008).

Comparando-se os valores médios de umidade ao longo do processo, observa-se que as leiras ao natural, para todos os tratamentos, diferiram estatisticamente das leiras controladas e apresentaram menores teores. Isso demonstra que a aeração e a rega com água resultaram em maior umidade nas leiras controladas, visto que ambas estiveram sob as mesmas condições climáticas: de precipitação que não foram suficientes para manter a umidade das leiras ao natural; de temperatura; vento e umidade do ar.

5.3.3.2 *pH e Condutividade elétrica*

Observa-se (Tabela 9) que, de modo geral, os valores médios de pH não resultaram em diferença estatística entre os tratamentos controlado e ao natural. No entanto, exceto o tratamento T3, todos os demais apresentaram diferença estatística dos valores de pH nas datas analisadas.

Tabela 9 - Valores médios de pH nos tratamentos controlado e natural ao longo dos 120 dias de compostagem.

Dias após o início do processo	15	30	60	90	120	Média Geral
Tratamentos ⁽¹⁾	Média	Média	Média	Média	Média	
T11	8,11 A	8,68 A	2,26 A	8,36 A	8,22 A	7,13 A
T12	8,66 B	8,89 B	5,93 B	8,63 B	8,47 B	8,11 A
T21	6,79 A	8,48 B	8,39 B	7,50 A	8,15 B	7,86 A
T22	7,47 A	7,51 A	7,27 A	8,00 B	7,56 A	7,56 A
T31	8,00 A	8,46 A	8,32 A	7,68 A	7,66 A	8,00 A
T32	7,61 A	8,64 A	8,49 A	8,27 A	7,93 A	8,19 A
T41	8,67 B	8,34 A	8,50 A	7,86 A	7,78 A	8,23 A
T42	7,85 A	8,57 A	7,92 A	8,11 A	7,59 A	8,01 A

Nota ⁽¹⁾: T11 – CS, grãos de soja com palha de soja (controlado); T12 – CS, grãos de soja com palha de soja (natural); T21 – CS, grãos de soja com palha de trigo (controlado); T22 – CS, grãos de soja com palha de trigo (natural); T31 – CS, grãos de soja com poda de árvore (controlado); T32 – CS, grãos de soja com poda de árvore (natural); T41 – CS,

grãos de soja com mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore (controlado); T32 – CS, grãos de soja com mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore (natural).

Nota ⁽²⁾: Letras iguais entre as linhas de controle e natural dos tratamentos implicam em equivalência estatística dos valores ao nível de 5% de significância, pelo teste t - Student.

Em um processo de compostagem o pH pode oscilar de acordo com a característica do material compostado e com a dinâmica microbiana (INÁCIO e MILLER, 2009), onde na fase termófila pode variar de 4,5 a 5,5, e ao final da maturação de 7,5 a 8,5, de acordo com Piedade e Aguiar (2010).

Ao final do processo os compostos controlados e naturais apresentaram valores de pH entre 7,7 a 8,5, que se encontra na faixa típica proposta por Valente et al. (2009): de 7,0 a 8,5.

No tratamento com palha de soja (T1) e palha de trigo (T2), as condutividades elétricas nas leiras controladas e naturais apresentaram diferença estatística a partir do 60º dia de compostagem, o que pode ser devido à rega com água excessiva nas leiras controladas e, conseqüentemente, a perda dos sais por lixiviação.

Tabela 10 - Valores médios da condutividade elétrica (mS.cm⁻¹) nos tratamentos controlado e natural ao longo dos 120 dias de compostagem.

Dias após o início do processo	Condutividade elétrica (mS.cm ⁻¹)					Média Geral
	15	30	60	90	120	
Tratamentos ⁽¹⁾	Média	Média	Média	Média	Média	
T11	2,82 A	2,51 A	2,26 A	1,74 A	1,12 A	2,09 A
T12	2,68 A	3,37 A	5,93 B	4,95 B	4,25 B	4,24 A
T21	4,58 A	3,43 A	3,47 A	2,87 A	0,91 A	3,05 A
T22	4,33 A	3,42 A	6,25 B	1,02 A	3,83 B	3,77 A
T31	2,26 A	2,14 A	2,44 A	0,94 A	0,84 A	1,72 A
T32	4,14 B	2,85 A	3,91 A	6,19 B	2,50 B	3,92 B
T41	2,22 A	2,51 A	3,15 A	1,48 A	1,16 A	2,10 A
T42	5,07 B	3,85 B	3,67 A	3,53 B	3,35 B	3,90 B

Nota ⁽¹⁾: T11 – CS, grãos de soja com palha de soja (controlado); T12 – CS, grãos de soja com palha de soja (natural); T21 – CS, grãos de soja com palha de trigo (controlado); T22 – CS, grãos de soja com palha de trigo (natural); T31 – CS, grãos de soja com poda de árvore (controlado); T32 – CS, grãos de soja com poda de árvore (natural); T41 – CS, grãos de soja com mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore (controlado); T42 – CS, grãos de soja com mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore (natural).

Nota ⁽²⁾: Letras iguais entre as linhas de controle e natural dos tratamentos implicam em equivalência estatística dos valores ao nível de 5% de significância, pelo teste t - Student.

Observando os tratamentos poda de árvore (T31 e T32) e a mistura de palhas de soja e trigo com poda de árvore (T41 e T42), notam-se as diferenças

estatísticas de condutividade elétrica entre as leiras controladas e naturais no início do processo (15 dias). Ao natural (T32 e T42) já apresentaram no início do processo maiores valores de condutividade elétrica do que as leiras controladas, devido a poda de árvore apresentar alto valor de condutividade elétrica. Após 90 e 120 dias do processo, onde a situação se inverteu devido ao manejo de regas aplicados as leiras controladas.

A influência das regas nas leiras controladas é evidenciada quando se analisa a média geral de condutividade elétrica dos tratamentos, em que as leiras ao natural apresentaram teores de 3 a 4 vezes maiores do que as leiras controladas. As regas, portanto, podem ter ocasionado a solubilização de sais e a perda por lixiviação (OLIVEIRA, 2008).

Segundo Kiehl (2008), a condutividade elétrica tende a diminuir e se estabilizar no processo de compostagem não devendo a salinidade nos compostos finais ultrapassar 4 mS.cm^{-1} , uma vez que fertilizantes orgânicos com sais em altas concentrações dispostos em solo podem ser prejudiciais para sementes e mudas transplantadas. Sendo assim, com relação à aplicação ao solo, a condutividade elétrica final dos tratamentos controlado e natural estão adequadas para adubação.

5.3.3.3 *Carbono total, Nitrogênio total e Relação C/N*

Os valores de carbono total e nitrogênio total diferiram entre os tratamentos (controlado e natural) ao longo do processo de compostagem, como pode-se observar na comparação nas diferentes datas de análise (Tabela 11). No entanto, as relações C/N se mostraram equivalentes estatisticamente entre si.

Com relação ao manejo, percebe-se pelos valores de N que os tratamentos sem revolvimento apresentaram maiores teores, uma vez que este fica reciclando dentro das leiras, evitando assim a sua perda por volatilização da amônia ou lixiviação.

Tabela 11 - Valores médios de carbono total, nitrogênio total e relação C/N nos tratamentos controlado e natural.

C (%)						
Dias após o início do processo	15	30	60	90	120	Média Geral
Tratamentos ⁽¹⁾	Média	Média	Média	Média	Média	
T11	27,74 A	31,87 A	26,90 A	24,57 A	37,36 A	29,69 A
T12	40,21 B	38,42 A	35,08 A	34,89 A	26,63 A	35,05 B
T21	41,71 A	35,25 A	28,88 A	25,26 A	23,78 A	30,98 A
T22	42,13 A	38,70 A	38,95 A	38,49 B	42,38 B	40,13 B
T31	39,17 A	32,69 A	35,20 A	30,78 A	29,08 A	33,38 A
T32	45,68 B	37,58 B	38,31 A	37,10 A	38,58 B	39,45 B
T41	36,31 A	35,67 A	29,99 A	28,97 A	28,56 A	31,90 A
T42	46,38 B	34,54 A	39,16 B	38,02 A	40,80 B	39,78 B

N (%)						
Dias após o início do processo	15	30	60	90	120	Média Geral
Tratamentos ⁽¹⁾	Média	Média	Média	Média	Média	
T11	2,99 A	3,48 A	2,96 A	2,82 A	4,54 A	3,36 A
T12	4,01 B	4,27 B	4,13 A	4,34 A	2,90 A	3,93 A
T21	3,45 A	4,78 A	3,40 A	3,51 A	3,15 A	3,66 A
T22	4,03 B	4,66 A	4,92 B	4,48 B	5,56 B	4,73 B
T31	3,41 A	3,32 A	4,24 A	3,55 A	3,44 A	3,59 A
T32	4,63 B	3,81 A	4,36 A	4,55 A	4,34 B	4,34 B
T41	3,05 A	3,96 A	3,48 A	3,33 A	3,28 A	3,42 A
T42	4,89 B	3,67 A	3,97 A	4,18 B	4,97 A	4,34 B

Relação C/N						
Dias após o início do processo	15	30	60	90	120	Média Geral
Tratamentos ⁽¹⁾	Média	Média	Média	Média	Média	
T11	9,28/1 A	9,15/1 A	8,89/1 A	8,84/1 A	8,56/1 A	8,95/1 A
T12	10,03/1 A	9,00/1 A	8,69/1 A	8,23/1 A	8,63/1 A	8,92/1 A
T21	12,07/1 A	7,38/1 A	8,48/1 A	7,20/1 A	7,56/1 A	8,54/1 A
T22	10,46/1 A	8,30/1 A	7,93/1 A	8,60/1 A	7,62/1 A	8,58/1 A
T31	11,48/1 A	9,86/1 A	8,33/1 A	8,67/1 A	8,46/1 A	9,36/1 A
T32	9,87/1 A	9,86/1 A	8,80/1 A	8,16/1 A	8,90/1 A	9,12/1 A
T41	11,95/1 A	9,01/1 A	8,63/1 A	8,70/1 A	8,75/1 A	9,41/1 A
T42	9,50/1 A	9,42/1 A	9,85/1 A	9,09/1 A	8,20/1 A	9,21/1 A

Nota ⁽¹⁾: T11 – CS, grãos de soja com palha de soja (controlado); T12 – CS, grãos de soja com palha de soja (natural); T21 – CS, grãos de soja com palha de trigo (controlado); T22 – CS, grãos de soja com palha de trigo (natural); T31 – CS, grãos de soja com poda de árvore (controlado); T32 – CS, grãos de soja com poda de árvore (natural); T41 – CS, grãos de soja com mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore (controlado); T42 – CS, grãos de soja com mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore (natural).

Nota ⁽²⁾: Letras iguais entre as linhas de controle e natural dos tratamentos implicam em equivalência estatística dos valores ao nível de 5% de significância, pelo teste t - Student.

Observando entre as leiras T11 e T12 do tratamento com palha de soja a relação C/N reduziu em 7,6 e 14%, respectivamente. Já no tratamento com palha de trigo a redução foi de 29,2% para a controlada e 18,5% ao natural. As leiras com poda de árvore, apresentaram valores de redução de 18,5% em T31 e 7,6% em T32. O tratamento que recebeu a mistura de todos os resíduos obteve uma redução de 21,25% na leira controlada e apenas 3,1% ao natural. Exceto para o T1, as maiores reduções de relação C/N foram observadas para os tratamentos controlados, embora estatisticamente os valores médios encontrados entre as leiras controlada e natural não diferiram entre si durante o processo de compostagem.

A redução da relação C/N nos tratamentos está associada à liberação do carbono na forma de CO₂, atividade que ocorre com mais intensidade na fase inicial da compostagem, momento de maior disponibilidade de substrato, seguido por um período de degradação lenta e na mineralização dos compostos nitrogenados existentes nos resíduos orgânicos (TIQUIA e TAM, 2002; GARG e GUPTA, 2011).

De maneira geral a relação C/N é usada como indicador da qualidade final do composto. Considera-se a relação C/N que representa um composto maturado, segundo Bernal (1999) valor de C/N próximo de 10. Pullicino (2002) considera que um composto que possui a relação menor que 20 já é um composto maturado. No entanto, a Instrução Normativa nº25/2009 do Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento, no Anexo III (MAPA, 2009), estabelece um limite máximo de 20/1 para fertilizantes orgânicos. Diante da dificuldade na literatura de se definir um valor final de C/N, considera-se que os compostos finais dos tratamentos controlados obtiveram as maiores reduções comparados aos naturais, mas alcançaram valores finais semelhantes ($\alpha=0,05$), numa faixa de 7,5/1 a 8,9/1, podendo enquadrar os compostos controlados e naturais como em bioestabilizados, maturados, ou seja, já prontos para aplicação em solo.

5.3.4 Comparação entre os tratamentos

Conforme a Tabela 12, é possível observar as comparações dos valores médios de umidade, pH, condutividade elétrica, porcentagens de carbono total, nitrogênio total e relação C/N nos oito tratamentos ao longo dos 120 dias de compostagem.

Os teores de umidade nos primeiros 15 dias não diferiram significativamente ($\alpha=0,05$) nos tratamentos T12, T22, T32 e T42, que compreendem as leiras que não receberam manejo e mostraram as menores médias. Aos 30 dias de compostagem o teor de umidade variou estatisticamente apenas nos tratamentos T22 e T32, novamente com as menores médias, compreendendo as leiras naturais. No 60º dia, o teor de umidade apresentou a menor média na leira natural T32 e variação entre as amostras nos demais tratamentos. Ao completar 90 dias de compostagem, a umidade apresentou valores estatisticamente semelhantes nas leiras ao natural T12 e T32, com as menores médias. Isto demonstra que a falta do manejo nas leiras naturais, possibilitou a perda da umidade durante o processo, devido ao consumo de água por parte dos microrganismos e a evaporação ocasionadas pelas elevadas temperaturas. Com relação aos valores ideais de umidade no decorrer do processo, Kiehl (1985) recomenda que a umidade seja mantida na faixa de 55%, sendo assim, percebe-se que os tratamentos controlados sempre apresentaram valores dentro ou até superior ao proposto pelo autor, devido às regas, chuvas e revolvimentos recebidos, ao passo que, os tratamentos ao natural, em alguns períodos, mostraram valores abaixo, mesmo recebendo água da chuva. Nota-se ainda, em especial na leira ao natural de poda de árvore (T32) os menores valores de umidade comparados aos demais ao longo do processo. Isso provavelmente se deva ao fato da poda de árvore possuir característica de hidrorrepelência da chuva e ser de difícil degradação, exigindo assim, uma atividade microbiana e fase termófila mais intensa (de 104 dias), o que ocasiona maior perda de água. Silva (2010) também observou esta diminuição da umidade ocasionada por altas temperaturas. Ao finalizar o processo as maiores médias foram observadas em T11, T21 e T41, valores considerados acima da faixa ideal para adubação, que é de até 50% segundo a normativa do MAPA nº 25/2009 (MAPA, 2009). Observa-se, portanto, que estes tratamentos receberam regas excessivas.

Tabela 12 – Comparação dos valores médios de umidade, pH, condutividade elétrica, C, N e relação C/N entre os oito tratamentos.

Umidade (%)									
Tratamentos ⁽¹⁾	T11	T12	T21	T22	T31	T32	T41	T42	
Período (dias)	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	CV (%)
15	52,26B	48,08A	57,56B	36,15A	53,15B	40,56A	70,05C	41,59A	11,85
30	57,44C	57,60C	53,96C	26,81A	57,80C	36,19B	55,05C	52,47C	12,24
60	47,02B	53,31C	64,57D	54,83C	49,92C	30,19A	64,93D	41,48B	8,35
90	61,14B	29,07A	69,28D	57,07B	65,37C	33,15A	72,21D	65,38C	6,01
120	70,74C	50,88B	68,41C	27,68A	59,22B	57,67B	73,16C	36,19A	10,48
pH									
Tratamentos ⁽¹⁾	T11	T12	T21	T22	T31	T32	T41	T42	
Período (dias)	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	CV (%)
15	8,11C	8,66D	6,79 ^a	7,47B	8,00C	7,61B	8,67D	7,85C	2,47
30	8,68C	8,89D	8,48B	7,51A	8,46B	8,64C	8,34B	8,57B	1,08
60	2,26A	5,93B	8,39D	7,27C	8,32D	8,49D	8,50D	7,92D	4,78
90	8,36D	8,63D	7,50 ^a	8,00B	7,68A	8,27C	7,86B	8,11C	1,74
120	8,22C	8,47D	8,15C	7,56A	7,56A	7,93B	7,78B	7,59A	1,78
Condutividade elétrica (mS.cm⁻¹)									
Tratamentos ⁽¹⁾	T11	T12	T21	T22	T31	T32	T41	T42	
Período (dias)	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	CV (%)
15	2,82B	2,68B	4,58C	4,33C	2,26A	4,14C	2,22A	5,07D	8,06
30	2,51A	3,37A	3,43A	3,42A	2,14A	2,85A	2,51A	3,85A	25,40
60	2,26A	5,93B	3,47A	6,25B	2,44A	3,91A	3,15A	3,67A	26,56
90	1,74A	4,95D	2,87B	1,02A	0,94A	6,19E	1,48A	3,53C	16,52
120	1,12A	4,25C	0,92A	3,83C	0,84A	2,50B	1,16A	3,35C	18,01
C (%)									
Tratamentos ⁽¹⁾	T11	T12	T21	T22	T31	T32	T41	T42	
Período (dias)	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	CV (%)
15	27,75A	40,21C	41,71D	42,13D	39,17C	45,66E	36,31B	46,37E	2,21
30	31,87A	38,42C	35,25B	38,70C	32,69A	37,58C	35,66B	34,54B	3,48
60	26,90A	35,08B	28,89A	38,95C	35,21B	38,31C	29,99A	39,17C	3,75
90	24,57A	34,90C	25,26A	38,49C	30,78B	37,10C	28,96B	38,02C	4,97
120	37,36B	26,63A	23,78A	42,36B	29,06A	38,58B	28,56A	40,80B	5,55
N (%)									
Tratamentos ⁽¹⁾	T11	T12	T21	T22	T31	T32	T41	T42	
Período (dias)	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	CV (%)
15	2,99A	4,01C	3,45B	4,03C	3,42B	4,63D	3,05A	4,86D	4,10
30	3,48A	4,27C	4,78D	4,67D	3,32A	3,82B	3,97B	3,67B	3,84
60	2,96A	4,14B	3,41A	4,92C	4,24B	4,36B	3,46A	3,98B	5,39
90	2,82A	4,33C	3,50B	4,47C	3,55B	4,55C	3,33B	4,18C	3,99
120	4,54B	2,90A	3,15A	5,56C	3,45A	4,34B	3,26A	4,98C	6,49
Relação C/N									
Tratamentos ⁽¹⁾	T11	T12	T21	T22	T31	T32	T41	T42	
Período (dias)	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	Média	CV (%)
15	9,3/1A	10/1A	12,1/1B	10,5/1A	11,5/1B	9,9/1A	11,9/1B	9,5/1A	3,76
30	9,2/1C	9/1C	7,4/1A	8,3/1B	9,9/1C	9,9/1C	9/1C	9,4/1A	4,17
60	9,1/1A	8,5/1A	8,5/1A	7,9/1A	8,3/1A	8,8/1A	8,6/1A	9,8/1A	3,34
90	8,7/1C	8,1/1B	7,2/1A	8,6/1C	8,7/1C	8,1/1B	8,7/1C	9,1/1C	2,98
120	8,2/1A	9,2/1A	7,6/1A	7,6/1A	8,5/1A	8,9/1A	8,7/1A	8,2/1A	3,56

Nota ⁽¹⁾: T11 – CS, grãos de soja com palha de soja (controlado); T12 – CS, grãos de soja com palha de soja (natural); T21 – CS, grãos de soja com palha de trigo (controlado); T22 – CS, grãos de soja com palha de trigo (natural); T31 – CS, grãos de soja com poda de árvore (controlado); T32 – CS, grãos de soja com poda de árvore (natural); T41 – CS, grãos de soja com mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore (controlado); T42 – CS, grãos de soja com mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore (natural).

Nota ⁽²⁾: Letras iguais entre as colunas dos tratamentos implicam em equivalência estatística dos valores ao nível de 5% de significância, pelo teste Scott-Knott.

Quanto ao pH, no início do processo de compostagem, mostraram valores equivalentes ($\alpha=0,05$) apenas os tratamentos T11, T31 e T42. Jahnel, Melloni e Cardoso (1999), realizaram compostagem de resíduos urbanos e observaram que no início do processo o pH era ácido (em torno de 5,0) e, após cerca de 50 dias, atingiu valores próximos a 8,5. No presente estudo os valores de pH foram mais altos desde o início e aos 15 dias os tratamentos já alcançaram valores de pH básicos ou alcalinos. Aos 60 dias os tratamentos T21, T31, T32, T41 e T42 assumiram valores semelhantes estatisticamente, e próximos a 8, enquanto nos tratamentos de coleta seletiva com grãos de soja e palha de soja, foram observados os menores valores de pH. Iyengar e Bhave (2006) explicaram que durante este período pode ter acontecido um processo de fermentação com a formação de ácidos, ou seja estas leiras podem ter sido condicionadas a um ambiente anaeróbio. À medida que o processo se desenvolveu, exatamente com 90 dias, permitiu uma estabilização do pH em todos os tratamentos para valores neutros a alcalinos. Leal et al. (2011), em compostagem de crotalária com capim elefante, verificaram que após 60 dias de compostagem o pH se estabilizou em valores próximos a 7,8. Sequeira (2013) ainda mostrou que à medida que o processo se desenvolveu o pH dos compostos se elevaram, fato que não pode ser observado neste estudo, uma vez que um conjunto de fatores contribuem para alterações do pH na compostagem, inclusive os valores de pH dos resíduos compostados que eram em sua maioria alcalinos ou neutros. No final do processo, os compostos, indiferentes do manejo dado ou mistura de resíduos, assumiram valores variando dentro da faixa de aceitação para uso em solo: 7,0 a 8,5, proposta por Valente et al. (2009) e na tolerância admissível ($\text{pH} > 6$) pelas Especificações Técnicas de fertilizantes orgânicos da IN N° 25 do MAPA (2009).

A condutividade elétrica é um parâmetro que tende a diminuir no processo de compostagem. No 15º dia, período de intensa atividade metabólica dos microrganismos os teores foram iguais ($\alpha=0,05$) entre os tratamentos de coleta seletiva e grãos de soja com palha de soja (T11 e T12), e, entre os tratamentos de coleta seletiva e grãos de soja com palha de trigo (T21 e T22). Com 30 dias os valores em todos os tratamentos assumiram equivalência estatística, comprovando a conversão da matéria orgânica para fração mineralizada. Apartir dos 90 dias,

onde as temperaturas se mantiveram mais baixas nos tratamentos controlados (T11, T21, T31 e T41) devido aos revolvimentos que intensificaram a degradação dos resíduos, os valores da condutividade elétrica apresentaram semelhanças ($\alpha=0,05$) entre si. Ao final do processo ainda se pode perceber a diminuição dos valores de condutividade elétrica, assumindo as menores médias para os tratamentos controlados, onde as regas realizadas podem ter ocasionado a solubilização e a lixiviação dos sais. Ainda pode-se perceber que os compostos de todos os tratamentos apresentaram valores aceitáveis para uso agrícola, ou seja, abaixo de 4 mS.cm^{-1} (KIEHL, 2008).

As quantidades de C conforme Tabela 12, não apresentaram uma queda gradual, e alteraram estatisticamente entre os tratamentos nos diferentes períodos, uma vez que a eficiência na degradação do processo de compostagem segundo Pereira (2010), além dos fatores de temperatura, umidade e aeração, depende também do material de origem, que eram diversos nos tratamentos. Estudos por Mallheiros (1996) apresentaram o comportamento carbono orgânico e carbono total variando ao longo de compostagem de casca de pinus com esterco e lã.

O nitrogênio total apresentou nos tratamentos variação ao longo do processo, destacando uma tendência crescente apenas nas leiras: poda de árvore (T32); palha de trigo (T22) de semelhança significativa com T42; todas ao manejo natural e pH elevado, superior a 7. O que se afirma que parte do nitrogênio não se perdeu por volatilização da amônia ou lixiviação, passando para a forma de nitrato. Sequeira (2013), estudando o comportamento do nitrogênio total em várias zonas de uma leira, observou teores crescentes, associados a valores de pH superiores a 8, e explicou que o nitrogênio amoniacal não foi perdido por volatilização, uma vez que o processo de transformação do nitrogênio amoniacal em nitrito é acidificante. Sendo assim, foi possível a transformação do nitrogênio amoniacal em nitrito e posteriormente em nitratos (nitrificação), sendo um indicador de maturação para os compostos.

A relação C/N (Tabela 12), diminuiu em todos os tratamentos, devido às altas temperaturas encontradas no interior das leiras que fizeram o carbono presente se perder na forma de CO_2 , enquanto a fração de nitrogênio total, contida na matéria orgânica inicial, passou a nitrito e nitrato, ou ainda sob condições indesejadas, perdida por volatilização da amônia. No balanço final da relação C/N (Figura 31) dos tratamentos mostraram que as maiores reduções aconteceram nas

leiras de palha de trigo (49,9% e 48,7%), e as montadas com todos os resíduos (T41 e T42), o que demonstra que os processos foram mais eficientes, ou seja, se apresentaram condições mais favoráveis para os microrganismos degradarem a matéria orgânica destes resíduos.

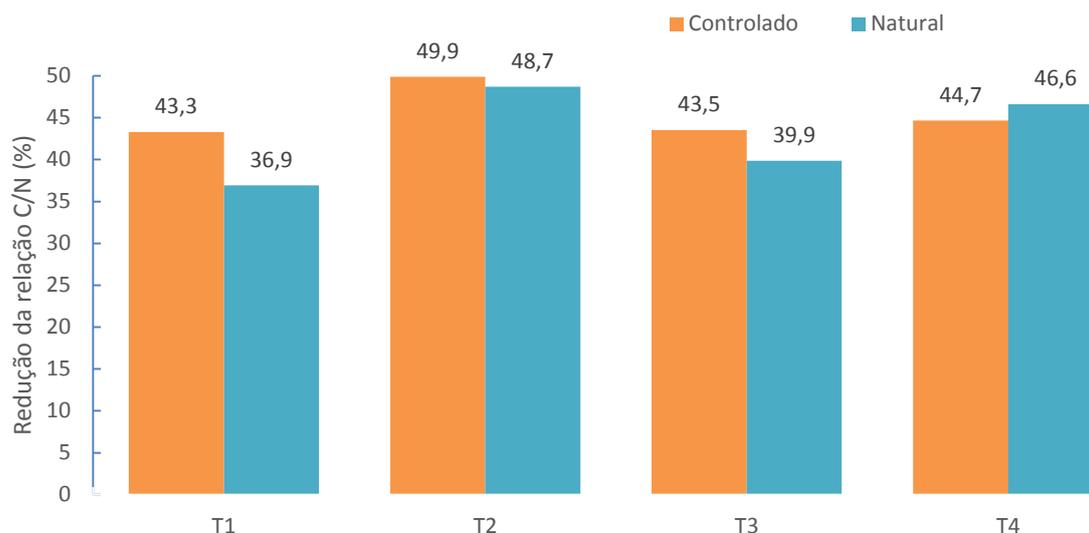


Figura 31 - Redução da relação C/N nos tratamentos.

Nota: T1 – CS, grãos de soja com palha de soja; T2 – CS, grãos de soja com palha de trigo; T3 – CS, grãos de soja com poda de árvore; T4 – CS, grãos de soja com mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore.

Fonte: Autoria própria.

A relação C/N também é usada como indicador da qualidade final do composto e a partir do 60º dia até a finalização, todos os tratamentos apresentaram semelhanças ($\alpha=0,05$) com valores dentro da faixa de compostos maturados, de acordo com Kiehl (2008), de 8/1 a 10/1.

Sendo assim, é possível concluir que a mistura de diferentes resíduos palhosos com os da coleta seletiva e grãos de soja nas leiras permitiu alcançar as fases de estabilização ou maturação em um período rápido de compostagem, uma vez que as leiras foram montadas com relação C/N baixa, pois quanto maior os teores de carbono e nitrogênio dos materiais orgânicos for, maior quantidade de energia será necessária, e conseqüentemente maior será o tempo gasto para degradar toda a fração orgânica (AZEVEDO, 1997; HAMODA et al., 1998; PEIXOTO, 1988).

5.4 REDUÇÃO DE MASSA E VOLUME

Os resultados relacionados à quantificação de massa e de volume dos resíduos utilizados para montagem das leiras e do composto final nos oito tratamentos são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Valores de massa e volume no período de início e final do processo de compostagem nos oito tratamentos.

Tratamentos	⁽¹⁾ Massa (Kg)		Volume (L)	
	Início	Final	Início	Final
T11	160,9	51,8	1220,8	350,4
T12	192,3	84,1	1475,2	497,4
T21	167,2	31,0	1630,6	237,4
T22	148,0	93,5	1526,0	534,1
T31	148,2	65,7	1698,4	545,4
T32	147,0	68,4	1554,3	587,8
T41	149,0	37,8	1777,6	418,2
T42	155,1	82,1	1805,8	568,0

Nota ⁽¹⁾: Valores em base seca (105°C).

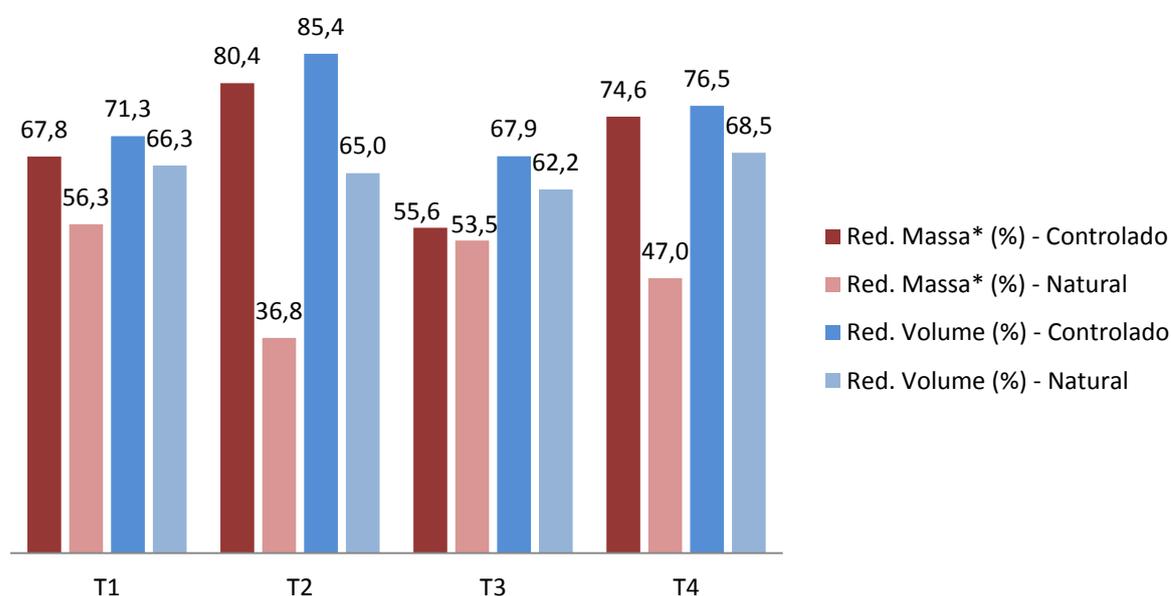
O processo de compostagem implica na perda de carbono na forma de CO₂, resultando em perda de massa e volume da biomassa (SILVA, 2007). À medida que foi ocorrendo a decomposição dos resíduos, ocorreu também a redução de volume e massa, conforme Figura 32, nos tratamentos durante o período experimental.

Com uma visão geral, observa-se que no tratamento com palha de trigo, a leira natural (T22) apresentou o menor índice de redução de massa seca, enquanto a leira controlada (T21) o maior, sendo que os demais tratamentos apresentaram valores ideais de redução de acordo com Kiehl (1985), que indica uma redução de massa de aproximadamente 50% ao longo do processo de compostagem, visto que fatores como aeração, umidade, temperatura e relação C/N podem interferir.

Gorgati (2001), trabalhando com a compostagem de resíduo urbano, obteve reduções médias de massa de 52,5%, 34%, 51,38% e 60,07%, nas

estações primavera, verão, outono e inverno, respectivamente, estando alguns valores próximos aos obtidos neste trabalho.

A redução de volume apresentou valores próximos entre as leiras controladas e ao natural, com destaque ao tratamento com palha de trigo em que apresentou a maior redução na leira controlada. Silva (2007) trabalhando com proporções diferentes de mistura de resíduos ruminal, incubatório, cereais, cinzas e lodos de lagoa e flotador, alcançou valores de redução de volume de 48,7% e 45,2 %, valores muito inferiores ao encontrado neste trabalho.



* Material em base seca (105°C)

Figura 32 - Redução de massa e volume no final do processo de compostagem.

Nota: T1 – CS, grãos de soja com palha de soja; T2 – CS, grãos de soja com palha de trigo; T3 – CS, grãos de soja com poda de árvore; T4 – CS, grãos de soja com mistura de palhas de trigo com soja e poda de árvore.

Fonte: Autoria própria.

Comparando a redução de massa e volume entre os tratamentos controlado e natural, conforme Figura 33, pode-se afirmar que os tratamentos controlados apresentaram as maiores reduções, porém no tratamento com poda de árvore (T3) nota-se semelhanças na redução de massa e volume entre as leiras controlado e natural, devido ao fato de que a poda de árvores possui em sua estrutura complexos como a lignina, hemicelulose, celulose e ceras de difícil

quebra pelos microrganismos, o que demanda maior tempo de compostagem (HERBETS et al., 2005).

No geral, as reduções de massa seguiram uma tendência esperada nos tratamentos que receberam manejo, pois a intensificação dos revolvimentos e a umidificação promoveram maior rapidez na degradação aeróbia dos resíduos, transformando a matéria orgânica presente para a forma mineralizada, assim resultando na diminuição do peso e do volume. As leiras montadas com resíduos ricos em lignina, como a poda de árvore, necessitam de mais tempo para se decompor.

5.5 CARACTERÍSTICAS DOS COMPOSTOS FINAIS

Depois de decorridos 120 dias do processo de compostagem, foram realizadas coletas para a determinação das características físico-químicas dos compostos, a fim de identificar a qualidade final. Na Tabela 14 são apresentados os resultados das análises e os valores limites das variáveis estipuladas pela Instrução Normativa N° 25/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2009), para fertilizantes orgânicos.

É possível verificar que os valores de pH, nitrogênio total, carbono total e relação C/N atenderam aos limites estipulados para fertilizantes orgânicos para todos os tratamentos. Os teores de magnésio, enxofre, boro, cobalto, cobre, níquel e zinco ficaram abaixo dos valores limites, micronutrientes estes de menor absorção para desenvolvimento das plantas. Percebe-se, então, que as quantidades de macronutrientes (N, P, K, Ca) dos compostos finais estiveram dentro dos limites. Já os micronutrientes estiveram abaixo do limite, exceto ferro, cuja explicação para o teor apresentado pode estar associada ao fato das amostras estarem contaminadas com solo, de característica basáltica, portanto rico em óxido de ferro.

Comparando os tratamentos entre si, pode-se observar que os tratamentos que obtiveram maiores variáveis atendendo a normativa foi a leira natural da coleta seletiva com grãos e poda de soja (T12), atendendo a 8 dos parâmetros (de um

total de 15 analisadas) da IN N° 25/2009 (MAPA, 2009), em seguida os tratamentos T21, T31, T32 e T41 atendendo à 7 dos parâmetros.

Em sua maioria, com exceção do tratamento T11, os três demais tratamentos de controle atenderam a normativa com mais da metade das variáveis determinadas. Já as leiras ao natural, apenas duas (T22 e T42) apresentaram mais da metade do total dos variáveis limites.

Dessa forma, pode-se afirmar que os compostos dos oitos tratamentos se encontraram dentro do limite dos parâmetros de, pH, C, N e relação C/N, sendo possível atestar que o composto final estava maturado.

Com relação aos baixos teores de micronutrientes deve-se analisar a matéria-prima utilizada para o processo e a viabilidade de incrementos desses elementos na forma química ao composto final.

Tabela 14 - Média e desvio padrão das características físico-químicas dos compostos finais, de acordo com os valores mínimos exigidos pela Instrução Normativa N° 25:2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para fertilizantes orgânicos.

Variáveis	Limites mínimos IN N° 25/2009	Tratamentos								
		T11	T12	T21	T22	T31	T32	T41	T42	
Umidade (%)	até 50	61,14±2,14	29,07±5,97	72,28±2,06	57,07±3,88	65,37±7,34	33,15±3,82	72,21±3,51	65,38±1,69	
pH	6	8,22±0,03	8,47±0,07	8,15±0,08	7,56±0,17	7,56±0,04	7,93±0,16	7,78±0,02	7,59±0,12	
N total ⁽¹⁾ (%)	0,5	4,54±0,31	2,90±0,23	3,15±0,22	5,56±0,06	3,45±0,09	4,34±0,13	3,26±0,20	4,98±0,04	
C org. total ⁽¹⁾ (%)	15	37,36±2,55	26,63±2,83	23,78±1,11	42,36±0,28	29,06±0,07	38,58±0,47	28,56±0,27	40,80±0,43	
Relação C/N ⁽¹⁾ (%)	até 20	8,24±0,32	9,18±0,27	7,56±0,18	7,62±0,13	8,46±0,23	8,90±0,17	8,75±0,46	8,21±0,03	
Macronutrientes (%)	P	Teor total	0,48±0,02	0,54±0,01	0,62±0,01	0,54±0,01	0,47±0,03	0,42±0,02	0,59±0,01	0,52±0,01
	K	Teor total	2,34±0,09	1,22±0,03	1,22±0,01	2,15±0,06	0,76±0,03	1,69±0,04	1,29±0,04	1,64±0,06
	Ca	1	0,98±0,14	2,10±0,18	2,34±0,10	0,56±0,01	3,00±0,05	5,41±0,97	2,67±0,35	1,47±0,08
	Mg	1	0,49±0,02	0,67±0,01	0,55±0,01	0,36±0,01	0,50±0,01	0,43±0,01	0,63±0,02	0,42±0,01
	S	1	0,33±0,01	0,28±0,00	0,34±0,01	0,32±0,01	0,28±0,00	0,28±0,01	0,33±0,00	0,32±0,01
Micronutrientes (%)	B	0,03	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00
	Cl ⁽²⁾	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Co	0,005	0	0	0,001±0,000	0	0	0	0,002±0,002	0
	Cu	0,05	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00	0,01±0,00
	Fe	0,2	1,0±0,1	3,2±0,0	3,3±0,1	0,5±0,0	2,4±0,2	0,9±0,1	3,1±0,2	1,1±0,1
	Mn	0,05	0,03±0,00	0,08±0,00	0,09±0,00	0,02±0,00	0,06±0,00	0,03±0,00	0,09±0,01	0,03±0,00
	Mo ⁽³⁾	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ni	0,005	0,001±0,000	0,002±0,000	0,002±0,000	0	0	0,001±0,000	0,002±0,000	0
	Si ⁽²⁾	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zn	0,1	0,01±0,00	0,01±0,00	0,02±0,00	0,01±0,00	0,02±0,00	0,007±0,00	0,026±0,00	0,01±0,00
Legenda		Não atende	9	7	8	10	8	8	8	9
		Atende	6	8	7	5	7	7	7	6

Nota⁽¹⁾: Valores expressos em base seca, umidade determinada a 105°C.

Nota⁽²⁾: Não realizada leitura.

Nota⁽³⁾: Não detectado, com valores abaixo do limite de quantificação.

Fonte: Adaptado de IN N° 25/2009 MAPA.

5.6 DESCARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

O aspecto visual do composto final é um dos fatores utilizados na identificação do grau de decomposição, a fim de saber se o composto estava estabilizado ou maturado, pois um composto final pode estar mal decomposto e ser considerado estável sem estar maturado (KIEHL, 2008).

Após os 120 dias de compostagem, na Figura 33, é possível notar a descaracterização do composto no tratamento 1. Percebe-se que a leira T11 resultou em um composto final homogêneo, uniforme, livre de forte odor e sem identificação de nenhum resíduo que o compõe, enquanto no T12 foi possível visualizar resíduos íntegros, como papel, caroços de mangas, casca de laranja e grãos de soja.



Figura 33 - Descaracterização visual dos tratamentos natural e controlado.
Fonte: Autoria própria.

No tratamento 2 (Figura 34), a leira T21, mostrou um composto final de cor escura, característica de maturação do composto e com presenças de aglomerados, formados devido ao excesso de umidade (68,41%), porém com características homogêneas. Já na leira T22 ainda foi possível notar grãos de soja e torrões de aspecto seco e presença da palha de trigo.



Figura 34 - Descaracterização do composto final nos tratamentos controlado (T21) e natural (T22).

Fonte: Autoria própria.

O composto final (Figura 35) da leira T31, apresentou homogeneidade, porém com presença de galhos e folhas, uma vez que a poda de árvores é um material rico em lignina, de difícil decomposição. Na leira T32, houve presença de forte odor, devido à compactação ocasionada que podem ter tornado pequenas áreas com degradação anaeróbia, retardando assim o tempo de degradação dos resíduos, uma vez que se pode visualizar grãos de soja, papéis de germinação, cascas de ovos e verduras ainda em estados íntegros.



Figura 35 - Visualização do composto final nos tratamentos controlado (T31) e natural (T32).
Fonte: Autoria própria.

Ao final dos 120 dias no tratamento 4, composto (Figura 36) pela mistura de palha de soja com trigo e poda de árvore, observou-se na leira controle (T41) um material uniforme, de coloração escura e livre de odor, ao passo que na leira ao natural (T42), visualizou-se a presença de grãos de soja inteiros, formação de torrões e um composto ressequido, devido à umidade que se encontrava em 36,19%.



Figura 36 - Composto final dos tratamentos controlado (T41) e natural (T42).
Fonte: Autoria própria.

De maneira geral, os tratamentos controlados, ao final dos 120 dias do processo de compostagem, obtiveram uma descaracterização e decomposição dos resíduos mais uniforme do que os tratamentos ao natural, apresentando ainda um composto final escuro, livre de odores e resíduos íntegros, ou seja, maturado.

Os compostos finais dos tratamentos ao natural, devido à falta de aeração que proporcionasse a mistura dos resíduos e a umidificação resultaram em um material com odores e com a presença de torrões secos que mantinham aparência estável.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Durante o processo de compostagem (120 dias) nos tratamentos pode-se constatar:

- A ocorrência das fases termófilas e mesófilas com intensidades diferentes nas leiras, onde os tratamentos que não receberam manejo tiveram maior tempo de permanência das elevadas temperaturas, exceto a leira de palha de trigo;
- Os teores de umidade estiveram abaixo do que é tido como ideal nas leiras ao natural, ao contrário dos tratamentos controlados, que por vezes apresentaram, inclusive, umidade em excesso;
- Os valores de pH não diferiram entre os processos controlado e natural nos tratamentos. Aos 90 dias de compostagem já se percebeu em todos os tratamentos uma estabilização do valor de pH, próximo da neutralidade;
- A condutividade elétrica diminuiu cerca de 3 a 4 vezes mais nos tratamentos controlados, comparando-os aos tratamentos ao natural;
- O carbono apresentou variação entre os tratamentos devido à diversidade dos resíduos compostados;
- O nitrogênio apresentou aumento do teor nos tratamentos naturais com palha de soja (T22), poda de árvore (T32) e com a mistura de todos os resíduos (T42);
- A relação carbono e nitrogênio não diferiu entre os sistemas controlado e natural, mas diminuiu ao longo dos dias em todos os tratamentos. As maiores reduções ocorreram nos tratamentos com palha de trigo (T2) e com a mistura de todos os resíduos (T4);
- As reduções de massa foram maiores nos tratamentos que receberam manejo, com destaque para a leira de palha de trigo (T2), com a maior redução. O tratamento com poda de árvore (controlado) apresentou reduções semelhantes ao natural devido à decomposição mais lenta da lignina;
- Ao final do processo a relação C/N mostrou-se semelhante em todos os tratamentos, apresentando compostos maturados. No entanto, pelo aspecto

visual, os tratamentos controlados foram os que apresentaram compostos escuros, homogêneos, livres de odores e resíduos íntegros;

- De acordo com os parâmetros estabelecidos pela IN N° 25/2009 (MAPA), para adubação, os compostos finais se encontraram dentro do limite de pH, C, N e relação C/N. A umidade encontrou-se com valor acima do recomendado e a maioria dos micronutrientes apresentaram valores abaixo do limite proposto, com exceção do ferro (Fe). Os tratamentos ainda atenderam de 6 a 8 parâmetros de um total de 15 da normativa; e,

- A compostagem realizada em local aberto possibilitou às leiras naturais não perderem toda a umidade da biomassa, mas não permitiu alcançar valores ideais, e montadas sob o solo, permitiu adição de nutrientes como o Fe nos compostos e lixiviação de sais e nutrientes.

Tendo em vista os resultados obtidos neste estudo, recomenda-se para futuros trabalhos a avaliação do teor de nitrogênio amoniacal e nitrato durante todo o processo, afim de avaliar a perda e a transformação do nitrogênio no processo de compostagem.

7 CONCLUSÃO

Concluiu-se que o período de 120 dias de compostagem foi suficiente para estabilização da matéria orgânica e os tratamentos controlados resultaram em menor tempo para a maturação da compostagem. Os compostos finais obtidos podem ser aplicados ao solo, o que demonstra que a compostagem é uma técnica eficaz para o tratamento dos resíduos gerados na Embrapa Soja. Seria necessário apenas, o incremento de micronutrientes para que o composto fosse utilizado como fertilizante orgânico.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004. **Resíduos Sólidos- Classificação**, 2004.

_____. NBR 10007. **Amostragem de Resíduos Sólidos**, 2004.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2012**. São Paulo-SP, 2013. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf>>. Acesso em: 26 agos. 2014.

ABREU, Paulo do G.; PAIVA, Doralice P.; ABREU, Valeria M. N.; COLDEBELLA, Arlei. **Casca de arroz e palhada da soja como substrato para compostagem de carcaças de frangos de corte**. Artigos técnicos Ergomix, 2011. Disponível em: <<http://pt.engormix.com/MA-avicultura/administracao/artigos/casca-arroz-palhada-soja-t629/124-p0.htm>>. Acesso em: 15 out. 2014.

APWA - PW - Institute for Solid Wastes of American Public Works Association, 1970. Disponível em: < <http://www.apwa.net/Search?q=composting&page=8>>. Acesso em: 26 jul. 2014.

ARAÚJO, C.; VESOHOSKI, F.; PEREIRA, J. E. J. Jr.; TRENTIN, D.; SANTIAGO, W. E.; FERREIRA, D. T. L. **Resposta produtiva da cultura do trigo na cultivar cd 105 submetida a diferentes dosagens de adubação nitrogenada aplicada em cobertura**. Cascavel-PR, 2007.

AZEVEDO, M. A. **Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: Aspectos teóricos e operacionais**. Departamento de Engenharia Civil, Ed. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 1997. 47p.

BATISTA, J. G. F.; BATISTA, E. R. B. **Compostagem – Utilização em horticultura**. Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo, Açores, p. 252, 2007.

BATTISTI, Dione P.; BATTISTI, José. F. **Avaliação da Eficiência do uso do Esterco Bovino na Compostagem de Resíduos de Poda de Árvores do Município de Medianeira-PR**. Medianeira-PR, 2011.

BENITO, M. A.; MASAGUER, A.; MOLINER, R. A. **Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability**. Bioresource Technol, v. 97, p.2071- 2076, nov. 2006.

BERNAL, M. P; PAREDES, C.; SANCHES, M.; CEGARRA, J.; **Maturity and stability parameters of composts prepared whit a wide range of organic wastes**. **Bioresource Techonology**. Oxford, v.63, p.91-99, 1999.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 28 jul. 2014.

BRITO, Luis. M.; AMARO, Ana L.; MOURÃO, Isabel; COUTINHO, João. **Transformação da matéria orgânica e do nitrogênio durante a compostagem da fração sólida do chorume bovino**. Revista Brasileira Ciência do solo, Viçosa-MG, v. 32, n.5. p.1959-1968, 2008.

BROLLO, Maria J.; SILVA, Mirtes M. **Política e gestão ambiental em resíduos sólidos: revisão e análise sobre a atual situação no Brasil**. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES- Trabalhos técnicos. v.78, 2001.

CARMO, Davi L.; SILVA, Carlos A. **Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos**. R. Bras. Ci. Solo, v. 36, p. 1211- 1220. Lavras-MG, 2012.

CORRÊA, E. K. **Avaliação de diferentes tipos de camas na criação de suínos em crescimento e terminação**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas-RS, 1998. 91p.

COSTA, Monica S. S. de M. **Caracterização dos dejetos de novilhos superprecoces: reciclagem energética e de nutrientes**. Faculdade de Ciências Agrônomicas. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu-SP, 2005. 98p.

COSTA, Monica S. S. de M.; COSTA, Luiz A. de M.; SESTAK, Marcelo; OLIBONE, Dárcio; SESTAK Diego; KAUFMANN, Anderson V.; ROTTA, Sandra R. **Compostagem de resíduos da indústria de desfibrilação de algodão**. Eng. Agríc. Jaboticabal-SP. v.25, n.2, p.540-548, maio/ago., 2005.

CRAWFORD, J. H. Composting of Wastes. Process Biochemistry. p.14-18, 1983.

DUARTE, Francisco M. **Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e eficiência da adubação nitrogenada na cultura do arroz irrigado**. Dissertação de Mestrado. Santa Maria-RS, 2006.

ECOICHEM. **Composting process**. 2004. Disponível em <http://www.ecochem.com/t_compost_faq2.html>. Acesso em: 05 set. 2014.

EHLERS, E. **Sir. Albert Howard é considerado o “pai” da Agricultura Orgânica**. Agricultura Sustentável, Ed. Agropecuária. p.52-56, 1999. Disponível em: <<http://www.drashirleydecampos.com.br/imprimir.php?noticiaid=23756>>. Acesso em: 27 set. 2014.

EMBRAPA. **Embrapa em Números**. Embrapa, Secretária de Comunicação. Brasília, DF, p.138. 2015.

EMBRAPA/SOJA. **Apresentação da Embrapa Soja**. 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/apresentacao>>. Acesso em: 06 jul. 2014.

EPA – Environmental Protection Agency. **Method 3051A - Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils**. Revision 1, febr., 2007. Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2014.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra M. C. P. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Londrina: PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, 1999.

FERREIRA, Daniel F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. Ciência e Agrotecnologia (UFLA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FREITAS, E. **Agropecuária e Biotecnologia**. 2013. Disponível em: <<http://brasileSCO.la/b9829>>. Acesso em: 04 jul. 2014.

GARG, V. K.; GUPTA, R. Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia fetida*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v. 74, n.1, p. 19-24, 2011.

GONÇALVES, M. J. S. **Gestão e Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos. Sua valorização para fins agrícolas pelo método de compostagem**. Trabalho de doutoramento em Engenharia Agronómica, ISA, Lisboa. p. 412. 1999.

HAMODA, M.F.; ABU QDAIS, H.A.; NEWHAM, J. **Evaluation of municipal solid waste composting kinetics**. Resources, Conservation and Recycling, v. 23, p. 209-223, 1998.

HAUG, R.T. **Practical Handbook of Compost Engineering**. 2a. Ed. Taylor e Francis Inc. Boca Raton, Florida, 1993.

HERBETS, R. A.; COELHO, C. R. de A.; MILETTI, L. C.; MEMDONÇA, M. M. de. **Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos**. Revista Saúde e Ambiente / Health and Environment Journal, v. 6, n. 1, jun. 2005.

HOLANDA, Priscila C. **Compostagem e minhocultura**. Fundação Democrito Rocha. CENTEC. Fortaleza- CE, 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006**. 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/>>. Acesso em: 07 jul. 2014.

_____. **Tendência da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil**. 2010. Disponível em: <<http://www.metro.org.br/heliana/tendencias-da-geracao-per-capita-de-residuos-solidos-no-brasil>>. Acesso em: 03 set. 2014.

INÁCIO, Caio de T. **Dinâmica de gases e emissões de metano na compostagem de resíduos orgânicos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ, 2010.

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

INFOAGRO. **Guia prático para atividades de compostagem no domicílio e na comunidade**. 2003. Disponível em: <<http://www.cabo.pe.gov.br/pners/CONTE%20C3%9ADO%20DIGITAL/RES%20C3%8DDUOS%20DOMICILIARES/GUIA%20PR%20C3%81TICO%20COMPOSTAGEM%20-%20ASPAN.doc>>. Acesso em: 29 set. 2014.

IYENGAR, S. R.; BHAVE, P. P. **Invessel composting of household wastes**. Waste Management, v. 26, n. 10, p. 1070-1080, 2006.

APWA - Institute for Solid Wastes of American Publics Works Association. **Municipal refuse disposal public administration service**. 3ª ed. Illinois, p.293-329, 1970.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris, e a questão dos catadores.** Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/ruralbr/balano-resduos-slidos-do-ipea>>. 2012. Acesso em: 07 jul. 2014.

_____. **Relatório de pesquisa: Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos.** Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. 2012. Acesso em: 17 out. 2014.

JAHNEL, Marcelo C.; MELLONI, Rogério; CARDOSO, Elke J. B. N. **Maturidade de composto de lixo urbano.** Scientia Agrícola. v. 56, p. 301-304, 1999.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos.** São Paulo: Editora Agronômica Ceres. p.229-234, 1985.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto.** Piracicaba,-SP, 1998.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto.** Piracicaba-SP, 4 ed., 2004.

KIEHL, E. J. **Adubação orgânica - 500 perguntas e respostas.** Piracicaba, SP. 2008.

LEAL, Marco A. de A.; GUERRA, José G. M.; PEIXOTO, R.T. dos G.; SANTOS, S. da S. **Processo de compostagem a partir da mistura entre capim elefante e crotalária.** Embrapa Agrobiologia. Seropédica-RJ, 2011.

LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; SOUSA, J. T.; PRASAD, S. **Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos.** Rio de Janeiro. Eng. Sanit. Ambient. v. 9, n. 4, oct. -dec. 2004.

MALHEIROS, Sergio M. P. **Avaliação do processo de compostagem utilizando resíduos agroindustriais.** Campinas-SP, 1996. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000116365>>. Acesso em: 10 out. 2014.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 25 de Julho de 2009: normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.** 2009.

MASON, I.G.; MILKE, M.W. **Physical modeling of the composting environment: A review. Part 1: Reactor systems.** Waste Management. v.25, p.481-500, 2005.

MATOS, A. T. **Tratamento de resíduos agroindustriais: Curso sobre tratamento de Resíduos Agroindustriais.** Fundação Estadual do Meio Ambiente. Viçosa-MG, 2005.

NUNES, M. U. C. **Compostagem de resíduos para produção de adubo orgânico na pequena propriedade.** Circular técnico, Embrapa, Aracajú – PE, p. 1678-1945, 2009. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2010/ct_59.pdf>. Acesso em 20 out. 2014.

OLIVEIRA, Margaroni F de. **Identificação e caracterização de actinomicetos isolados de processo de compostagem**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, mar. 2003.

OLIVEIRA, E. C. A.; SARTONI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Universidade de São Paulo. Piracicaba-SP, 2008.

PEIXOTO, J. O. **Destinação final de resíduos, nem sempre uma opção econômica**. Engenharia Sanitária, v.1, p. 15-18, 1988.

PEREIRA, Rafaela A.; FARIAS, Camilo A. S.; REGO, Emanuel. T. do; PEDROSA, Talita D.; CHAVES, Alan D. C. A. **A compostagem como alternativa para problemática dos resíduos no sertão Paraibano**. Revista Verde. v.8, n.1, p.269-273, jan-mar. 2013.

PEREIRA NETO, J. T. Manual de Compostagem. UNICEF. Belo Horizonte-MG, 1996. 56p.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, p.18-70, 2007.

PEREIRA, Débora C. de M. S. **Compostagem pelo método de aeração passiva: uma solução sustentável para os resíduos sólidos orgânicos da indústria de celulose e papel**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Taubaté, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, 2010.

PIEIDADE, M.; AGUIAR, P. **Opções de Gestão de Resíduos Urbanos**. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR, I. P.), Lisboa, p. 211, 2010.

PULLICINO, D. S. **Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of municipal solid waste**. Degree of máster of Science, Departamento f Chemistry, University of Malta, 110p. 2002.

PGRS - Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. **Plano de Gerenciamento dos resíduos sólidos da Embrapa Soja**. Londrina-PR, 2014.

PUYUELO, B.; GEA, T.; SÁNCHEZ, A. **A new control strategy for the composting process based on the oxygen uptake rate**. Chemical Engineering Journal, Lausanne, n.165, p.161-169, 2010.

RICCI, M. dos S. F.; NEVES, P. C. M.; MENEZES, E de L. A. et al. **Cultivo de café orgânico: sistema de produção**. Embrapa Agrobiologia. 2 ed. Dez. 2008. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Cafe/CafeOrganico_2ed/anexo03.htm>. Acesso em: 28 set. 2014.

RIGOLIN, Isabela M. **Compostagem de resíduo sólido de indústria oleoquímica submetido a três inoculantes**. Mestrado em produção vegetal. Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente – SP, 2013.

ROCHA, O. G. F.; SILVA, J. da; MELLO, J. W. V. de; ABRAHÃO, W. A. P. **Manual de procedimento analítico para determinação de VRQ de elementos-traço em solos do estado de Minas Gerais**. Banco de Solos. Fundação Estadual de Minas Gerais – MG, p. 13, 2013.

RUSSO, M.A.T. **Tratamento de Resíduos Sólidos**. Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil. p.196, 2003.

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

SBIZZARO, Mariana. **Vermicompostagem a partir de dejetos de ovino e bovino com palha de cana-de-açúcar**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina-PR, 2013.

SEQUEIRA, L. L. Compostagem de resíduos urbanos e avaliação da qualidade dos produtos obtidos: Caso de estudo Amarsul S.A. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Agronomia/ Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2013.

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

SILVA, L. N da. **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos**. Dissertação de Mestrado, Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR, jul. 2007.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília – DF, 2 ed. rev. Ampl., p.399- 407, 2009.

SPAGNOLLO, E.; BAYER, C.; WILDNER, L.P.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A.; PROENÇA, M.M. **Leguminosas estivais intercalares como fonte de nitrogênio para o milho no Sul do Brasil**. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 26, p. 417-423, 2002.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Departamento de solos: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 1995, 175p.

TEXEIRA, L. B.; OLIVEIRA, R. F. de; FURLAN JÚNIOR, J.; CRUZ, E. De S.; GERMANO, V. L. C. **Compostagem de lixo orgânico urbano no município de Barbarena – Pará**. Embrapa Amazônia Oriental. Belém-PA, 2000. 22p.

TEIXEIRA, L. B. **Compostagem: lixo orgânico e resíduos da agroindústria do açaí**. Embrapa Amazônica Oriental. Belém-PA, 2006.

TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y. **Characterization and composting of poultry litter in forced-aeration piles**. *Bioresources Technology*. v.37. p.869-880, 2002.

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

VIEIRA, Ana C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel- PR, jan. 2012.

VIEIRA, Adriana C. P. **A percepção do consumidor diante dos riscos alimentares: A importância da segurança dos alimentos**. Âmbito jurídico. 2014. Disponível em: <

http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=6587>. Acesso em: 18 ago. 2014.

US-EPA - Environmental Protection Agency. **SW 846 method 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils**. 2007. Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2014.

ZHU, N.; DENG, C.; XIONG, Y.; QIAN, H. **Performance characteristics of three aeration systems in the swine manure composting**. *Bioresour Technol*, v. 93, p 319-26, dez. 2004.

APÊNDICE A

Tabela 1 - Repetições dos valores das análises físico-químicas

	Umidade (%)							
	T11	T12	T21	T22	T31	T32	T41	T42
15	49,18	48,52	59,64	34,43	54,10	50,38	71,50	38,06
15	50,58	47,16	55,31	36,52	54,57	47,55	71,50	47,90
15	57,03	48,57	57,72	37,50	50,77	23,74	67,15	38,80
30	58,14	50,57	58,34	30,04	59,52	39,41	57,37	59,20
30	58,10	70,34	54,53	25,70	57,14	39,56	49,32	58,35
30	56,08	51,90	49,02	24,70	56,73	41,61	58,45	39,85
60	49,42	53,68	68,51	45,77	50,74	28,39	64,96	38,48
60	45,27	47,59	61,20	63,63	48,97	33,03	64,67	44,04
60	46,38	58,67	64,00	55,09	50,05	29,14	65,15	41,93
90	62,75	27,36	63,48	60,16	65,67	33,47	73,14	62,74
90	61,97	27,92	77,34	53,15	64,54	32,57	71,91	64,50
90	58,71	31,94	76,02	57,91	65,90	33,40	71,59	68,90
120	68,36	51,39	69,11	33,50	64,94	52,89	78,43	34,90
120	69,91	41,92	65,32	27,63	64,50	63,40	70,86	38,72
120	73,95	59,33	70,80	21,91	48,21	56,73	70,20	34,96
	pH							
	T11	T12	T21	T22	T31	T32	T41	T42
15	8,15	8,56	6,48	7,65	2,48	3,9	8,63	7,73
15	8,06	8,64	6,78	7,66	2,1	4,08	8,66	7,96
15	8,13	8,77	7,12	7,11	2,21	4,45	8,72	7,86
30	8,75	8,92	8,37	7,56	1,93	1,81	8,37	8,53
30	8,67	8,87	8,44	7,39	2,29	3,62	8,44	8,56
30	8,63	8,88	8,63	7,58	2,19	3,12	8,22	8,61
60	2,21	6,27	8,43	7,21	2,09	3,5	8,12	7,86
60	2,27	5,22	8,32	7,29	2,43	3,47	8,11	8,24
60	2,31	6,3	8,43	7,30	2,8	4,76	9,26	7,66
90	8,35	8,65	7,50	7,99	0,96	6,75	7,62	8,12
90	8,3	8,68	7,51	7,94	0,83	6,4	7,74	7,96
90	8,43	8,55	7,49	8,07	1,03	5,42	8,21	8,24
120	8,26	8,46	8,27	7,35	0,98	2,63	7,78	7,41
120	8,21	8,57	8,06	7,81	0,77	2,64	7,8	7,59
120	8,19	8,38	8,13	7,51	0,76	2,22	7,75	7,78
	Condutividade elétrica (mS.cm-1)							
	T11	T12	T21	T22	T31	T32	T41	T42
15	2,48	2,62	4,78	4,52	2,48	3,9	2,04	5,08
15	3,5	2,68	4,47	4,37	2,1	4,08	2,57	5,00
15	2,47	2,73	4,49	4,11	2,21	4,45	2,04	5,14
30	2,6	2,36	3,92	3,55	1,93	1,81	2,49	3,90
30	2,85	5,42	2,90	3,44	2,29	3,62	2,52	3,36

30	2,09	2,33	3,46	3,28	2,19	3,12	2,53	4,30
60	8,75	8,84	2,92	6,66	2,09	3,5	1,5	3,72
60	8,76	8,94	4,16	5,78	2,43	3,47	2,06	2,58
60	8,75	8,89	3,33	6,32	2,8	4,76	5,9	4,72
90	1,75	4,8	1,83	1,03	0,96	6,75	1,9	3,24
90	1,73	4,62	3,22	1,06	0,83	6,4	1,45	3,81
90	1,73	5,42	3,57	0,98	1,03	5,42	1,08	3,53
120	1,15	3,91	0,92	3,32	0,98	2,63	1,01	3,43
120	1,09	4,35	0,89	3,12	0,77	2,64	1,19	3,35
120	1,11	4,5	0,94	5,04	0,76	2,22	1,28	3,28

Carbono (%)

	T11	T12	T21	T22	T31	T32	T41	T42
15	27,69	39,46	42,82	42,29	39,46	46,25	35,84	45,58
15	27,80	40,96	40,60	41,97	38,87	45,10	36,78	47,19
30	33,16	38,71	34,72	36,71	32,47	37,78	35,87	34,62
30	30,58	38,13	35,78	40,69	32,90	37,37	35,48	34,46
60	25,39	34,43	29,82	39,03	34,81	36,79	29,58	38,61
60	28,40	35,73	27,95	38,87	35,60	39,84	30,40	39,72
90	22,18	33,76	25,90	37,81	31,15	36,13	30,14	38,15
90	26,95	36,03	24,62	39,17	30,42	38,07	27,81	37,89
120	34,81	24,30	22,67	42,65	29,14	38,10	28,30	40,36
120	39,91	28,96	24,89	42,10	29,01	39,05	28,83	41,23

Nitrogênio (%)

	T11	T12	T21	T22	T31	T32	T41	T42
15	2,93	3,92	3,47	3,99	3,51	4,58	2,85	4,70
15	3,05	4,10	3,44	4,07	3,32	4,68	3,24	5,07
30	3,47	4,27	4,78	4,46	3,21	3,73	3,86	3,52
30	3,49	4,27	4,78	4,87	3,42	3,90	4,07	3,82
60	2,81	4,08	3,43	4,85	3,96	4,13	3,34	3,93
60	3,11	4,19	3,38	4,98	4,52	4,58	3,61	4,02
90	2,60	4,25	3,50	4,44	3,47	4,38	3,38	4,14
90	3,03	4,42	3,51	4,51	3,63	4,72	3,28	4,22
120	4,22	2,67	2,93	5,50	3,36	4,20	3,07	4,94
120	4,85	3,13	3,37	5,62	3,53	4,47	3,48	5,01

Relação C/N

	T11	T12	T21	T22	T31	T32	T41	T42
15	9,45	10,06	12,35	10,61	11,26	10,11	12,55	9,70
15	9,11	10,00	11,79	10,32	11,70	9,64	11,35	9,30
30	9,56	9,07	7,27	8,24	10,10	10,13	9,30	9,83
30	8,75	8,94	7,49	8,36	9,62	9,59	8,72	9,02
60	9,02	8,45	8,70	8,05	8,79	8,90	8,85	9,83
60	8,75	8,94	8,26	7,81	7,87	8,69	8,42	9,88
90	8,54	7,94	7,40	8,51	8,97	8,24	8,91	9,22
90	9,15	8,52	7,01	8,69	8,37	8,07	8,48	8,95
120	8,24	9,10	7,74	7,75	8,69	9,07	9,22	8,18
120	8,89	8,16	7,38	7,49	8,23	8,73	8,29	8,23

Tabela 2: Médias e desvio padrão das análises físico-químicas.

Dias	Umidade (%)									
	15		30		60		90		120	
	Média	Desv. P	Média	Desv. P	Média	Desv. P	Média	Desv. P	Média	Desv. P
T11	52,26	4,19	57,44	1,18	47,02	2,15	61,14	2,14	70,74	2,89
T12	48,08	0,80	57,60	11,05	53,31	5,55	29,07	2,50	50,88	8,71
T21	57,56	2,17	53,96	4,69	64,57	3,69	72,28	7,65	68,41	2,81
T22	36,15	1,57	26,81	2,84	54,83	8,93	57,07	3,58	27,68	5,80
T31	53,15	2,07	57,80	1,51	49,92	0,90	65,37	0,73	59,22	9,53
T32	40,56	14,63	40,19	1,23	30,19	2,49	33,15	0,50	57,67	5,31
T41	70,05	2,51	55,05	4,99	64,92	0,24	72,21	0,82	73,16	4,57
T42	41,59	5,48	52,47	10,93	41,48	2,80	65,38	3,17	36,19	2,19

Dias	pH									
	15		30		60		90		120	
	Média	Desv. P								
T11	8,11	0,05	8,68	0,06	2,26	0,05	8,36	0,07	8,22	0,04
T12	8,66	0,11	8,89	0,03	5,93	0,62	8,63	0,07	8,47	0,10
T21	6,79	0,32	8,48	0,13	8,39	0,06	7,50	0,01	8,15	0,11
T22	7,47	0,31	7,51	0,10	7,27	0,05	8,00	0,07	7,56	0,23
T31	2,26	0,06	2,14	0,09	2,44	0,13	0,94	0,03	0,84	0,05
T32	4,14	0,26	2,85	0,11	3,91	0,05	6,19	0,16	2,50	0,21
T41	8,67	0,05	8,34	0,11	8,50	0,66	7,86	0,31	7,78	0,03
T42	7,85	0,12	8,57	0,04	7,92	0,29	8,11	0,01	7,59	0,19

Dias	Condutividade elétrica									
	15		30		60		90		120	
	Média	Desv. P	Média	Desv. P	Média	Desv. P	Média	Desv. P	Média	Desv. P
T11	2,82	0,59	2,51	0,39	8,75	0,01	1,74	0,01	1,12	0,03
T12	2,68	0,06	3,37	0,78	8,89	0,05	4,95	0,42	4,25	0,31
T21	4,58	0,17	3,43	0,51	3,47	0,63	2,87	0,92	0,91	0,02
T22	4,33	0,21	3,42	0,14	6,25	0,44	1,02	0,04	3,83	1,06
T31	2,26	0,20	2,14	0,19	2,44	0,36	0,94	0,10	0,84	0,12
T32	4,14	0,28	2,85	0,93	3,91	0,74	6,19	0,69	2,50	0,24
T41	2,22	0,31	2,51	0,02	3,15	2,40	1,48	0,41	1,16	0,14
T42	5,07	0,07	3,85	0,47	3,67	1,07	3,53	0,29	3,35	0,08

Dias	C									
	15		30		60		90		120	
	Média	Desv. P								
T11	27,74	0,08	31,87	1,38	26,90	2,13	24,57	3,37	37,36	3,61
T12	40,21	1,06	38,42	0,41	35,08	0,92	34,89	1,61	26,63	3,30
T21	41,71	1,57	35,25	0,75	28,88	1,32	25,26	0,91	23,78	1,57
T22	42,13	0,23	38,70	2,82	38,95	0,11	38,49	0,96	42,38	0,39
T31	39,17	0,42	32,69	0,30	35,20	0,56	30,78	0,51	29,08	0,10
T32	45,68	0,81	37,58	0,29	38,31	2,16	37,10	1,37	38,58	0,67
T41	36,31	0,66	35,67	0,27	29,99	0,58	28,97	1,65	28,56	0,38

T42	46,38	1,34	34,54	0,11	39,16	0,79	38,02	0,19	40,80	0,61
-----	-------	------	-------	------	-------	------	-------	------	-------	------

N

Dias	15		30		60		90		120	
	Média	Desv. P								
T11	2,99	0,09	3,48	0,02	2,96	0,21	2,82	0,31	4,54	0,44
T12	4,01	0,12	4,27	0,00	4,13	0,08	4,34	0,12	2,90	0,32
T21	3,45	0,02	4,78	0,00	3,40	0,03	3,51	0,01	3,15	0,31
T22	4,03	0,06	4,66	0,29	4,92	0,09	4,48	0,05	5,56	0,08
T31	3,41	0,13	3,32	0,15	4,24	0,40	3,55	0,11	3,44	0,12
T32	4,63	0,07	3,81	0,12	4,36	0,31	4,55	0,24	4,34	0,19
T41	3,05	0,27	3,96	0,15	3,48	0,19	3,33	0,07	3,28	0,29
T42	4,89	0,26	3,67	0,21	3,97	0,06	4,18	0,06	4,97	0,05

Relação C/N

Dias	15		30		60		90		120	
	Média	Desv. P								
T11	9,28	0,24	9,15	0,57	8,89	0,19	8,84	0,43	8,56	0,46
T12	10,03	0,04	9,00	0,09	8,69	0,35	8,23	0,41	8,63	0,67
T21	12,07	0,40	7,38	0,16	8,48	0,31	7,20	0,27	7,56	0,25
T22	10,46	0,20	8,30	0,09	7,93	0,17	8,60	0,13	7,62	0,19
T31	11,48	0,31	9,86	0,34	8,33	0,65	8,67	0,43	8,46	0,32
T32	9,87	0,33	9,86	0,38	8,80	0,15	8,16	0,12	8,90	0,24
T41	11,95	0,85	9,01	0,41	8,63	0,30	8,70	0,31	8,75	0,66
T42	9,50	0,28	9,42	0,57	9,85	0,04	9,09	0,19	8,20	0,04