

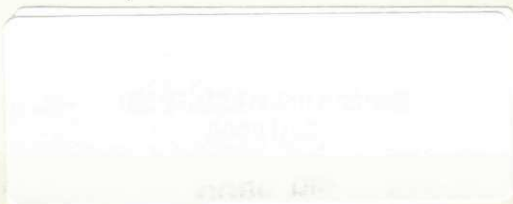
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ESTUDO DA COMPOSTABILIDADE DE RESÍDUOS
DE USINAS DE AÇÚCAR E DE ALCÓOL

Kelma Maria Nobre Vitorino

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

1991



ESTUDO DA COMPOSTABILIDADE DE RESÍDUOS
DE USINAS DE AÇÚCAR E ALCOOL

por

Kelma Maria Nobre Vitorino

Dissertação apresentada ao Curso de
Pós-Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para
obtenção do Grau de MESTRE.

Área de Concentração: RECURSOS HÍDRICOS - SUB-ÁREA - ENGENHARIA
SANITÁRIA

Orientador : JOÃO TINÔCO PEREIRA NETO

Co-Orientador : ADRIANUS CORNELIUS VAN HAANDEL

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

1991



V845e Vitorino, Kelma Maria Nobre
Estudo da compostabilidade de residuos de usinas de
acucar e de alcool / Kelma Maria Nobre Vitorino. - Campina
Grande, 1991.
140 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) -
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e
Tecnologia.

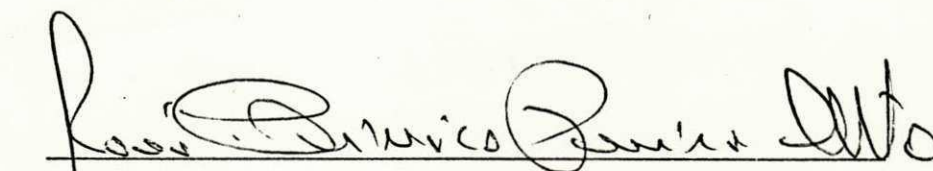
1. Residuos - 2. Compostagem - 3. Dissertacao I. Pereira
Neto, Joao Tinoco, Ph.D II. Haandel, Adrianus Cornelius
Van, Ph.D III. Universidade Federal da Paraiba - Campina
Grande (PB) IV. Título

CDU 663.543(043)

ESTUDO DA COMPOSTABILIDADE DE RESÍDUOS
DE USINAS DE AÇÚCAR E ÁLCOOL

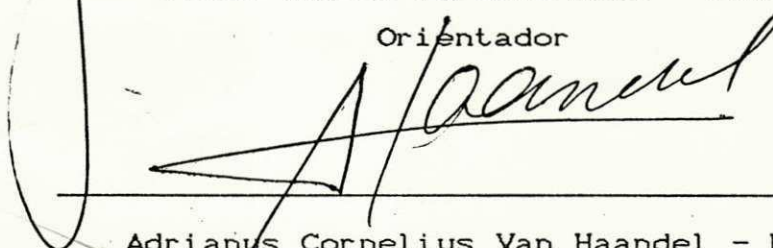
KELMA MARIA NOBRE VITORINO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 04/10/1991



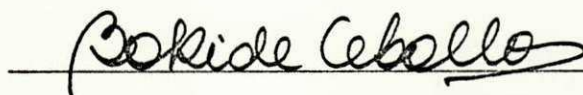
João Tinóco Pereira Neto - PhD

Orientador



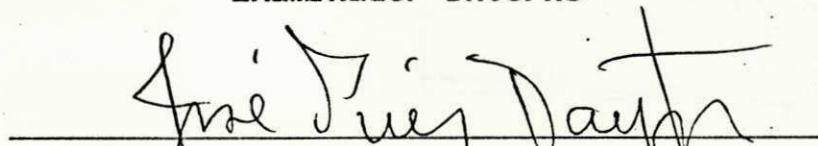
Adrianus Cornelius Van Haandel - PhD

Co-Orientador



Beatriz S. Ovruski de Ceballos - M.Sc

Examinador Interno



José Pires Dantas - PhD

Examinador Externo

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

1991

AGRADECIMENTOS

Ao professor João Tinôco Pereira Neto, pela sua orientação e incentivo.

À Universidade Federal da Paraíba, especialmente aos professores e funcionários da Área de Engenharia Sanitária e Ambiental - AESA pelo ensinamento e pela colaboração dada durante o curso.

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente aos funcionários do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental - LESA pelo apoio dado durante o desenvolvimento da pesquisa.

Ao professor João Batista Queiroz de Carvalho pela amizade.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração desse trabalho.

A minha família

RESUMO

As Usinas de Açúcar e Alcool caracterizam-se pela produção de uma grande quantidade de resíduos orgânicos, Bagaço-de-cana, Torta de Filtro e Vinhoto, que devido as suas características poluentes não devem ser lançados no meio ambiente sem antes serem submetidos a um processo de tratamento (Rameh, 1980; Bichara e Pizysieznig, 1991).

Acreditando-se que o tratamento e reciclagem destes resíduos com a produção de um fertilizante orgânico para ser utilizado no próprio cultivo da cana-de-açúcar, seja a solução mais adequada para eliminar os impactos ambientais causados por estas indústrias, é que o presente trabalho teve como principal objetivo definir uma metodologia de co-compostagem destes resíduos.

Nesta pesquisa foi utilizado o método de compostagem por reviramento também conhecido como processo Windrow.

Durante a pesquisa foi estudada a necessidade de inóculo (esterco bovino) e definida a composição percentual de mistura dos resíduos que proporcionasse melhores condições de compostabilidade. Foram montadas leiras com os resíduos de Usinas de Açúcar; com os resíduos de Destilarias Autônomas; e leiras com os resíduos de Usinas de Açúcar com Destilaria Anexa. As leiras foram construídas em escala piloto (1 a 3 toneladas) e em escala real de trabalho (17,5 toneladas).

O monitoramento do processo foi efetuado através de análises físicas (densidade e temperatura); físico-químicas (teor de umidade e pH); químicas (carbono orgânico compostável,

nitrogênio total, sódio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo, ferro, zinco, cobre e manganês); bacteriológica (determinação de estreptococos fecais), além de observações diárias, como: cor, odor e atração de vetores.

Ao final de um período de compostagem médio de 160 dias, tempo considerado ótimo em se tratando de materiais celulolíticos (bagaço-de-cana), foi obtido um composto orgânico com elevado grau de estabilização e humificação, apresentando relação C/N média de 10:1 para o material inoculado de Resíduos de Usinas de Açúcar e de 15:1 para o material inoculado de Destilarias Autônomas e uma relação C/N média de 13:1 para a mistura não inoculada de Resíduos de Usinas de Açúcar com Destilaria Anexa.

A metodologia ora proposta caracteriza-se por apresentar baixo custo e alta flexibilidade operacional, podendo ser aplicada em qualquer escala de trabalho.

ABSTRACT

The sugar and alcohol industry produces a great amount of organic wastes like Bagasse, Filter Cake and Vinhace (liquid waste), which are responsible for several impacts on the environment, when disposed of without treatment. The problem can be solved by recycling these wastes to produce a stabilized organic compost, which could be applied to the soil used for growing sugar cane.

The main objective of the present study was to find the best and most efficient method for co-composting these materials. The composting process used a version of the traditional windrow, utilising low cost methodology.

As part of the research fresh cow manure was used as an inoculum and additive. Piles were made, using the raw wastes in the forms they are produced in the industrial processes: Alcohol Industry - bagasse and vinhace; Sugar Industry - bagasse and filter cake; and also wastes from industries that produce both alcohol and sugar. Piles were built initially with 1 - 3 tons of material to determine the required proportion of raw material and inoculum, and subsequently in large piles (17 tons).

Process monitoring included: physical analysis (density and temperature); physical-chemical analysis (humidity and pH); chemical analysis (C, N, Na, K, Ca, Mg, P, Fe, Zn, Cu and Mn); and bacteriological analysis (using faecal streptococcus as an indicator microorganism). Observations were also made in terms of visible changes of the material during composting, odour production and vector attraction.

At the end of composting process (150 days) the compost

obtained . was in an advanced state of stabilization and humification indicated by a C/N ration of 10 to 15. The level of faecal streptococci was reduced to acceptable values. On this basis composting provides an excellent means for recycling these industrial wastes for use in agriculture.

ÍNDICE

	Página
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 - Histórico da produção de açúcar e álcool no Brasil ...	4
2.2 - Usinas de açúcar e álcool	7
2.3 - Resíduos de usinas de açúcar e álcool	8
2.3.1 - Bagaço-de-cana	8
2.3.2 - Torta de Filtro	11
2.3.3 - Vinhoto	14
2.4 - Necessidade de adubação no cultivo da cana-de-açúcar ..	15
2.5 - Compostagem	18
2.5.1 - Introdução	18
2.5.2 - Definição	19
2.5.3 - Classificação	19
2.5.4 - Microbiologia	22
2.5.4.1 - Bactérias	23
2.5.4.2 - Fungos	24
2.5.4.3 - Actinomicetos	25
2.5.5 - Mudanças durante o processo de compostagem	26
2.5.6 - Fatores intervenientes no processo	28
2.5.6.1 - Disponibilidade de oxigênio	28
2.5.6.2 - Teor de umidade	30
2.5.6.3 - Temperatura	31
2.5.6.4 - Nutrientes	31
2.5.6.5 - Tamanho da partícula	33
2.5.7 - Inóculos e aditivos	34

2.5.8 - Decomposição da celulose	.....	36
2.5.9 - Decomposição da hemicelulose	.....	38
2.5.10 - Decomposição da lignina	.....	38
2.5.11 - Grau de maturação do composto	.....	40
2.6 - Sistema de compostagem Windrow	.....	41
2.7 - Compostagem de resíduos da indústria sucroalcooleira ..		43
CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS	.....	49
3.1 - Matérias primas	.....	49
3.2 - Metodologia da Pesquisa	.....	49
3.3 - Construção das Leiras	.....	51
3.4 - Técnica de Amostragem	.....	51
3.5 - Monitoramento	.....	52
3.6 - Análise do material	.....	53
3.6.1 - Análises Físicas	.....	53
3.6.1.1 - Densidade	.....	53
3.6.1.2 - Temperatura	.....	53
3.6.2 - Análises físico-químicas	.....	53
3.6.2.1 - Teor de umidade	.....	53
3.6.2.2 - pH	.....	54
3.6.3 - Análises químicas	.....	54
3.6.3.1 - Carbono orgânico compostável	.....	54
3.6.3.2 - Nitrogênio total	.....	55
3.6.3.3 - Potássio, Cálcio, Magnésio e Fósforo	.....	55
(macronutrientes) e Ferro, Zinco, Cobre e		
Manganês (micronutrientes) e Sódio		
3.6.4 - Análise bacteriológica	.....	56
3.6.4.1 - Estreptococos fecais	.....	56
3.6.5 - Outras observações	.....	57
3.7 - Ciclo de reviramento	.....	57

3.8 - Término da fase ativa	.....	57
3.9 - Término da fase de maturação	.....	58
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES	.....	62
4.1 - Estudos preliminares	.....	62
4.1.1 - Matérias primas	.....	62
4.1.2 - Construção das leiras	.....	63
4.1.3 - Ciclo de reviramento das leiras	.....	64
4.1.4 - Análises físicas	.....	65
4.1.4.1 - Densidade	.....	65
4.1.4.2 - Temperatura	.....	65
4.1.5 - Análises físico-químicas	.....	68
4.1.5.1 - Teor de umidade	.....	68
4.1.5.2 - pH	.....	68
4.1.6. - Análises químicas	.....	69
4.1.6.1 - Carbono orgânico compostável	.....	69
4.1.6.2 - Nitrogênio total	.....	71
4.1.6.3 - Relação C/N	.....	71
4.1.6.4 - Potássio, Calcio, Magnésio e Fósforo	.....	72
(macronutrientes) e Ferro, Zinco, Cobre e		
Manganês (micronutrientes) e Sódio		
4.1.7 - Análise bacteriológica	.....	73
4.1.7.1 - Estreptococos fecais	.....	73
4.1.8 - Outras observções	.....	74
4.1.8.1 - Observções de cor, odor e atração de vetores	.....	74
4.2 - Experimentos com resíduos da indústria sucroalcooleira		75
(Bagaço-de-cana, Torta de Filtro e Vinhoto)		
4.2.1 - Matérias primas	.....	75
4.2.2 - Construção das leiras	.....	76
4.2.3 - Ciclo de reviramento	.....	78

4.2.4 - Análises físicas	79
4.2.4.1 - Densidade	79
4.2.4.2 - Temperatura	80
4.2.5 - Análises físico-químicas	83
4.2.5.1 - Teor de umidade	83
4.2.5.2 - pH	84
4.2.6 - Análises químicas	85
4.2.6.1 - Carbono orgânico compostável	85
4.2.6.2 - Nitrogênio total	87
4.2.6.3 - Relação C/N	88
4.2.6.4 - Potássio, Cálcio, Magnésio e Fósforo (macronutrientes) e Ferro, Zinco, Cobre e Manganês (micronutrientes) e Sódio	89
4.2.7 - Análise bacteriológica	90
4.2.7.1 - Streptococos fecais	90
4.2.8 - Outras observações	90
4.2.8.1 - Observações de cor, odor e atração de vetores	90
CAPÍTULO V - CONCLUSÕES	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

As usinas de açúcar e álcool geram elevada quantidade de resíduos orgânicos que não podem ser lançados diretamente no meio ambiente sem antes serem submetidos a um processo de tratamento.

As usinas de açúcar produzem como resíduos, o bagaço-de-cana, resultante da moagem da cana-de-açúcar para obtenção do caldo e a torta de filtro, resíduo formado por todas as impurezas que foram precipitadas pela ação de coagulantes químicos. As destilarias por sua vez, produzem como resíduos, o bagaço e a vinhaça ou vinhoto, resíduo líquido da destilação do mosto fermentado (caldo de cana, melação ou xarope diluído), para obtenção do álcool.

A massa do bagaço, representa aproximadamente 25% do peso da cana processada, sendo que parte desse é usualmente queimado em caldeira, restando ainda grande quantidade de bagaço excedente, que é geralmente disposto a céu aberto (Bichara e Pizysieznig, 1991).

A quantidade de torta produzida, situa-se em torno de 40Kg por tonelada de cana processada. Este resíduo é geralmente lançado "in natura" no solo. Entretanto, como esta não é uma prática correta, esse material deveria ser previamente submetido a um tratamento de decomposição até alcançar condições de ser aplicado ao solo sem acarretar prejuízos à cultura e ao meio ambiente (Eira e Paccola, 1980; Campos, 1991).

O vinhoto por sua vez, é produzido na razão de 12 a 15 litros por litro de álcool e tem elevados valores de DBO (Demanda

Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio), em torno de 12.000 e 24.000 mg/l, respectivamente, que o classificam como um resíduo altamente poluente (Rameh, 1980; Bichara e Pizysieznig, 1991).

Várias pesquisas comprovam o promissor efeito da vinhaça como fertilizante orgânico, devido a sua composição química. Alguns destes trabalhos sugerem que, em virtude do seu elevado teor de potássio, esta deva ser complementada com fertilizantes minerais como nitrogênio e fósforo, para obtenção de melhor balanceamento NPK e maior produtividade (Glória, 1975; Stupiello et alii, 1977; Berton et alii, 1983).

A utilização de um processo controlado de degradação e estabilização dos resíduos gerados pela indústria sucroalcooleira pode produzir um fertilizante orgânico para ser utilizado no sistema de produção agrícola, evitando os efeitos adversos do uso da matéria prima "in natura". Essa prática tanto contribuirá para o aumento ou manutenção da produtividade da cana-de-açúcar, quanto diminuirá os custos de produção pela adição de um adubo orgânico de baixo custo.

Na busca de um método simples de tratamento desses resíduos, que além de gerar um adubo orgânico, para uso no próprio plantio da cana-de-açúcar, esteja comprometido com a reciclagem e a proteção ambiental, encontrou-se a compostagem como um processo que vem de encontro a todos estes objetivos. A compostagem é definida como sendo um processo de biodegradação aeróbica e conseqüente humificação de compostos orgânicos para uso agrícola (Pereira Neto, 1988).

Existem poucas pesquisas sobre a produção de compostos a

partir de resíduos de usinas de açúcar e álcool. Não foram encontrados registros de trabalhos que tenham se preocupado com o uso simultâneo de todos os resíduos produzidos em uma indústria sucroalcooleira na compostagem natural aeróbica sem o uso de inoculantes e aditivos industrializados. Diante deste fato torna-se de grande importância o estudo da compostagem natural destes resíduos como forma adequada de tratamento dos mesmos.

O método de compostagem utilizado nesta pesquisa é uma modificação do processo "Windrow", que consiste na co-compostagem por reviramento, manual ou mecânico de bagaço-de-cana, torta de filtro e vinhoto.

Durante a pesquisa foram efetuados os seguintes estudos:

- Definição do melhor ciclo de reviramento
- Variação da temperatura
- Controle da umidade
- Observação da necessidade de inóculo
- Redução da relação C/N

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Histórico da Produção de Açúcar e Alcool no Brasil

A agroindústria canavieira tem se caracterizado, tradicionalmente, como um dos mais importantes e tradicionais segmentos da economia do Brasil.

A história econômica da indústria açucareira, confunde-se com a própria história do Brasil, sendo a primeira atividade não extrativista desenvolvida no País, tendo em vista, fundamentalmente, atender a demanda de exportação (Barros, 1975).

Segundo Relatório do Instituto do Açúcar e do álcool-IAA (1972), o Brasil foi o principal País exportador de açúcar, desde meados do século XVI até meados do século XVII, época em que este produto figurava como o mais importante no comércio marítimo internacional. Lippman (1942), relata que o açúcar tornou-se neste período a principal presença brasileira no comércio europeu.

Dados históricos também registram que a indústria alcooleira surgiu no Brasil como consequência natural da produção açucareira, pelo fato de o álcool constituir um subproduto que pode ser obtido a partir do mel residual da fabricação de açúcar (Pamplona, 1984). Gontijo (1985), relata que o álcool produzido destinava-se fundamentalmente à indústria químicofarmacêutica, de perfumaria e de bebidas, as quais consumiam principalmente álcool hidratado.

Em 1929, a crise mundial decorrente do colapso da

economia americana, afetou seriamente a agroindústria canavieira nacional, levando inclusive a intervenção estatal no setor no início da década de 30. A produção de açúcar foi então regulamentada pelos chamados "planos de safra", cujo principal objetivo era a obtenção de certo equilíbrio entre a produção e o consumo interno, a níveis razoáveis de preços.

Com a redução dos preços no mercado internacional, e consequente queda da produção de açúcar, a alternativa de produzir álcool com os excessos da matéria prima passou a constituir fator regulador da atividade açucareira, e desde então teve-se uma produtividade crescente (Anuário Açucareiro, 1973; Pamplona, 1984).

Este fato foi sem dúvida o principal fator que levou à utilização de álcool para fins carburantes, o que foi institucionalizado através do Decreto n.º 19.717, de 20 de fevereiro de 1931. Este decreto tornou obrigatório a mistura de álcool com a gasolina, na proporção mínima de 5%. Desde essa época até a criação do Programa Nacional do Álcool - PROÁLCOOL, no final de 1975, o álcool foi usado como combustível misturado à gasolina, em índices que variavam de acordo com a disponibilidade dos excedentes de cana-de-açúcar no mercado (Pamplona, 1984; Chacel, 1987).

O Proálcool foi instituído pelo Governo Brasileiro com o objetivo básico de produzir álcool hidratado, para fins carburantes, em substituição à gasolina, e para ser usado como matéria prima na indústria química, com o objetivo de diminuir a importação de petróleo. Isto ocorreu devido à crise do petróleo deflagrada na década de 1970 (Gontijo, 1985).

Com a criação deste programa houve uma série de incentivos à produção de álcool, como financiamentos, garantia de mercado ao produto, além de uma política de preços consistente fazendo com que a iniciativa privada rapidamente se engajasse no programa. Assim de 1975-1979, foram implantados 235 projetos de destilarias autônomas e anexas (Gontijo, 1985; Campos, 1991), resultando em um grande incremento da produção de álcool no País.

Em 1975, a produção de álcool no Brasil foi de 580 milhões de litros e, em apenas 2 anos foi registrado um aumento de 116,2% no total dessa produção. A partir de então a oferta de álcool continuou a expandir-se rigorosamente, alcançando na última safra (1989/1990) uma produção de 11,7 bilhões de litros (Gontijo, 1975; COPERSUCAR, 1989).

Além do seu aspecto econômico, o setor sucroalcooleiro trouxe importante contribuição social, mantendo atualmente, cerca de um milhão de empregos diretos na lavoura, usinas e destilarias, além de gerar centenas de milhares de empregos indiretamente nos setores a ele ligados.

Segundo o Relatório da Cooperativa de Produtores de Cana-de-açúcar, Álcool e Açúcar do Estado de São Paulo - COPERSUCAR (1988), o Programa Nacional do Alcool-PROÁLCOOL trouxe relevantes benefícios para o meio ambiente principalmente porque com a adição do álcool à gasolina foi possível reduzir substancialmente o chumbo tetraetila, aditivo da gasolina altamente nocivo (tóxico-cancerígeno) à saúde humana.

Com o álcool hidratado nos veículos (no final da década de 1970), observou-se, redução de metade do monóxido de carbono e menores emissões de hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio.

Segundo o Relatório da COPERSUCAR (1989), a safra 1988/1989 registrou desempenho insuficiente ao atendimento do mercado interno de açúcar e álcool e dos compromissos com as exportações de açúcar (Tabela 2.1).

2.2 - Usinas de Açúcar e Alcool no Brasil

As usinas de açúcar, a partir do caldo da cana-de-açúcar, obtêm como produto final, o açúcar e como subproduto o melaço ou mel residual.

As usinas de álcool são comumente denominadas destilarias autônomas ou destilarias anexas. A indústria que produz álcool diretamente do caldo de cana-de-açúcar recebe a denominação de destilaria autônoma. Caso a indústria produza álcool a partir da mistura de água, caldo de cana e melaço em diferentes proporções e esteja acoplada à usina de açúcar, é designada por destilaria anexa (Lopes, 1986).

Até a criação do Proálcool, toda a produção de álcool era realizada mediante o aproveitamento do melaço e nem todas as usinas de açúcar possuíam destilarias anexas. Por esta razão, a venda de melaço residual pelas usinas não equipadas com destilarias, era uma operação usual. Entretanto, com os incentivos dados pelo Proálcool, muitas usinas de açúcar passaram a ter destilarias anexas e assim, atualmente, a maior parte do álcool é produzida em destilarias anexas a usinas de açúcar (Rameh, 1980; Chacel, 1987). A figura 2.1 apresenta um fluxograma simplificado do processo industrial da produção de açúcar e álcool.

2.3 - Resíduos de Usinas de Açúcar e Alcool

Neste item, serão definidos os resíduos gerados pela Indústria Sucroalcooleira e apresentadas as formas de destino final usualmente empregadas, principalmente o uso agrícola, e os impactos ambientais causados pela inadequada disposição destes materiais.

As usinas de açúcar geram os resíduos sólidos, bagaço-de-cana e torta de filtro. As destilarias, por sua vez, geram o bagaço-de-cana e o vinhoto, que é um resíduo líquido.

A Tabela 2.2 apresenta a produção média de resíduos da indústria sucroalcooleira no país.

2.3.1 - Bagaço-de-cana

O bagaço-de-cana pode ser definido como o resíduo fibroso resultante da moagem da cana-de-açúcar para a obtenção do caldo de cana (Lopes, 1986).

A massa de bagaço representa, aproximadamente, 25% do peso da cana processada. No quadro atual, parte do bagaço tem sido usualmente queimado em caldeira para produção de energia térmica, restando ainda grande quantidade de bagaço excedente, que é geralmente disposto a céu aberto. Este excedente perfaz em média, 7% em relação à quantidade de bagaço gerada, sendo que nas destilarias autônomas, este valor é ainda maior, chegando a índices da ordem de 20 a 30% (Brasil Sobrinho, 1958; Bichara e Pizysieznig, 1991; Campos, 1991).

Apesar da queima do bagaço ser uma prática comum nas

usinas, Campos (1991) alerta que este procedimento, gera o arraste de material não queimado, também conhecido como fuligem. Para solucionar este problema, é necessário a instalação de um retentor de fuligem para reduzir a emissão de sólidos nos gases emanados. No entanto, esta medida nem sempre seguida pelas indústrias.

Dentre os possíveis usos do bagaço excedente, a literatura especializada destaca a utilização deste como: insumo energético em outras indústrias, transformação em ração para ruminantes (ovinos e bovinos) e o emprego como fertilizante, após um processo de humificação.

A utilização do bagaço como combustível por outras indústrias, somente é possível, quando a localização destas permite um uso economicamente viável. Além disso, deve ser considerada a possibilidade do bagaço gerar resíduos durante o transporte e durante o manuseio no local de consumo (Bichara e Pizysieznig Filho, 1991; Campos, 1991).

A transformação deste resíduo em uma ração de boa digestibilidade para ruminantes, requer a modificação dos seus compostos lignocelulósicos em compostos digeríveis, em virtude da flora microbiana do rúmen não conseguir transformar o elevado teor de lignocelulósicos em glicose, perdendo assim, grande parte do valor energético destes carboidratos poliméricos (COPERSUCAR, 1983).

O emprego do bagaço como fertilizante tem despertado grande interesse entre os pesquisadores, em virtude da necessidade de húmus na maioria das áreas de plantio, do preço elevado dos fertilizantes minerais e das vantagens advindas com o

uso da adubação orgânica (baixo custo além de melhorias físicas e bioquímicas do solo).

A literatura especializada registra que pesquisas sobre a possibilidade da utilização do bagaço-de-cana como adubo, datam desde 1934, quando nas Filipinas, foram efetuados testes de adubação com o bagaço "in natura" e com o bagaço submetido a um processo de decomposição anaeróbica, efetuado por enterramento do material. O resultado desta pesquisa mostrou que a testemunha se desenvolveu melhor que as plantas adubadas com bagaço considerado completamente decomposto, enquanto que o bagaço fresco foi nocivo às plantas, comprovando que o bagaço "in natura" não deve ser aplicado no solo (Brasil Açucareiro, 1934). A adubação com bagaço decomposto anaerobicamente, provavelmente foi prejudicial à cultura, porque os microorganismos anaeróbios são incapazes de metabolizar completamente os carboidratos complexos (celulose, lignina), conforme enfatizado por Alexander (1977).

Ewart e Humbert (1960) revelam em seus estudos efetuados no Havai, que com a incorporação no solo de 30 a 75 t/ha de bagaço-de-cana decomposto em mistura com a torta de filtro (item 2.7), foi obtido um aumento de produtividade de cana de até 7,4 t/ha. Os autores atribuem que este aumento foi devido, principalmente, às mudanças ocorridas nas características do solo dado a melhoria das propriedades físicas do mesmo, que permitiram uma melhor distribuição do sistema radicular das plantas.

A aplicação do bagaço não humificado em diferentes tipos de solo no estado de São Paulo, não provocou nenhum efeito na produtividade da cana-de-açúcar, demonstrando assim, a sua

inviabilidade sem a devida humificação (Orlando F., 1983).

2.3.2 - Torta de Filtro

A torta é o resíduo sólido formado por todas as substâncias precipitáveis do caldo de cana após este ser submetido a um processo de clarificação, o qual consiste na passagem do caldo por uma coluna contendo uma atmosfera de anidrido sulfuroso-SO₂ (sulfitação), baixando assim o pH para valores próximos a 5,0 a fim de obter a eliminação de matérias corantes pela transformação dos sais férricos em sais ferrosos que são incolores. Em seguida, o caldo recebe uma solução de hidróxido de cálcio-Ca(OH)₂ (Calagem), para elevação do pH (7,2 - 8,2), com o objetivo de coagular as suspensões coloidais sendo então conduzido a um decantador, onde recebe coagulantes químicos e bagacinho que é empregado, como coadjuvante de filtração, por sua propriedade de atuar como agente coagulante, facilitando a precipitação das suspensões coloidais. Desta operação resulta o caldo claro e um resíduo (caldo escuro ou lodo do clarificador), que levado ao filtro prensa ou filtro rotativo a vácuo permite recuperar parte da sacarose que o material contém, gerando assim a torta de filtro (Kiehl, 1985; Lopes, 1986).

A produção de torta de filtro situa-se em torno de 30 a 40 kg por tonelada de cana-de-açúcar moída (Bichara e Pizysieznig Filho, 1991).

Samuels e Landrau Jr. (1955), definem a torta como uma mistura de fragmentos de fibra de cana, sacarose e colóides coagulados, incluindo ceras, albuminóides, fosfato de cálcio.

areia e solo. Brasil Sobrinho (1958), relata que sob o aspecto físico, a torta de filtro apresenta-se preta ou pardo-escura, esponjosa, macia e amorfa.

Ribeiro (1978), cita em sua revisão que a composição da torta é muito variável dependendo principalmente do processo de clarificação e da natureza dos clarificantes usados. O resíduo apresenta geralmente, elevado teor de matéria orgânica, cálcio, fósforo e nitrogênio e baixo teor de potássio e magnésio (Orlando F^o, 1983).

A clarificação do caldo de cana é uma operação necessária para a produção de açúcar, entretanto, algumas destilarias autônomas têm também realizado esta operação, gerando assim, a torta (Orlando F., 1983, Bichara e Pisisieznig Filho, 1991).

De um modo geral, as usinas amontoam este resíduo ao ar livre ou em galpões, produzindo cheiro desagradável, devido ao processo de fermentação que ocorre, e aplicam-na diretamente no solo ou em misturas com componentes minerais (Brasil Sobrinho, 1958).

Muitos trabalhos sobre o uso da torta de filtro como condicionador do solo e fertilizante são encontrados na literatura especializada (Almeida, 1944; Robillard, 1975; Coleti et alii, 1980).

As propriedades físicas de solos arenosos e secos e de solos compactos e pobres podem ser melhoradas com a aplicação da torta (Almeida, 1944). Por ser um material orgânico por excelência, a torta mostra elevada capacidade de retenção de água a baixas tensões (Lugo-López, 1954). Esta propriedade contribui

tanto para aumentar a produtividade de cana-de-açúcar, especialmente em regime não irrigado (Lugo-López, 1954; Robillard, 1975), como para assegurar melhor brotação em plantios realizados em época desfavoráveis (Coleti et alii, 1980).

Em um dos primeiros estudos realizados no Brasil sobre a utilização agrícola da torta de filtro ficou comprovada a possibilidade do seu uso como complemento da adubação mineral nas culturas de arroz, milho, algodão e cana-de-açúcar, em dosagens de 40 a 120 t/ha, sendo que os melhores resultados foram obtidos com a aplicação das doses mais elevadas (Brasil Sobrinho, 1958).

Um efeito importante da torta, que passa a ser considerável em doses elevadas (268 t/ha) é o de ser corretivo da acidez do solo (Prasad, 1974 e 1976).

As doses recomendadas variam, desde 2 t/ha (Rands, 1933) a 268 t/ha (Prasad, 1974). As taxas mais elevadas visam o efeito corretivo, neste caso, a distribuição é realizada à lanço com posterior incorporação através da gradagem ou aração. Quando o interesse maior é obter efeito fertilizante, as doses são bem menores e a aplicação é feita no sulco de plantio (Castro e Godoy, 1979).

Campos (1991) alerta que se a torta de filtro for aplicada em grandes quantidades, por unidade de área, sem qualquer tratamento prévio, poderão ocorrer condições anaeróbicas, prejudiciais ao desenvolvimento das raízes, gerando odor desagradável e concentração de moscas (fato normalmente ocorrente no país). O mesmo autor, recomenda a estabilização da mesma através da compostagem com bagaço.

2.3.3 - Vinhoto

O vinhoto, também conhecido por vinhaça, é o resíduo líquido resultante da destilação do vinho, líquido que é obtido da fermentação do mosto-melaço diluído, caldo de cana ou melaço e caldo-de-cana (Lopes, 1986). O vinhoto é produzido na razão de 12 a 15 litros por litro de álcool e apresenta elevado valor de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), em torno de 20.000 mg/l, que o torna um resíduo altamente poluente, que se lançado "in natura" pode comprometer a qualidade das águas receptoras, alterando as suas características organolépticas, provocando odor desagradável e interferindo no abastecimento público e industrial, recreação e preservação da flora e da fauna (Dias, 1980; Bichara e Pizysieznig Filho, 1991). A composição do vinhoto é muito variável, dependendo da natureza e composição do mosto, que pode variar de acordo com a matéria prima utilizada (melaço e/ou caldo de cana), corretivos adicionados (ácido sulfúrico, sais de magnésio e de amônia, etc), método de fermentação alcoólica e modo de conduzi-lo (tipo de aparelho de destilação). Em geral, trata-se de um material que contém em média, mais de 93% de água, sendo 74,85% dos constituintes sólidos, substâncias orgânicas. De seus constituintes minerais (22,15% dos sólidos) 63,47% correspondem ao potássio (Almeida, 1952).

Vários autores recomendam o uso da vinhaça como fertilizante (Glória, 1975; Berton et alii, 1983).

Em virtude do seu efeito poluidor, este resíduo necessita de um prévio tratamento para ser lançado num corpo aguático ou ao solo como fertilizante. Neste caso, é necessário

que seja feita uma complementação mineral para correção do teor NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio) e aplicação de dosagem adequada, pois se aplicado em excesso pode causar problemas nutricionais, sendo muito prejudicial à qualidade da cana-de-açúcar, não compensando assim o aumento da produtividade obtido (Glória, 1976; Rodella e Ferrari, 1977; Stupiello et alii, 1977). A taxa de aplicação deve ser determinada de acordo com a fertilidade do solo e a composição do vinhoto (Glória, 1976).

2.4 - Necessidade de Adubação no Cultivo da Cana-de-açúcar

A adubação ou fertilização, pode ser definida como sendo a aplicação no solo de um material fornecedor de nutrientes às plantas (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1980), repondo assim os macro e micronutrientes que não estão presentes em quantidade suficiente para a cultura.

A adubação é uma prática indispensável para a elevação ou manutenção da produtividade da cana-de-açúcar. Atualmente, devido ao alto custo dos fertilizantes, este insumo, participa de forma significativa no custo de produção da mesma, indicando assim, que a fertilização dos canaviais deve ser realizada de forma criteriosa, visando a maximização da eficiência dos adubos, pois a falta de determinado nutriente na adubação poderá provocar reduções na produtividade e a aplicação de doses superestimadas de fertilizante não proporcionarão retornos econômicos (Orlando F., 1980).

Atualmente em decorrência da elevada demanda de fertilizantes exigida pela cultura de cana-de-açúcar, o que

obriga muitas vezes a importação destes produtos, há um grande interesse na pesquisa de fertilizantes orgânicos para utilização no seu cultivo.

Há quem defenda a utilização maciça dos fertilizantes minerais. Há também quem coloque os adubos orgânicos como a principal fonte de enriquecimento do solo, pelo fato destes serem fonte de húmus que não somente age como condicionador de solos mas também como fonte de nutrientes.

Em relação a essas divergências, Pereira Neto (1990) cita que, a Comunidade Científica Européia, em seu relatório de 1977 sugere a mudança (principalmente para países em desenvolvimento) do uso de fertilizantes minerais para o uso dos fertilizantes orgânicos.

O mesmo autor acrescenta que, na adubação por fertilizantes minerais somente uma porção deles é realmente utilizada pelas plantas. Este fato, se agrava ainda mais no período chuvoso, quando grande parte desses nutrientes é carregada por lixiviação, causando sérios prejuízos ao meio ambiente, sendo um dos principais a eutrofização dos rios e lagos. Enquanto na adubação com fertilizante orgânico (material humificado), devido às transformações bioquímicas sofridas por seus elementos solúveis durante o processo de compostagem, esses se tornam mais resistentes à lixiviação. Existe ainda o fato de que os nutrientes contidos nos adubos orgânicos agem de modo mais favorável do que aqueles dos fertilizantes minerais por estarem presos a cadeias moleculares mais complexas, de onde são liberados de maneira gradativa e muito mais compatível com as necessidades dos vegetais.

A adubação orgânica de grandes áreas é dificultada pela maior quantidade de adubo orgânico necessário (dezenas de toneladas por hectare) para repor os nutrientes, por estes se encontrarem em baixa concentração naqueles. Uma das vantagens dos adubos minerais é a sua alta concentração de elementos essenciais, o que facilita o transporte e a distribuição no terreno. Entretanto, essa vantagem não descarta os benefícios que o manejo adequado dos adubos orgânicos proporciona ao solo e às plantas. Tais como:

- . liberação lenta de fósforo, nitrogênio, enxofre e água;
- . aumento da capacidade de retenção de água;
- . contribuição para agregação do solo, reduzindo assim a suscetibilidade à erosão;
- . redução da plasticidade e coesão do solo, favorecendo as operações de preparo;
- . favorecimento à atividade de microorganismos do solo, por fornecer energia e nutrientes aos mesmos e por melhorar as propriedades químicas e físicas que influenciam a vida microbiana;
- . redução da toxidez de pesticidas e de outras substâncias.

Além das vantagens mencionadas acima, a adubação orgânica, de um modo geral, visa a melhoria da eficácia da adubação mineral. Dentre os materiais empregados na adubação orgânica, tem-se: esterco de animais; torta de oleaginosos (subproduto das indústrias de óleos vegetais); compostos, preparados na própria fazenda e os provenientes do tratamento do lixo urbano; etc (Orlando F, 1983; Guia Rural, 1991).

2.5 - Compostagem

2.5.1 - Introdução

Desde os mais remotos tempos, o agricultor tem incorporado vários tipos de resíduos orgânicos no solo com o intuito de favorecer o desenvolvimento das plantas e aumentar a produção agrícola (Kiehl, 1985).

Como consequência natural desta prática surgiu a compostagem como um método de estabilização e humificação dos resíduos orgânicos geralmente utilizados na agricultura.

O material ou produto final da compostagem é denominado composto, composto orgânico, adubo orgânico ou fertilizante orgânico.

O adubo orgânico era inicialmente preparado sem técnica especializada, até que no início deste século, Sir Albert Howard observando as práticas rudimentares de compostagem na Índia, precisamente na cidade de Indore, desenvolveu o Processo Indore (Kiehl, 1985). O próprio Howard (1935) relata que o processo consiste na degradação de misturas de resíduos vegetais e animais por fungos e bactérias que ocorrem na natureza, com o empilhamento destas misturas em proporções determinadas e com controle do processo por aguagem e reviramento periódico.

Desde então, inúmeros métodos de transformação de resíduos em compostos têm sido patenteados. Todos os processos fragmentam os resíduos e tentam prover aeração e controlar a umidade e temperatura da massa de compostagem, a fim de proporcionar condições ótimas para a atividade biológica (Pereira

Neto, 1987). Dentre estes métodos de compostagem um dos mais difundidos no mundo, tem sido o Sistema Windrow que é na verdade uma fiel versão do processo Indore.

É necessário que o composto produzido esteja em condições adequadas para o uso agrícola. A inspeção da produção e do comércio de fertilizantes orgânicos é feita, no Brasil, pelo Ministério da Agricultura. Os materiais que são comercializados devem obedecer às especificações ditadas pela Legislação Brasileira de Fertilizantes (Tabela 2.3).

2.5.2 - Definição

A Compostagem tem sido definida como um processo microbiológico controlado de transformação da matéria orgânica em um produto estável, húmus, para ser aplicado ao solo (Wilson, 1981; Kiehl, 1985).

De acordo com Pereira Neto (1989a), em sua concepção moderna, a compostagem pode ser entendida como um processo aeróbico controlado de decomposição da matéria orgânica, desenvolvido por uma população mista de microrganismos, em duas fases distintas: a primeira, fase ativa, onde ocorrem as reações (termofílicas 45-65°C) de oxidação mais intensas, e a segunda, fase de maturação, onde ocorre o processo de humificação e produção do composto propriamente dito.

2.5.3 - Classificação

Os sistemas de compostagem podem ser classificados

segundo a disponibilidade de oxigênio, a temperatura e o local aonde o processo ocorre (Golueke, 1977a, 1977b; Cardenas e Wang, 1980; Pereira Neto, 1987). Assim tem-se:

i) Disponibilidade de Oxigênio

Os sistemas de compostagem, de acordo com a disponibilidade de oxigênio durante o processo, podem ser aeróbicos ou anaeróbicos (Pinto et alii, 1979).

O método anaeróbico é desenvolvido por microorganismos que vivem na ausência de oxigênio e decompõem a matéria orgânica a baixa temperatura com produção de gases de odor desagradável, como gás sulfídrico e compostos orgânicos que contêm enxofre (mercaptanas) (Pinto et alii, 1979; Kiehl, 1985).

Devido a estes inconvenientes, a partir de 1975 a literatura especializada sobre o assunto iniciou a concepção de compostagem moderna (Epstein et alii 1976; Golueke, 1977a e outros).

Pereira Neto (1987) recomenda que a compostagem moderna deve ser aeróbica, por apresentar rápida decomposição, manutenção de temperaturas termofílicas, sem o inconveniente de emissão de odor.

Considerando-se estas vantagens, escolheu-se o sistema de compostagem aeróbico como o mais indicado para o tratamento da elevada quantidade de resíduos orgânicos produzidos diariamente pela indústria sucroalcooleira.

ii) Temperatura

Segundo Alexander (1977), de acordo com a faixa de temperatura adequada para o crescimento dos microorganismos,

estes podem ser classificados em criófilos (4-15°C), mesófilos (15-45°C) e termófilos (45-65°C). Dentro desta visão alguns autores classificam os sistemas de compostagem de acordo com a temperatura predominante durante o processo, a qual propiciará o desenvolvimento de microorganismos criófilos, mesófilos e termófilos (Golueke, 1977b).

Entretanto, existe discordância entre os pesquisadores da compostagem sobre a definição desta faixa de temperatura. Golueke (1977b) utiliza o termo criófilo para temperaturas inferiores a 4 ou 5°C; mesófilo, na faixa de 8 ou 10°C a 45 ou 50°C e termófilo para temperaturas superiores a 45°C. No entanto, o mesmo autor (1977a), propõe a expressão compostagem mesofílica, apenas para processos com temperaturas entre 15 e 22°C, e compostagem termofílica para aqueles com valores de temperatura situados entre 45 e 65°C.

Segundo Alexander (1977), os microorganismos são, na sua maior parte, mesófilos com ótima faixa de crescimento entre 15 a 45°C, enquanto os termófilos se desenvolvem entre 45 a 65°C, sendo incapazes de crescerem em temperaturas inferiores a 40°C.

Pereira Neto (1987) afirma que a compostagem deve ser sempre desenvolvida sob temperaturas termofílicas (45-65°C), principalmente por estar sempre associada a resíduos biologicamente contaminados.

Pereira Neto (1986; 1987), afirma que a temperatura em torno de 55°C proporciona alta atividade microbiológica com eliminação de microorganismos patogênicos. O mesmo autor sugere a existência nos sistemas de compostagem, de mecanismos de controle da temperatura para mantê-la numa faixa ótima e acrescenta que o

declínio da temperatura da massa em compostagem para valores inferiores a 40°C, em condições ótimas de controle, determina o término da fase ativa, devido à exaustão do carbono disponível.

iii) Local onde o Processo Ocorre

Com relação ao local onde o processo ocorre, a compostagem é classificada em sistemas abertos e sistema fechados ou mecanizados (Bertoldi et alii, 1984).

Os sistemas fechados são aqueles onde a compostagem é efetuada em dispositivos especiais tais como digestores em forma de tambores rotativos, torres com pisos em andares superpostos, tanques, silos ou células, todos munidos com alguma forma de mecanismo para efetuar a movimentação e aeração da massa de compostagem. Os sistemas abertos, são aqueles onde o material a ser decomposto é colocado em montes, pilhas ou leiras nos chamados pátios de compostagem (Kiehl, 1985).

2.5.4 - Microbiologia

A compostagem é efetuada por uma população diversificada de microorganismos que se sucedem durante o período de compostagem. Dentre esses, os principais são as bactérias, os fungos e os actinomicetos, entretanto, outros organismos participam do processo, como vírus e protozoários (Wilson, 1981; Kiehl, 1985; Pereira Neto, 1988).

Segundo Alexander (1977), os fungos e os actinomicetos são em geral mais eficientes que as bactérias aeróbicas, estas por sua vez, são mais eficientes que as bactérias anaeróbicas. No

entanto, a degradação da matéria orgânica é mais rápida quando a população de microorganismos é mista. Com relação à temperatura, Chaves (1982) cita que os microorganismos celulolíticos termófilos apresentam sobre os mesófilos, vantagens como crescimento mais rápido, aumento da atividade enzimática e sistema enzimático mais estável. Talvez sejam estes os motivos básicos que levam alguns autores a defenderem a compostagem termofílica.

Kiehl (1985) relata que durante a compostagem há predominância de determinadas espécies de microorganismos, conforme a influência de fatores como, substâncias químicas presentes na matéria prima que está sendo compostada, teor de umidade, disponibilidade de oxigênio, temperatura e pH. O mesmo autor, sugere que uma boa aeração na massa de compostagem, favorece a multiplicação dos principais organismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica (fungos, bactérias e actinomicetos).

A seguir serão feitos comentários sobre os principais organismos presentes no processo de compostagem.

2.5.4.1 - Bactérias

As bactérias são organismos microscópicos unicelulares, encontrados em meios aeróbios e anaeróbios, que sobre condições favoráveis multiplicam-se muito rapidamente (Cardenas e Wang, 1980).

Segundo Alexander (1977), as bactérias, em geral, se sobressaem em relação aos outros microorganismos pela rápida

capacidade de crescimento e vigorosa capacidade de decomposição de uma grande variedade de materiais orgânicos.

O pH ótimo de crescimento para a maioria das bactérias situa-se entre 6,5 e 7,5 (Pelczar et alii, 1981). Entretanto, algumas bactérias são capazes de crescerem em condições extremas de pH, como 1,0 e 11,0 (Costilow, 1981).

Kiehl (1985) relata que a decomposição de açúcares, amidos, proteínas e outros compostos orgânicos de fácil digestão, se constitui na principal função das bactérias termófilas. Cabendo mais aos fungos e actinomicetos a decomposição de materiais celulolíticos (Pereira Neto, 1989a).

2.5.4.2 - Fungos

Os fungos são organismos heterotróficos e não fotossintetizantes, que decompõem resíduos complexos de plantas e animais, transformando-os em formas químicas mais simples. Os fungos variam em tamanho e morfologia, desde leveduras microscópicas até os gigantes cogumelos, sendo em geral filamentosos, reproduzindo-se por meio de esporos (Pelczar et alii, 1981).

Os fungos são aeróbios obrigatórios, com poucas exceções, e crescem em pH na faixa de 2,0 a 9,0. Em virtude da grande maioria das bactérias e actinomicetos serem inibidos em pH baixo haverá, portanto, nesses meios predominância dos fungos pela falta de concorrência (Alexander, 1977).

Além da degradação de complexos constituintes vegetais, como lignina, celulose e hemicelulose, os fungos também atacam os

materiais proteicos, dando origem a compostos amoniacais e nitrogenados simples. Essa utilização dos proteinados fornece nitrogênio e carbono para o metabolismo dos próprios organismos (Alexander, 1977).

Esses organismos são produtores de esporos, que quando inalados em elevada quantidade, podem afetar o sistema respiratório, desenvolvendo doenças alérgicas. Existem apenas cerca de 100 espécies fúngicas nos animais e nos homens, entretanto, há milhares de espécies fitopatogênicas (Muchovej, 1989). Para evitar qualquer dano ao homem, algumas precauções são recomendadas, como o uso de máscaras durante o revolvimento ou desmonte de leiras de compostagem (Obeng e Wright, 1987).

Segundo Chang e Hudson (1967), os fungos apresentam como principais características, a habilidade de degradarem complexos materiais carbonáceos e o crescimento a altas temperaturas (fase termofílica dos processos de compostagem).

2.5.4.3 - Actinomicetos

Alexander (1977) cita que os actinomicetos são bactérias que apresentam algumas características morfológicas dos fungos. São bactérias unicelulares filamentosas que produzem um micélio fino e ramificado que se fragmenta ou subdivide-se formando esporos assexuais. Em alguns gêneros, o micélio aéreo é tipicamente ramificado.

Segundo o mesmo autor, a semelhança dos actinomicetos aos fungos é evidente pelas seguintes propriedades: as hifas ou filamentos parecem morfolologicamente similares; o crescimento em

meio líquido raramente apresenta a turvação característica das bactérias e sim em glúmulos; a rapidez de crescimento é mais demorado que nas bactérias. Por outro lado, apresentam como semelhança às bactérias: o fato de serem procariotas, o tamanho reduzido dos filamentos, a suscetibilidade ao ataque de vírus e a ausência de quitina e celulose na parede celular, ao contrário do que ocorre nos fungos.

O pH baixo (<5,0) e a umidade excessiva (85-100%) afetam adversamente a população dos actinomicetos. A umidade excessiva é fator crítico em consequência do metabolismo aeróbico. Muitos são mesófilos (25-30°C), outros são termófilos facultativos ou obrigatórios (55-65°C). Os termófilos são comuns no solo, esterco; feno, composto, etc (Alexander, 1977).

Segundo Biddlestone et alii (1981) os actinomicetos são de grande significação na compostagem, sendo mais importantes nos últimos estágios do processo, quando tornam-se abundantes ou ainda dominantes.

2.5.5 - Mudanças durante o Processo de Compostagem

A compostagem é, efetuada por uma população mista de microorganismos e apresenta, em um dado estágio do processo, a predominância de algumas espécies, em função das condições ecológicas do meio.

Witter e Lopez-Real (1986) relatam que a fase inicial da compostagem (fase ativa) é caracterizada por alta atividade metabólica, que resulta em um aumento da temperatura do material em decomposição. Enquanto, a segunda fase da compostagem

(maturação) é caracterizada por taxas de atividade metabólica mais baixas. Nesta fase o material é transformado em um produto escuro, amorfo, e com odor de terra.

Segundo Gray et alii (1971), quando o material orgânico é empilhado, e os microorganismos começam a utilizar os compostos mais facilmente degradáveis, como carboidratos solúveis e proteínas, a energia liberada dessa utilização, na forma de calor, é parcialmente retida, devido às características térmicas da matéria orgânica, que funciona como um isolante, levando conseqüentemente, a um aumento da temperatura da leira. Pereira Neto (1989a) relata que altas temperaturas, em torno de 80°C, podem ser atingidas se a compostagem for desenvolvida sem controle, inibindo assim, o crescimento da maior parte dos microorganismos presentes no meio.

Wilson (1981) cita que no estágio inicial da compostagem, há predominância de organismos mesofílicos, principalmente bactérias, e a temperatura da massa ativa aumenta rapidamente. Acima de 40°C, os mesofílicos vão pouco a pouco sendo substituídos pelos termofílicos, principalmente fungos e actinomicetos que passam a predominar. O autor sugere que quando a temperatura se aproxima de 60°C, os fungos termófilos já estão mortos e as reações de decomposição são mantidas pelas espécies formadoras de esporos. Em continuação, ele conclue que a obtenção de temperaturas em torno de 60°C é necessária para assegurar a destruição de organismos patogénicos.

Com o estabelecimento da atividade termofílica a matéria orgânica rapidamente degradável é consumida, ocorrendo a diminuição da velocidade de degradação. A taxa de calor gerada

torna-se conseqüentemente menor que a taxa de calor perdida pela superfície e a massa de compostagem começa a esfriar. Pereira Neto (1987; 1989a) acrescenta que, com a exaustão da fonte de carbono mais facilmente disponível, os vários tipos de organismos passam a atacar lentamente os compostos mais resistentes como a celulose, a lignina, etc. Wilson (1981) e Pereira Neto (1987) também sugerem que depois que a temperatura tiver alcançado a faixa de 35-38°C, é necessário ainda um período de cura ou maturação a fim de permitir que celulose e lignina remanescentes sejam atacadas. Prática esta que nem sempre é seguida no País, onde se colocam no mercado produtos orgânicos instáveis com a errônea denominação de composto (Pereira Neto, 1991).

2.5.6 - Fatores Intervenientes no Processo

A compostagem, como um processo microbiológico, é afetada por qualquer fator que influencie, direta ou indiretamente, o metabolismo microbiano. A seguir serão apresentados os principais fatores intervenientes no processo, os quais devem ser controladas a fim de que seja obtida maior eficiência.

2.5.6.1 - Disponibilidade de Oxigênio

Na compostagem, o oxigênio não é apenas necessário para o metabolismo aeróbico e respiração dos microorganismos, mas também para a oxidação das várias moléculas orgânicas presentes no material (Bertoldi et alii, 1984; Obeng e Wright, 1987).

Segundo Finstein (1984), dois métodos básicos podem ser

utilizados para aerar a massa de compostagem: o material pode passar por um meio saturado de oxigênio, ou o oxigênio pode ser forçado a passar através da leira. A primeira operação pode ser conseguida pelo revolvimento do material (a exemplo do processo Windrow) e a segunda pode ser conseguida por meio de uma bomba de aeração.

De acordo com Bertoldi et alii (1984), o ar contido na interface da massa em compostagem varia sua composição com o início da atividade microbiana oxidativa. A concentração de dióxido de carbono aumenta gradualmente e o nível de oxigênio tende a diminuir. Obeng e Wright (1987), relatam que a concentração ótima de oxigênio necessária para o crescimento de microorganismos aeróbicos deve situar-se na faixa de 5 a 15% do ar, sendo 5%, a quantidade mínima necessária para o crescimento de microorganismos mesófilos. Segundo Pereira Neto (1989a), teoricamente, a concentração ideal de oxigênio seria aquela que satisfizesse a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), durante as diversas fases do processo. Entretanto existem fatores que influenciam o consumo de oxigênio, como a temperatura, o teor de umidade, a composição da massa em compostagem, o tamanho das partículas, o modo de aeração usado, etc.

Bertoldi et alii (1984) citam em sua revisão que o consumo de oxigênio durante a compostagem é diretamente proporcional à atividade microbiológica. Portanto, existe uma relação direta entre consumo de oxigênio e temperatura. Para temperaturas na faixa de 28-55°C, há elevado consumo de oxigênio, em virtude da alta atividade microbiológica.

Se o teor de oxigênio baixar demasiadamente, os

microorganismos aeróbios morrerão e serão substituídos pelos anaeróbios, os quais decompõem a matéria orgânica com mais lentidão, produzindo maus odores e atraindo moscas (Kiehl, 1985).

2.5.6.2 - Teor de Umidade

Sendo a compostagem, um processo biológico de degradação da matéria orgânica, a umidade torna-se imprescindível para as necessidades fisiológicas dos organismos, os quais não vivem na ausência da água (Alexander, 1977; Kiehl, 1985; Pereira Neto, 1989a).

Pereira Neto (1987), cita em sua revisão bibliográfica, que os microorganismos consistem de aproximadamente 90% de água, assim para a produção de novas células na massa de compostagem, a água deve ser obtida do material em decomposição. O mesmo autor acrescenta que todos os nutrientes necessários aos microorganismos devem ser previamente dissolvidos em água, para que possam ser assimilados pelos mesmos.

Segundo Kiehl (1985) e Pereira Neto (1989a), o teor de umidade é influenciado por vários fatores, como a taxa de aeração e as características físicas do material, tamanho das partículas e porosidade. Os mesmos autores relatam que altos teores de umidade (>60%) fazem com que a água ocupe espaços vazios da massa, provocando anaerobiose no meio, enquanto baixos teores (< 40%), reduzem a atividade microbiológica. Kiehl (1985), acrescenta que materiais fibrosos podem iniciar o processo de compostagem com umidade um pouco superior ao limite indicado de 60% sem que ocorram riscos de anaerobiose.

2.5.6.3 - Temperatura

A temperatura atingida na leira é um importante parâmetro de avaliação da eficiência do processo, pois é resultante da atividade microbiológica (Bertoldi et alii, 1984; Obeng e Wright, 1987).

Segundo Bertoldi et alii (1984), o desenvolvimento de temperaturas excessivamente altas inibe o crescimento da maior parte dos microorganismos presentes no meio, reduzindo desta maneira, a velocidade de decomposição da matéria orgânica. De acordo com Pereira Neto (1989a), altas temperaturas (65 - 80°C) podem ser atingidas se a compostagem for desenvolvida sem controle e que valores acima de 65°C devem ser evitados. O mesmo autor (1986; 1987), relata que a compostagem moderna está mais associada ao desenvolvimento de temperaturas termofílicas controladas na faixa de 55°C, o que garante uma efetiva atividade microbiológica e eliminação de microorganismos patogênicos.

Altas temperaturas resultam de intensa atividade microbiológica que provoca elevada liberação de calor, o qual pode ser removido através da aeração do meio, a fim de que seja controlada a temperatura da leira (Finstein e Miller, 1984; Bertoldi, 1984).

2.5.6.4 - Nutrientes

A assimilação de nutrientes pelos microorganismos é essencial para a multiplicação dos mesmos. As células necessitam de Carbono, Hidrogênio, Oxigênio e também de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Enxofre, Magnésio e Ferro (Alexander, 1977).

Segundo Pereira Neto (1989a), o crescimento e a diversificação da população microbiológica presente na massa de compostagem, relacionam-se diretamente com a concentração de nutrientes, os quais fornecem material para a síntese protoplasmática e suprem a energia necessária para o crescimento celular, além de outras funções.

A concentração de Carbono e Nitrogênio é fator crítico na compostagem, por serem estes os macronutrientes de maior importância para o crescimento dos microorganismos. O material Carbonáceo serve como fonte de energia e o Nitrogênio é utilizado na elaboração do protoplasma (Purcino, 1981; Shuval et alii, 1981; Pereira Neto, 1989a). Alexander (1977), relata que os microorganismos não podem se multiplicar, nem a matéria orgânica ser decomposta, a menos que o Nitrogênio seja assimilado pelos mesmos.

Pereira Neto (1987) em sua revisão bibliográfica cita que, se a relação C/N for muito alta (em torno de 60) a atividade biológica será lenta devido a escassez de nitrogênio. Entretanto, se a relação C/N for muito baixa (em torno de 10:1), grande parte da concentração de Nitrogênio presente no meio, será perdida por volatilização na forma amônia, para que seja obtida uma relação C/N mais favorável ao processo.

Hammouda e Adams (1986) citam que para a maior parte dos materiais vegetais, uma concentração de nitrogênio de não menos que 1,0 - 1,5% é exigida para assegurar ataque heterotrófico. Uma concentração de nitrogênio nesta faixa representa uma relação C/N próxima a 30. Quando tecidos vegetais com concentração de nitrogênio superiores a 1,5% são compostados, o nitrogênio que

não é usado pelos microorganismos , é perdido por volatilização.

Entretanto, Pereira Neto (1987) em sua revisão cita vários outros autores (Gotaas, 1956; Epstein et alii, 1976; Willson et alii, 1980, etc), que sugerem que parte do material carbonáceo pode estar presente em alguns materiais sob a forma de compostos tão resistentes ao ataque biológico, que a presença deles não é significativa quando considerada a relação C/N da mistura.

Pereira Neto (1987) relata que parte do carbono presente em compostos resistentes à degradação (celulose, lignina), torna-se lentamente disponível para os microorganismos e a necessidade de um completo balanceamento com nitrogênio na primeira fase do processo não é tão importante.

2.5.6.5 - Tamanho da Partícula

O tamanho das partículas do material sujeito a um ataque microbiológico é um importante fator visto que, quanto menor o material maior será sua área superficial e conseqüentemente, menor será o período de compostagem (Obeng e Wright, 1987). Entretanto, os mesmos autores acrescentam que se as partículas forem muito pequenas, existirá menor difusão de oxigênio.

Diaz (1982), relata que o tamanho da partícula no processo de compostagem é função da resistência estrutural do material utilizado. O mesmo autor acrescenta que a caracterização do tamanho das partículas depende dos seguintes aspectos:

- i) A conservação de um espaço intersticial bastante bom para permitir a passagem de oxigênio suficiente para os microorganismos;

- ii) A resistência estrutural do principal componente dos resíduos;
- iii) A adequação para classificação automatizada;
- iv) Os aspectos econômicos;

2.5.7 - Inóculos e Aditivos

O uso de aditivos químicos (agentes para ajustar a concentração de nutrientes e o pH do meio) e inoculantes comerciais (culturas bacterianas puras) têm gerado controvérsia entre os estudiosos da compostagem (Biddlestone et alii, 1981).

Segundo Willson et alii (1980) a maioria das pesquisas em compostagem indicam que inoculantes e aditivos industriais são desnecessários e ineficientes. Golueke (1977a; 1980) investigou o uso de adubo de cavalo, material compostado, um solo típico e culturas bacterianas comerciais, na compostagem de lixo e resíduos vegetais, e concluiu que os quatro aditivos não produziram benefícios ao processo em termos de temperatura e análises químicas e que a taxa de decomposição foi igual em ambos, materiais inoculados e não inoculados.

Em alguns casos os aditivos parecem ser eficientes, a exemplo, tem-se os trabalhos de Davey (1953) e Wilde (1956) citados por Poincelot (1975) sobre a compostagem de pó de serragem utilizando como inóculo, esporos de um fungo celulolítico - Coprinus ephemerus e como aditivos, amônia para diminuir a alta relação C/N do material, além de potássio e sulfato como nutrientes. O resultado destas pesquisas demonstraram que a adição de inóculo e aditivos reduziu

consideravelmente o período de compostagem, de 1 a 2 anos para 3 meses. Tendo-se em vista que a relação C/N do pó de serragem é bastante elevada (600-1200), tornou-se óbvio concluir que este material não possa compostar sem a prévia redução da relação C/N.

Eira e Paccola (1980), testaram a necessidade de inóculos e a eficiência de inoculantes comerciais (Cofuna e Nutri-Húmus) em relação a um solo de floresta (solo com população microbiana complexa), na biodegradação da torta de filtro e verificaram que: i) há necessidade de inóculo, em virtude da complexidade de materiais orgânicos presentes na torta, necessitando para sua biodegradação, de uma flora microbiana abundante, morfológica e fisiologicamente complexa. ii) a cofuna e o solo de floresta não apresentaram diferença significativa na decomposição da torta. Enquanto o Nutri-Húmus foi significativamente inferior aos demais inoculantes testados e iii) um bom inoculante pode ser obtido a partir de um solo microbiologicamente ativo, ou do próprio substrato decomposto naturalmente.

O uso de aditivos tem como principal propósito aumentar o teor de nutrientes necessário para os microorganismos. Como o nitrogênio é considerado o principal nutriente a ser assimilado pelos mesmos, atuando também na diminuição da alta relação C/N de determinados materiais, têm sido utilizados como aditivos, os sais amoniacais e os nitratos, por serem fontes de nitrogênio facilmente assimilável pelos microorganismos. No entanto, o alto custo destes produtos tem levado a crescente procura de fontes de nitrogênio orgânico. Fosfatos e superfosfatos podem ser utilizados para suplementar o teor de fósforo, desde que estejam

em formas facilmente metabolizadas pelos microorganismos (Profpe, 1985).

Pereira Neto (1987) em sua revisão bibliográfica relata que para a compostagem de materiais com elevada relação C/N é necessário aumentar o teor de nitrogênio, o que pode ser conseguido com a adição de resíduos com elevada concentração de nitrogênio mineral.

2.5.8 - Decomposição da Celulose

A celulose é o composto orgânico mais abundante nos vegetais. É um carboidrato constituído por moléculas de glicose ligadas em longa cadeia linear, em número variável entre 1.400 e 10.000 unidades por molécula com peso molecular variando de 200 mil a 2,4 milhões (Alexander, 1977).

A flora microbiana capaz de decompor celulose inclui bactérias mesofílicas aeróbias e anaeróbias, bactérias termofílicas, fungos, actinomicetos e uns poucos protozoários. A Tabela 2.4. apresenta os principais fungos, bactérias e actinomicetos celulolíticos.

Alexander (1977) relata que várias bactérias são especificamente celulolíticas ou seja, crescem apenas em meio com celulose e não com açúcares simples como fonte de carbono. Como exemplo destas bacterias tem-se a Cellvibrio e a Cellfacicula, comuns no rúmex dos bovinos. Os fungos e os actinomicetos, que possuem uma ampla base nutricional, podem consumir muitas fontes de carbono, não sendo encontrados fungos e actinomicetos obrigatórios quanto ao uso de celulose. O mesmo autor acrescenta

que o crescimento destes microorganismos em celulose é em geral mais lento do que sobre outros compostos. No esterco bovino são encontrados muitos celulolíticos termofílicos e bactérias aeróbias mesofílicas.

A decomposição da celulose por bactérias aeróbias resulta na produção de CO₂ e substância celular, não há acúmulo de compostos carbonados intermediários e ocorre baixa concentração de ácidos orgânicos. Alguns fungos e actinomicetos liberam pequenas quantidades de ácidos orgânicos.

Para Alexander (1977) a temperatura exerce influência direta sobre a composição da microflora, considerando que cada organismo tem a sua temperatura ótima de crescimento. Regan e Jeris (1970) citam que para vários autores, a temperatura ótima de degradação da celulose encontra-se em torno de 45°C.

Teores de umidade elevados (80-95%) favorecem o desenvolvimento de um meio ambiente anaeróbio prejudicando o crescimento de fungos, actinomicetos e bactérias aeróbias que são os decompositores mais eficientes. Um teor de umidade médio (50-75%) é mais favorável, enquanto uma concentração muito baixa (10% ou menos) cessa completamente a atividade dos organismos celulolíticos (Waskman, 1961). Pereira Neto (1987) conclui que para qualquer substrato, teores de umidade menores que 40% já exercem inibição a uma boa atividade microbiana de degradação.

De uma maneira geral, o pH neutro ou ligeiramente alcalino favorece o desenvolvimento da maior parte dos microorganismos celulolíticos, especialmente as bactérias. Em ambiente ácido, a decomposição é conduzida principalmente pelos fungos (Alexander, 1977).

2.5.9 - Decomposição da Hemicelulose

Hemicelulose é um polímero heterogêneo de hexoses (glicose, manose e galactose) e pentoses (xilose e arabinose) (Lynch, 1986).

Alexander (1977) relata que, no material vegetal em decomposição, inicialmente a concentração de hemicelulose diminui rapidamente e depois de forma lenta. Isto deve-se provavelmente ao teor de hemicelulose formado pelos microorganismos em suas células. O mesmo autor sugere que uma parte ainda não determinada do material hemicelulósico do húmus é derivada da síntese microbiana.

Segundo o mesmo autor, bactérias, fungos e actinomicetos utilizam hemicelulose não havendo, entretanto, a especificidade que ocorre com alguns celulolíticos. Assim, além do polissacarídeo esses organismos decompõem ácidos orgânicos e açúcares simples. O mesmo autor acrescenta que na decomposição aeróbica, mais rápida que a anaeróbica, os fungos assumem papel dominante, sendo a degradação mais rápida quando a população é mista. A disponibilidade de nutrientes é também importante devido a demanda da microflora. Daí que a velocidade de decomposição dos materiais celulolíticos e hemicelulolíticos é maior quando estes são incorporados com lodos de esgoto, esterco, etc., (Pereira Neto 1987).

2.5.10 - Decomposição da Lignina

A lignina é um polímero complexo de natureza aromática,

constituído basicamente de macromoléculas polifenólicas, denominadas de unidades fenil-propano. Sua massa molecular e composição variam de acordo com as espécies de vegetais (Amer e Drew, 1980).

Na revisão bibliográfica sobre o assunto, Pereira Neto (1987) cita vários autores (Oglesby et alii, 1967; Alexander, 1977; Burns e Martin, 1986, etc) os quais afirmam que a bioquímica da degradação da lignina ainda não foi totalmente esclarecida.

A lignina está localizada nas camadas secundárias da parede das células vegetais e está usualmente associada com outros polissacarídeos (celulose). Encontra-se em maior concentração nos tecidos maduros (Gray e William, 1971; Alexander, 1977). As interligações fechadas entre celulose e lignina nas paredes celulares, resultam num efeito físico que inibe a degradação da celulose. A concentração relativa da lignina aumenta a medida que ocorre o processo de decomposição, por ser este polímero geralmente o último constituinte a ser oxidado dentre os substratos disponíveis ao ataque microbiano (Alexander, 1977).

A degradação aeróbia da lignina é efetuada principalmente por fungos, do grupo dos basidiomicetos e ascomicetos (Rodríguez e Durán, 1988). O grupo dos ascomicetos apresenta como principal característica, o asco (estrutura em forma de saco ou bolsa) no interior do qual são produzidos esporos sexuais (ascosporos) com forma, cor e número variáveis para cada espécie. Os fungos do grupo dos basidiomicetos caracterizam-se pela presença de um basídio do qual saem os

basidiosporos, formados por reprodução sexuada (Trabulsi, 1986).

Segundo Alexander (1977), a decomposição ocorre lentamente na presença ou ausência de oxigênio. Entretanto, a temperatura exerce influência marcante na rapidez e extensão desta, sendo que a 7°C é mínima, a 37°C parece ser ótimo para a flora mesofílica e acima deste valor, os termófilos passam a atuar. O mesmo autor acrescenta que assim como ocorre com a celulose, a disponibilidade de carboidratos facilmente oxidáveis estimula a microflora.

2.5.11 - Grau de Maturação do Composto

O grau de maturação do composto é um importante parâmetro para determinação da qualidade do produto final e possíveis empregos do mesmo. Alguns usos exigem composto bem maturado (horticultura, jardinagem, plantas medicinais, etc), enquanto outros usos requerem composto fresco (produção de cogumelos). O composto maturado é necessário para evitar efeitos adversos nas plantas devido ao calor gerado durante as reações de decomposição, a alta relação C/N e compostos fitotóxicos (Zucconi et alii, 1981; Morel et alii, 1984).

Obeng e Wright (1987) citam que o nitrogênio é um importante nutriente para as plantas, por esta razão deve ser mantido em um nível razoavelmente alto no composto maturado. Purcino (1981) relata que a adição ao solo de um material com relação C/N superior a 30, provoca imobilização do nitrogênio do solo por microorganismos responsáveis pela degradação do material ainda não estabilizado; e a adição de material orgânico com

relação C/N entre 20 e 30 geralmente não proporciona grandes mudanças imediatas na disponibilidade do nitrogênio no solo. Esta talvez seja a principal razão porque alguns autores (Pereira Neto, 1987; Wilson, 1981, etc) defendem a fase de maturação como indispensável nos processos de compostagem. Pereira Neto (1987), relata que a relação C/N de um composto maturado deve apresentar um valor de 10:1 a 15:1.

A relação C/N pode ser utilizada como indicativo da taxa de decomposição da matéria orgânica, determinando o fim da fase de maturação (Obeng e Wright, 1987; Pereira Neto, 1989a). Morel et alii (1984) alertam que, para a relação C/N ser um bom indicador da estabilidade biológica do composto, é necessário interpretar este parâmetro observando as características iniciais do material, considerando a mistura de resíduos, em que um destes seja suficientemente rico em nitrogênio para diminuir a relação C/N do composto a valores correspondentes a um produto maturado, ainda que este não tenha sido totalmente degradado. O mesmo autor cita que alguns pesquisadores propuseram ser preferível controlar a variação da relação C/N durante a compostagem do que medi-la ocasionalmente.

2.6 - O Sistema de Compostagem Windrow

O sistema de Compostagem Windrow consiste na prévia preparação da matéria prima (mistura do material orgânico e correção da umidade) e formação de leiras ao ar livre, que são revolvidas periodicamente a fim de propiciar uma boa aeração.

As leiras são montes de 1,0 a 2,0m de altura e de 2,5 a

4,0m de base, com comprimento variável. O revolvimento das leiras é em geral feito por equipamento adequado, podendo, ser realizado manualmente, no caso de pequenas quantidades de material (Pinto et alii, 1979).

As leiras também podem ser reviradas mecanicamente por meio de pá carregadeira ou equipamentos especiais. Neste caso Wilson(1981), recomenda a montagem das leiras em superfícies pavimentadas, para facilitar o movimento do equipamento de reviramento.

Pereira Neto (1986; 1989b), relata que o ciclo de reviramento neste processo é um importante parâmetro de controle da oxigenação e da temperatura, que deve ser efetuado, observando-se, os valores de temperatura da leira e a velocidade de degradação da matéria orgânica. Durante a operação de reviramento, parte do calor retido na leira é dissipado para o ambiente, provocando decaimento da temperatura na mesma. Entretanto, a existência de um bom equilíbrio na massa de compostagem (matéria orgânica degradável, umidade, nutrientes, microbiota diversificada) promoverá a recuperação da temperatura para valores desejados.

Pereira Neto (1989b), relata que a configuração geométrica da leira é um importante parâmetro de controle da temperatura. Pereira Neto sugere que esta configuração seja alterada depois da operação de reviramento. Este processo permitiria, um balanço térmico adequado entre o calor produzido pela massa de compostagem e o calor perdido para o ambiente, pela diminuição ou aumento da altura da leira evitando assim, o desenvolvimento de temperaturas muito elevadas (> 65°C) ou

umentando a temperatura para valores na faixa termofílica, favorecendo o desenvolvimento da atividade microbiológica satisfatória na matéria orgânica ainda degradável.

Wilson (1981) cita que muitos pesquisadores criticam o sistema Windrow, considerando-o ineficiente, se desenvolvido em curto período, além de exigir grandes áreas e por poder causar problemas de odor. Entretanto, Golueke (1977a) mostra que os sistemas mecânicos exigem capital elevado, não eliminam completamente o odor e requerem apenas um pouco menos de mão-de-obra com relação ao processo Windrow devido ao fato de que este vem passando por aperfeiçoamentos (como equipamentos específicos de reviramento) permanecendo a necessidade de um período de maturação (30-60 dias), igual para ambos os casos. O sistema de compostagem Windrow é uma opção promissora para pequenas comunidades e para países menos desenvolvidos onde se produzem resíduos com elevado teor de material putrescível, onde o capital é escasso e a terra é frequentemente abundante (Wilson, 1981).

2.7 - A Compostagem de Resíduos da Indústria Sucroalcooleira

A compostagem é um dos processos biológicos que mais se adequa aos princípios ecológicos podendo ser desenvolvida a baixo custo e mantendo alta eficiência na reciclagem e degradação de resíduos orgânicos (Pereira Neto, 1989a).

Eira e Paccola (1980) alertam que a aplicação de resíduos "in natura" da agroindústria açucareira pode acarretar prejuízos à cana-de-açúcar.

Visando solucionar o problema de decomposição dos resíduos e aumentar o potencial de plantio com material orgânico produzido na própria usina, vários sistemas de compostagem têm sido testados (Humbert, 1975; Coleti et alii, 1982). No entanto, são escassas as informações sobre a constituição de compostos preparados com bagaço-de-cana e torta de filtro.

Ewart e Humbert (1960), em pesquisa realizada no Havai, estabeleceram a necessidade de manter a mistura, bagaço-de-cana e torta, na forma de pilhas por períodos de dois anos, antes que a decomposição tivesse avançado o suficiente para permitir a aplicação da mistura em plantações de cana-de-açúcar. Foram necessárias aplicações de 30 a 75 t/ha para conseguir uma melhoria significativa nas condições físicas e químicas do solo. Entretanto, o aumento da produtividade obtido, não compensou o alto custo com o manejo da elevada quantidade do material aplicado, tornando impossível o aproveitamento do método de tratamento desenvolvido nesta pesquisa.

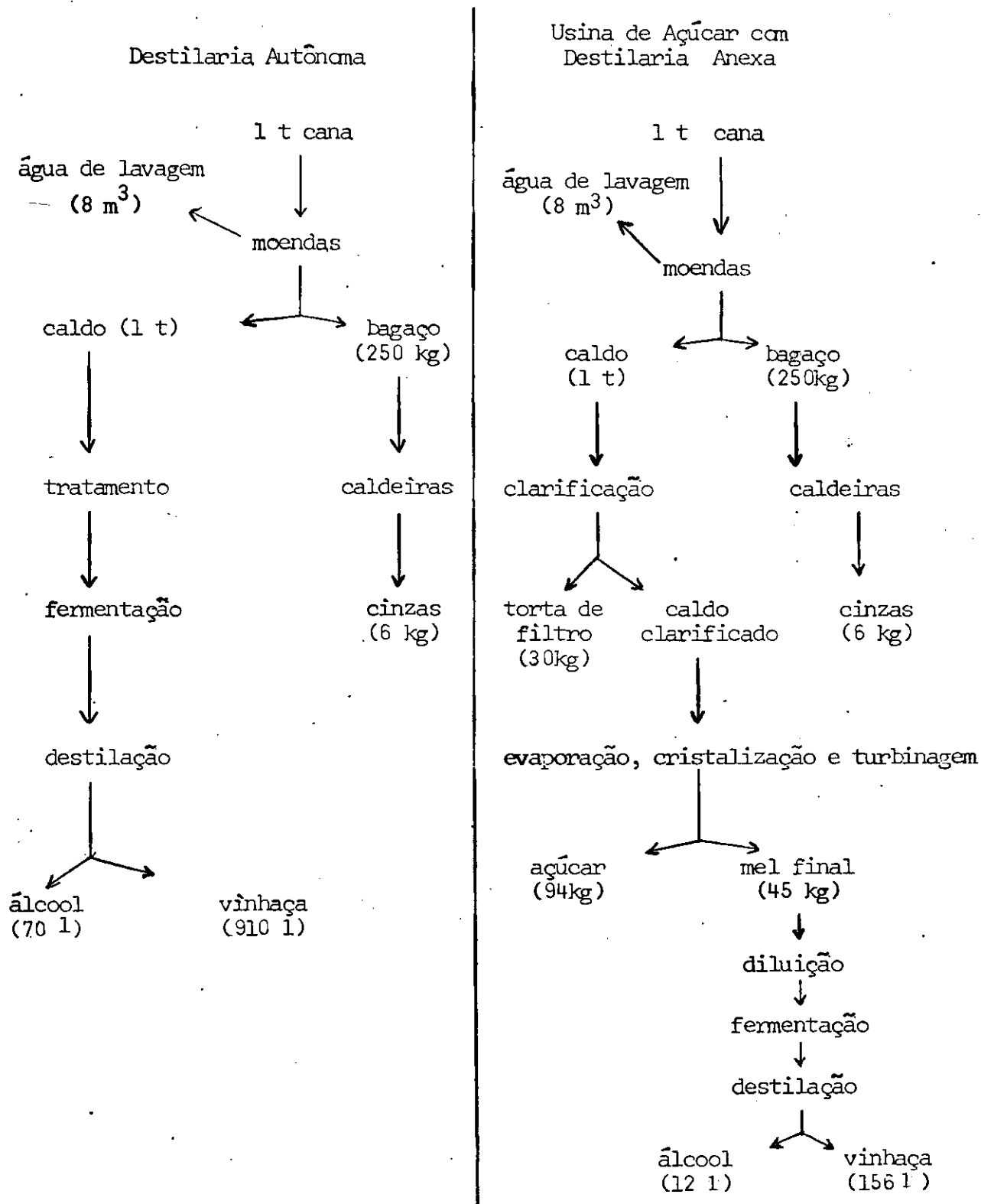
Humbert (1975) em trabalho desenvolvido no México, conseguiu reduzir o período de compostagem da mistura, bagaço-de-cana e torta para 04 meses, com o emprego do inoculante industrial "cofuná", produto importado da França contendo bactérias celulolíticas. Após este período foi obtido um material de cor negra e bom aspecto. O mesmo autor concluiu que o emprego de 10% por peso da mistura do inoculante foi suficiente para acelerar a decomposição dos materiais e produzir um composto de custo relativamente baixo que, aplicado na dosagem de 1 t/ha, propiciou um aumento da produção de 26 t/ha. O mesmo autor acrescentou que o composto fornece ferro e outros micronutrientes

à cana em desenvolvimento, proporcionando assim, um crescimento mais vigoroso.

No Brasil, o processo Indore foi testado em algumas usinas de açúcar e álcool. Coleti et alii (1982) construíram montes com bagaço-de-cana em mistura com torta, utilizando como inóculo, esterco bovino, o período de compostagem foi de 95 dias e o reviramento do material foi efetuado aos 30 e 65 dias. Coleti et alii (1986) repetiram este procedimento em escala semi-comercial, utilizando como inoculante, resíduos de animais de abatedouro de equinos, bovinos e aves em estágio inicial de decomposição. O produto da compostagem proporcionou bons resultados como condicionador de solo, favorecendo a germinação e influenciando beneficemente na produtividade agrícola.

Eira e Paccola (1980) citam que muitos autores comprovaram a necessidade de inoculantes na compostagem de substratos orgânicos. Os mesmos autores em experimentos realizados em laboratório com torta de filtro, também constataram ser necessário o uso de inoculantes devido a complexibilidade de materiais orgânicos presentes na torta, necessitando para sua compostagem de uma flora microbiana abundante morfológica e fisiologicamente diversificada.

FIGURA 2.1 - FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO APRESENTANDO AS QUANTIDADES MÉDIAS DE PRODUTOS E SUBPRODUTOS GERADOS NA INDUSTRIALIZAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR.



Fonte: Orlando Filho e Leme, 1984.

TABELA 2.1 - PRODUÇÃO DE CANA, AÇÚCAR E ÁLCOOL SAFRA 1988/1989

SAFRA 1988/1989	CANA MOÍDA MILHÕES DE TONELADAS	AÇÚCAR MILHÕES DE SACOS DE 50 Kg	ÁLCOOL BILHÕES DE LITROS
Brasil	218,7	161,5	11,7
Norte-Nordeste	52,1	56,3	1,8
Centro-Sul	166,6	105,2	9,9

Fonte: COPERSUCAR (1989)

TABELA 2.2 - PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE RESÍDUOS POR 1.000 TONELADAS DE CANA

RESÍDUOS USINAS	BAGAÇO (t)	TORTA (t)	VINHOTO (m ³)
Açúcar	250-300	30-40	-
Álcool	250-300	-	910
Açúcar com Des- laria	250-300	30-40	156-500

Fonte: Rameh (1980); Orlando Filho e Leme (1984); Bichara e Pizysiezniç Filho (1991)

TABELA 2.3 - ESPECIFICAÇÕES DE UM COMPOSTO ORGÂNICO

ESPECIFICAÇÕES	VALORES
pH	Mínimo 6,0
Nitrogênio	Mínimo 1,0%
Relação C/N	Máximo 18
Umidade	Máximo 40%

Fonte: Ministério da Agricultura (1982)

TABELA 2.4 - MICROORGANISMOS CAPAZES DE DECOMPOR CELULOSE

FUNGOS	BACTERIA	ACTINOMICETOS
<i>Alternaria</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Micromonospora</i>
<i>Aspergillus</i>	<i>Cellulomonas</i>	<i>Nocardia</i>
<i>Chaetomium</i>	<i>Clostridium</i>	<i>Streptomyces</i>
<i>Coprinus</i>	<i>Corynebacterium</i>	<i>Streptosporangium</i>
<i>Fomes</i>	<i>Cytophaga</i>	
<i>Fusarium</i>	<i>Polyangium</i>	
<i>Myrothecium</i>	<i>Pseudomonas</i>	
<i>Penicillium</i>	<i>Sporocutophaga</i>	
<i>Polyporus</i>	<i>Vibrio</i>	
<i>Rhizoctonia</i>		
<i>Rhizopus</i>		
<i>Trametes</i>		
<i>Trichoderma</i>		
<i>Trichothecium</i>		
<i>Verticillium</i>		
<i>Zygorhynchus</i>		

Fonte: Alexander (1977)

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Matérias Primas

As matérias primas foram bagaço-de-cana, torta de filtro e vinhoto, provenientes da Companhia Açucareira Riobranquense, que possui Usina de Açúcar com Destilaria Anexa localizada em Visconde do Rio Branco - MG. Esta usina, processa diariamente uma média de 2.000 toneladas de cana-de-açúcar, 75% desta cana é destinada à produção de açúcar e o restante, 25% é destinada à produção de álcool. A tabela 3.1 destaca a elevada quantidade de resíduos gerados durante o processo industrial. Também foi utilizado o esterco bovino como inóculo e fonte de nitrogênio, o qual foi obtido no estábulo mantido pelo Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa.

3.2 - Metodologia da Pesquisa

Durante a etapa preliminar da pesquisa, foram construídas leiras constituídas de bagaço-de-cana com diferentes quantidades de esterco bovino, para atuar como inóculo e fonte de nitrogênio (EXP-90%, EXP-80% e EXP-70%). A montagem destes experimentos teve como objetivo, a determinação da fração mínima de inóculo capaz de proporcionar uma atividade microbiológica satisfatória na degradação do bagaço-de-cana, o qual apresenta alta relação C/N, o que dificulta o crescimento e a diversificação de microorganismos (Citens 2.5.6.4. e 2.5.7.). Esta

fase permitiu também avaliar outros importantes parâmetros de projeto, como o ciclo de reviramento, a configuração geométrica apropriada e as dimensões mínimas das leiras. A tabela 3.2 apresenta a composição percentual das leiras montadas nesta etapa.

Durante a segunda etapa, após a determinação da percentagem mínima de inóculo que propicia melhores condições de compostabilidade ao bagaço-de-cana, foram construídas leiras com os resíduos específicos de Usinas de Açúcar (EXP-6 e EXP-7); de Destilarias Autônomas (EXP-8 e EXP-9); e leiras com os resíduos produzidos em Usinas de Açúcar com Destilaria Anexa (EXP-10, EXP-10B e EXP-11). Os resíduos bagaço-de-cana e torta de filtro foram misturados de acordo com a proporção média de produção industrial, tentando-se assim aumentar a flexibilidade do processo. O vinhoto, foi empregado na quantidade máxima necessária à correção do teor de umidade da massa de compostagem. Nesta etapa foram montados experimentos com e sem o emprego de esterco bovino (inóculo e aditivo natural), na proporção que propiciou uma melhor degradação do bagaço a fim de analisar a capacidade de compostabilidade dos resíduos na forma em que são produzidos na indústria. A Tabela 3.3 apresenta a composição percentual de todas as leiras montadas nesta etapa.

Na etapa preliminar da pesquisa, as leiras foram denominadas pela sigla EXP, abreviatura de experimento, seguido do valor percentual do bagaço-de-cana na leira. Por exemplo: a leira constituída de 90% de bagaço e 10% de esterco foi denominada EXP-90%. Os experimentos subsequentes, após determinado o teor ótimo de mistura, foram denominados pela sigla EXP seguido do número da leira. Por exemplo, o experimento

número 6, foi denominado EXP-6. Na repetição dos experimentos, inclusive montagem em escala operacional, tanto na fase preliminar, quanto na fase subsequente, foi acrescentada a letra B à sigla anteriormente dada, exemplo, EXP-90%B, EXP-6B, EXP-10B, etc.

3.3 - Construção das Leiras

As leiras de compostagem foram montadas com seção reta triangular (Figura 3.1) e dimensões aproximadas de 3,0 m de largura, 1,5 m de altura e comprimento variando de acordo com a quantidade de material (1,0 - 17,5 t). Estas foram construídas após a mistura das matérias primas, sendo observada a correção do teor de umidade para valores em torno de 75%, com água ou vinhoto, e a dissolução satisfatória do esterco para melhor distribuição em toda a massa de compostagem.

As leiras de 1,0 a 3,0 toneladas foram construídas manualmente, e a leira em escala real (17,5 toneladas) foi construída com o emprego de uma pá carregadeira (CATERPILAR D30).

3.4 - Técnica de Amostragem

A coleta das amostras foi efetuada da seguinte maneira:

i) Na matéria prima:

As amostras foram coletadas aleatoriamente em vários pontos do material, a fim de que fosse obtida uma amostra representativa do mesmo.

ii) Na massa de Compostagem:

Durante a primeira fase do processo, a coleta foi feita

em vários pontos da leira durante a operação de reviramento, retirando-se material submetido a diferentes zonas de temperaturas. Na segunda fase do processo, as amostras foram coletadas a partir do ponto central da pilha até a camada sub-superficial (aproximadamente 65 cm da superfície).

A coleta das amostras foi efetuada segundo as recomendações da literatura especializada (Pereira Neto, 1987).

Após a coleta, a amostra era bem misturada e quarteada para a obtenção de uma sub-amostra representativa do material. Com esta amostra eram feitas análises bacteriológicas, físicas, químicas e físico-químicas. As análises químicas foram realizadas com a sub-amostra colocada na estufa a 70°C, por 24 horas.

3.5 - Monitoramento

O monitoramento do processo consistiu na caracterização das matérias primas e de análises de rotina em amostras do material, retiradas durante o período de compostagem, coletadas nos dias de montagem das Leiras (dia zero), no sétimo dia, e a cada 15 dias até o término do processo. Para a caracterização e análises de rotina foram efetuadas determinações físicas, químicas, físico-químicas e bacteriológicas e observações de cor, odor e atração de vetores.

As análises efetuadas permitiram avaliar a taxa de degradação da matéria orgânica, a eficiência do processo e a qualidade do composto obtido, de acordo com a Legislação Brasileira de Fertilizantes Orgânicos (Tabela 2.3).

3.6 - Análise do Material

3.6.1 - Análises Físicas

3.6.1.1 - Densidade

A determinação da densidade foi efetuada utilizando-se um recipiente com capacidade de 15 litros, que foi completamente cheio e em seguida pesado. A densidade foi calculada utilizando a razão entre o peso do material determinado e o volume conhecido. Esta análise foi realizada de acordo com as recomendações de Pereira Neto (1987).

3.6.1.2 - Temperatura

A temperatura, como importante parâmetro que regula a eficiência do processo, foi medida diariamente em três pontos da leira, base, centro e topo, e na parte central das pilhas em maturação, com a utilização de sondas par termoelétrico acoplado a varas de bambu ou em tubos de aço com 15 mm de diâmetro (Figuras 3.1 e 3.2). A leitura das temperaturas foi feita com a utilização de um termômetro digital de bolso (Jenco-20).

3.6.2 - Análises Físico-Químicas

3.6.2.1 - Teor de Umidade

A determinação do teor de umidade foi feita segundo as recomendações de Solyon (1977). A amostra do material

(Aproximadamente 30 gramas) era pesada e colocada em uma estufa (GALLEMKAMP) a $70 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 24 horas. Em seguida, este material era esfriado em dessecador e pesado. O teor de umidade era obtido pela diferença em peso.

3.6.2.2 - pH

O pH das amostras foi determinado com potenciômetro em suspensão aquosa, de acordo com as recomendações de Carnes e Lossin (1970) e Pereira Neto (1987).

Seguindo-se a metodologia recomendada, adicionou-se 250ml de água destilada a 10 gramas da amostra, esta solução depois de agitada por 3 minutos foi deixada em repouso por 5 minutos, para em seguida ser feita a leitura do pH (pHmetro PN 1410 PHILIPS).

3.6.3 - Análises Químicas

3.6.3.1 - Carbono Orgânico Compostável

A metodologia utilizada seguiu as recomendações de Kiehl (1985) para a determinação do carbono orgânico disponível para a compostagem. O método consiste na oxidação do carbono com dicromato de potássio em meio acidificado pela adição de ácido sulfúrico, e posterior titulação do oxidante em excesso com sulfato ferroso.

3.6.3.2 - Nitrogênio Total

A análise de nitrogênio total foi feita utilizando-se o método convencional Kjeldahl, seguindo-se as recomendações de Pereira Neto (1987). Neste método, por meio de uma digestão a 350°C ($\pm 20^\circ\text{C}$) com ácido sulfúrico concentrado e mistura digestora ($\text{Se-CuSO}_4\text{-Na}_2\text{SO}_4$), o nitrogênio é transformado em amônia, que reage com o ácido sulfúrico formando sulfato de amônia. Durante a destilação, fase que sucede a digestão, a amônia é liberada pela adição de hidróxido de sódio, destilada dentro de uma quantidade conhecida de ácido bórico saturado e titulada com ácido clorídrico para determinação do teor de nitrogênio.

3.6.3.3 - Potássio, Cálcio, Magnésio e Fósforo (macronutrientes) e Ferro, Zinco, Cobre e Manganês (micronutrientes) e Sódio

A análise destes elementos foi feita em extrato nitro-perclórico, obtido na digestão a $175 \pm 5^\circ\text{C}$ de 500mg da amostra (moída finamente) em mistura de ácido clorídrico e ácido perclórico. O teor de fósforo (P) foi determinado por colorimetria (espectrofotômetro micronal B380). As concentrações de sódio (Na) e potássio (K) foram determinadas por fotometria de chama. Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Cobre (Cu) e Manganês (Mn) foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (CGAA 7.000 ABC). Estas análises empregaram metodologias recomendadas por Orlando F, 1983.

3.6.4 - Análise Bacteriológica

3.6.4.1 - Determinação de Estreptococos Fecais

Os estreptococos foram utilizados como microorganismos indicadores da variação da população microbiana e da provável presença de patógenos, por serem, os mais recomendados em trabalhos de compostagem (Pereira Neto, 1987). As contagens dos microorganismos foram feitas empregando-se o método de filtração por membranas (Kenner et alii, 1961).

As análises foram processadas de acordo com a metodologia descrita a seguir: adicionava-se a 01 grama da amostra 99ml da solução Ringer; esta solução era fortemente agitada por 3 minutos e em seguida, deixada em repouso por 10 minutos, tempo necessário para obter boa sedimentação de partículas. Em seguida, era feita uma série de diluições (10^{-2} - 10^{-7}) do sobrenadante da amostra, através de transferências sucessivas de 1ml da amostra para vidros universais que continham 9ml da solução Ringer. Para cada diluição foram feitas duas filtrações em filtro de membranas (Millipore - Tipo HA, 0,45um de poros). As membranas eram incubadas com o meio KF (composição por litro de meio: Triptose-20g, Extrato de Levedura-5g, Dextrose-2g, K_2HPO_4 -4g, Azida Sódica-0,4g, Cloridrato de 2,3,5 - Trifenil Tetrazolium-0,1g) por 48 horas a $37 \pm 2^\circ C$ em estufa (GALLENKAMP). Após este período, foi efetuada a contagem das colônias de coloração vermelha-escura (Pereira Neto, 1987).

3.6.5 - Outras Observações

Durante todo o processo foram feitas observações da cor, emanção de odor e atração de moscas e mosquitos no material em decomposição.

3.7 - Ciclo de Reviramento

O ciclo de reviramento era definido em função da temperatura na massa de compostagem e da velocidade de degradação do material carbonáceo. Os ciclos de reviramento usados, foram a cada 3 ou 6 dias em função da atividade microbiológica desenvolvida durante o processo.

Foi efetuado reviramento manual e mecânico com o emprego de uma pá carregadeira. Durante a operação de reviramento manual, o material foi intimamente misturado e em seguida a leira foi montada com a mesma configuração geométrica. Procedimento similar foi efetuado em escala operacional, por meio de uma pá carregadeira, que permitiu uma elevada homogeneização da massa.

3.8 - Término da Fase Ativa

O término da fase ativa foi determinado pelo decaimento da temperatura para valores abaixo de 40°C (item 2.5.5.) e pela relativa estabilização da degradação da matéria orgânica, constatada pelo decaimento do teor de carbono orgânico e da relação C/N no final desta fase.

3.9 - Término da Fase de Maturação

O término da fase de maturação foi também determinado em função da temperatura desenvolvida nas pilhas de maturação, para valores inferiores a 40°C, nas pilhas que apresentavam valores na faixa termofílica, e pelo abaixamento da temperatura nas pilhas que mantinham temperaturas mesofílicas. Sendo estabelecido nesta pesquisa o limite máximo de 60 dias, para as pilhas que não abajassem a temperatura para valores inferiores 40°C.

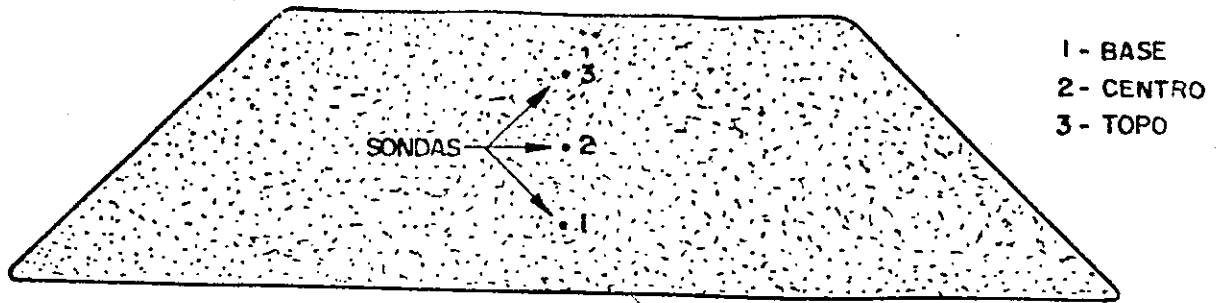


Fig. 3.1a - CONFIGURAÇÃO GEOMÉTRICA DA LEIRA E POSICIONAMENTO DAS SONDAS SEÇÃO LONGITUDINAL

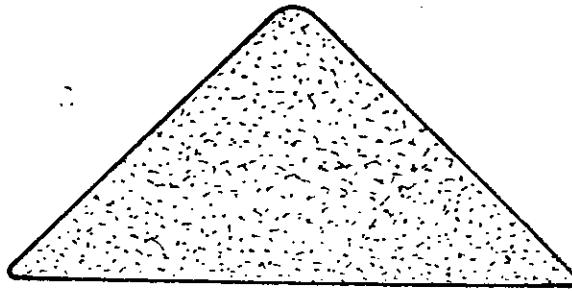


Fig. 3.1b - CONFIGURAÇÃO GEOMÉTRICA DA LEIRA - SEÇÃO TRANSVERSAL

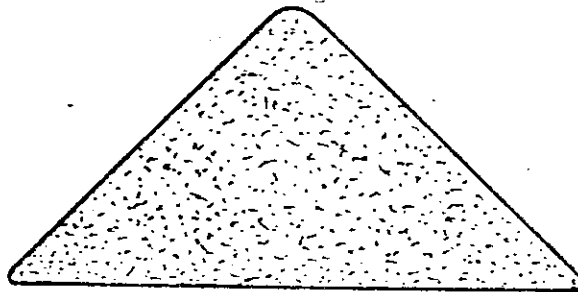


Fig. 3.2 - PILHA EM MATURAÇÃO

TABELA 3.1 - RESÍDUOS GERADOS DIARIAMENTE PELA COMPANHIA
AÇUCAREIRA RIOBRANQUENSE

RESÍDUOS	QUANTIDADE
Bagaço	560 t*
Torta	73 t
Vinhoto	850 m ³

* 90% da massa de bagaço é usada como insumo energético (queima em caldeira)

TABELA 3.2 - LEIRAS MONTADAS DURANTE A FASE PRELIMINAR DA PESQUISA

DENOMINAÇÃO	COMPOSIÇÃO
EXP - 90 %	90 % Bagaço 10 % Esterco
EXP - 80 %	80 % Bagaço 20 % Esterco
EXP - 70 %	70 % Bagaço 30 % Esterco

TABELA 3.3 - LEIRAS MONTADAS DURANTE A 2ª ATAPA DA PESQUISA

RESÍDUOS DE	DENOMINAÇÃO	COMPOSIÇÃO
Usinas de Açúcar	EXP - 6	45% Bagaço 55% Torta *
	EXP - 7	30% Bagaço 40% Torta ** 30% Esterco
Usinas de Alcool	EXP - 8	Bagaço Vinhoto
	EXP - 9	70% Bagaço 30% Esterco Vinhoto
Usinas de Açúcar com Destilaria Anexa	EXP - 10	45% Bagaço 55% Torta * Vinhoto
	EXP - 11	30% Bagaço 40% Torta ** 30% Esterco Vinhoto

* Mistura na proporção da produção industrial

** Mistura na proporção da produção industrial + inóculo

CAPITULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo os experimentos estão citados, conforme descritos no item 3.2. As Tabelas contendo os resultados das análises efetuadas durante o processo de compostagem, apresentam a média dos valores obtidos na análise das leiras e na análise de suas respectivas repetições, em virtude dos resultados de cada repetição apresentarem valores semelhantes.

4.1 - Estudos Preliminares

Neste item, serão apresentados e discutidos os resultados da fase preliminar da pesquisa que foi desenvolvida com o objetivo de fornecer e/ou comprovar os parâmetros de projeto (item 3.2). Dentre os principais parâmetros que foram determinados, tem-se a proporção das matérias primas na massa de compostagem, o ciclo de reviramento, a configuração geométrica e as dimensões mínimas da leira.

4.1.1 - Matérias Primas

A caracterização das matérias primas, resultante de análises físicas, físico-químicas e bacteriológica, encontra-se na Tabela 4.1.1.

O bagaço-de-cana havia sido previamente disposto em local aberto durante um período chuvoso, o que possivelmente provocou um aumento no teor de umidade, o que interferiu na densidade do material.

A determinação de estreptococos fecais revelou, como já era esperado, que o esterco bovino fresco utilizado continha uma população de estreptococos ($3,7 \times 10^5$ UFC/g) superior à população encontrada no bagaço ($0,5 \times 10^2$ UFC/g), o que demonstra ser possível a sua utilização como agente inoculante. Cabe resaltar que os estreptococos encontrados no bagaço não são obrigatoriamente de origem fecal. Nos testes de rotina utilizando o meio de cultura KF são detectados todos os estreptococos fecais, cujas espécies segundo a APHA são *S. faecalis*, *S. faecalis var liquefaciens*, *S. faecalis var zymogenes*, *S. durans*, *S. faecium*, *S. equinus*, *S. avium*, *S. mitis*, *S. salivarium*. As espécies *S. var liquefaciens* e *var zymogenes* estão presentes em ambientes não poluídos em vegetais e em insetos (Ceballos, 1990).

A análise do teor de nutrientes e do sódio demonstrou que o esterco bovino também contém uma concentração de nutrientes mais elevada, permitindo o seu emprego como fonte adicional de nutrientes, sendo o mais importante, o nitrogênio, que propiciará a formação de uma massa de compostagem com relação C/N mais favorável ao processo (item 2.5.6.4).

4.1.2 - Construção das Leiras

Objetivando obter um maior contato entre o esterco (pastoso) e o bagaço, esse foi dissolvido, na proporção de 1 litro de água para 1 kg de esterco, o que permitiu inclusive maior facilidade na mistura da massa de compostagem que se apresentou bastante homogênea no final do processo. O teor de

umidade da mistura foi ajustado quando necessário com a adição de água para um valor em torno de 75% (item 4.1.5.1).

As leiras foram construídas por 3 homens, o que demandou um tempo médio de 20 minutos/tonelada/homem.

4.1.3 - Ciclo de Reviramento das Leiras

No processo Windrow, o reviramento da massa de compostagem é a operação utilizada para suprir a demanda de oxigênio necessária aos microorganismos e para controlar a temperatura do meio. Foi observado que logo após a operação de reviramento, ocorre decaimento da temperatura da leira, em virtude da perda de parte do calor que estava retido no material. Entretanto, a existência de um bom equilíbrio ecológico na massa de compostagem (material carbonáceo degradável, umidade ótima, nutrientes, microbiota diversificada), promoverá a recuperação de temperatura para valores ótimos desejados (45 - 65°C).

Foi também observado que a configuração geométrica assim como o ciclo de reviramento, são fatores que influenciam diretamente em uma maior ou menor retenção de calor. Devido ao decaimento das temperaturas desenvolvidas nas leiras, ainda no início do processo (30 dias), com o material ainda não estabilizado (alta relação C/N), o ciclo de reviramento previamente estabelecido de 3 dias, foi aumentado para 6 dias e a leira passou a ser construída com uma maior altura (cerca de 30 cm superior). Estas modificações promoveram o aumento da temperatura das leiras, como mostra o item 4.1.4.2.

O tempo médio de reviramento das leiras foi de 25

minutos/tonelada/homem, o que foi considerado satisfatório.

4.1.4 - Análises Físicas

4.1.4.1 - Densidade

As leiras que continham uma maior concentração de esterco, apresentaram uma maior densidade, por ter o esterco densidade bem mais elevada que o bagaço-de-cana (Tabelas 4.1.1 e 4.1.3).

No decorrer do processo, houve uma redução da densidade do material, conforme pode ser observado na Tabela 4.3. Na fase ativa, a redução média foi de 17,94% nas leiras EXP-80% e de 20,75% nas leiras EXP-70%. Enquanto na fase de maturação, a redução foi de 8,24% nas leiras EXP-80% e de 1,89% nas leiras EXP-70%. Esta redução ocorreu provavelmente em virtude da transformação de parte do material orgânico em compostos voláteis. As leiras EXP-90% não apresentaram condições de compostabilidade satisfatória, o que foi detectado pela manutenção de temperatura ambiente na massa de compostagem, estas leiras permaneceram sob observação por 15 dias e tiveram o monitoramento encerrado (item 4.1.4.2).

4.1.4.2 - Temperatura

A temperatura atingida na leira é um importante parâmetro de avaliação da eficiência do processo, por ser resultante da atividade microbiológica de degradação do material

orgânico que promove liberação de energia na forma de calor. Segundo Pereira Neto (1989), a configuração geométrica e o ciclo de reviramento das leiras favorecem a uma maior ou menor retenção de calor (item 2.6).

As temperaturas na faixa termofílica foram atingidas apenas nas leiras EXP-70%, indicando que a adição de 30% de inóculo (esterco bovino) promoveu melhores condições de compostabilidade (Figuras 4.1.1 a 4.1.3).

As leiras EXP-90%, permaneceram com temperaturas em torno de 35°C não apresentando, portanto, condições de compostabilidade termofílica satisfatória face ao período de tempo que seria demandado para a complementação do processo (item 2.5.6.3). Isto ocorreu provavelmente em virtude da baixa concentração de microorganismos presentes no meio, já que este foi o único fator que diferiu dos demais experimentos, pois as análises da relação C/N e do teor de umidade do material (que influenciam diretamente na atividade microbiológica) apresentaram valores semelhantes aos valores encontrados nas leiras EXP-80% e EXP-70%, as quais alcançaram temperaturas mais elevadas. Vale lembrar que todas as leiras tiveram ciclo de reviramento e configuração geométrica semelhantes (item 4.1.3). Como descrito no item 2.5.6.4, o nitrogênio constitui o elemento básico para a síntese protoplasmática. Como as leiras EXP-90% tiveram apenas 10% em peso de inóculo e fonte adicional de nitrogênio (esterco), os resultados sugerem fortemente que este percentual é baixo para favorecer uma boa reprodução microbiana e conseqüentemente, o desenvolvimento de temperaturas termofílicas.

As leiras EXP-80% alcançaram temperaturas próximas a

45°C durante aproximadamente os vinte primeiros dias do processo, quando a temperatura baixou para valores em torno de 30°C, somente voltando a aumentar depois que o ciclo de reviramento foi aumentado de 3 para 6 dias e a configuração geométrica das leiras foi alterada, pelo aumento da altura em aproximadamente 30 cm. Entretanto, na maior parte do tempo, as leiras EXP-80%, apresentaram temperaturas na faixa mesofílica (28-45°C), não estando de acordo com o conceito de compostagem moderna que recomenda temperaturas termofílicas (item 2.5.6.3). Aos 74 dias de processo não foi verificado nenhum valor de temperatura superior a 40°C, indicando assim o fim da fase ativa, conforme descrito no item 3.8.

Os experimentos EXP-70% apresentaram temperaturas termofílicas (45 - 60°C) que eram rapidamente recuperadas após o reviramento, até os primeiros quinze dias do processo. Depois deste período, a recuperação da temperatura tornou-se mais lenta e as temperaturas superiores a 40°C somente foram novamente atingidas depois que o ciclo de reviramento foi aumentado de 3 para 6 dias e a altura da leira foi elevada em 30 cm, permitindo maior retenção de calor na leira. O decaimento da temperatura para valores inferiores a 40°C, ocorreu por volta do dia 55.

Encerrada a fase ativa do processo, as leiras passaram à fase de maturação, para que ocorresse a humificação do material com a degradação de moléculas mais complexas (celulose, lignina) (item 2.5.5).

Durante a fase de maturação as leiras EXP-80% atingiram valores variando entre 30 e 35°C, até que depois de 35 dias, foi iniciado o decaimento da temperatura, o que indicou o

encerramento da fase de maturação (item 3.9) As leiras EXP-70% apresentaram elevação da temperatura durante os 25 dias desta fase; após este período houve oscilação da temperatura que permaneceu com valores inferiores a 40°C.

4.1.5 - Análises Físico-Químicas

4.1.5.1 - Teor de Umidade

Durante a operação de construção das leiras, foi efetuada a correção do teor de umidade da massa de compostagem, visando a obtenção de uma satisfatória atividade microbiológica. O teor de umidade foi corrigido para valores em torno de 75%, o que se julgou adequado, observando-se as características físicas do material, tamanho das partículas e porosidade (item 2.5.6.2). No decorrer do processo, as leiras não apresentaram variações significativas do teor de umidade, sendo o valor mínimo de 75,84% e o valor máximo de 80,24% (Tabela 4.1.4). Ao contrário do que usualmente ocorre com leiras de lixo urbano (Pereira Neto, 1987; Nóbrega, 1991), não foi verificada uma redução do teor de umidade provavelmente, porque as leiras não atingiram temperaturas excessivas, que propiciassem a perda de vapor d'água durante a operação de reviramento. Estas leiras permaneceram com temperaturas inferiores a 60°C.

4.1.5.2 - pH

A Tabela 4.1.5 mostra que as leiras com maior proporção

de esterco, apresentaram valores de pH inicial mais elevado, o que pode ser justificado observando-se o pH das matérias primas, onde o esterco apresenta um valor (8,45) bem mais elevado que o bagaço (6,85).

Nos primeiros 30 dias da fase ativa, o pH oscilou entre 7,5 e 8,5 permanecendo depois até o final desta fase com valores em torno de 7,5. Segundo Alexander (1977), a faixa de pH entre 7,5 e 8,5 é tida como ótima para o desenvolvimento de microorganismos.

Durante a fase de maturação, o pH manteve-se na faixa alcalina com valores próximos a 7,5, o que propiciou a formação de um composto, cujo pH satisfaz a exigência da Legislação Brasileira de Fertilizantes que preconiza um pH mínimo de 6,0 (Tabela 2.3).

4.1.6 - Análises Químicas

4.1.6.1 - Carbono Orgânico Compostável

Os experimentos tiveram praticamente a mesma concentração inicial de carbono orgânico compostável, o que era esperado, devido as matérias primas apresentarem concentrações de carbono compostável semelhantes (Tabelas 4.1.1. e 4.1.6).

As leiras EXP-90% foram monitoradas até a idade de 15 dias, quando ficou comprovado, pelos baixos valores de temperatura desenvolvidos na massa de compostagem, que não havia condições de compostabilidade satisfatória, conforme foi discutido no item 4.1.4.2. Neste período, a degradação do

material carbonáceo não foi satisfatória apresentando concentração de carbono orgânico final (28,96%) muito superior aos valores encontrados nos experimentos EXP-80% (16,32%) e EXP-70% (19,57%).

As leiras EXP-80% que permaneceram por um maior período de tempo na fase ativa (75 dias) mantendo temperaturas superiores a 40°C, porém não atingindo a faixa termofílica (item 4.1.4.2), tiveram uma redução média do material carbonáceo de 50,44%, enquanto as leiras EXP-70% que permaneceram por um menor período de tempo na fase ativa (55 dias) apresentaram uma redução média de 33,44%.

Analisando-se a variação do teor de carbono durante a fase ativa (Tabela 4.1.6), é possível verificar que a degradação do material carbonáceo durante os primeiros 30 dias do processo foi muito lenta, comprovando que a decomposição de materiais com alta relação C/N ocorre muito lentamente (Tabela 4.1.8) como descrito no item 2.5.6.4.

Na fase de maturação a redução média nas leiras EXP-80%, foi de 11,76% e nas leiras EXP-70% foi de 34,40%, demonstrando que nos experimentos EXP-70% a fase de maturação se caracterizou por apresentar uma considerável taxa de degradação, superior a encontrada nos demais experimentos. Este fato ocorreu provavelmente, devido à maior concentração de nitrogênio (Tabela 4.1.7) registrada em todas as repetições EXP-70%, o que proporcionou condições mais favoráveis ao desenvolvimento de microorganismos, principalmente fungos e actinomicetos, predominantes nesta fase, visto que de acordo com outras análises, físico-químicas e químicas as leiras EXP-80% e EXP-70%

apresentaram características semelhantes.

4.1.6.2 - Nitrogênio Total

Em todas as leiras foi registrado um aumento na concentração de nitrogênio do material durante o período de compostagem. Este aumento, segundo Stentiford e Pereira Neto (1985), é devido a volatilização de parte do material orgânico. Porém, Pereira Neto (1987) em sua revisão bibliográfica, também relata que este aumento pode ser resultante da fixação de nitrogênio por bactérias fixadoras de nitrogênio.

Observando-se a Tabela 4.1.7, que mostra a variação do teor de nitrogênio durante o processo, é possível verificar que o aumento não é constante. Isto deve-se ao fato de que durante a compostagem a concentração de nitrogênio assim como pode aumentar, pode também diminuir, devido a volatilização de compostos amoniacais em meios com temperatura alta e pH alcalino (Poincelot, 1975).

O fato de ter sido encontrada uma maior concentração de nitrogênio em todas as leiras EXP-70%, deve-se ao maior percentual de esterco bovino que foi inoculado nas mesmas.

O teor mínimo de nitrogênio de 1,0% exigido para um composto, pela Legislação Brasileira de Fertilizantes, foi alcançado somente pelos produtos oriundos das leiras EXP-70%.

4.1.6.3 - Relação C/N

A Tabela 4.1.8 demonstra que em todas as leiras houve

uma elevada redução da relação C/N do material, sendo a redução média na fase ativa de 73,78% nas leiras EXP-80% e de 66,21% nas leiras EXP-70%, e na fase de maturação foi de 29,63% nas leiras EXP-80%, e de 48,00% nas leiras EXP-70%.

Os resultados obtidos comprovaram a importância da fase de maturação para a degradação do material orgânico ainda compostável ao término da fase ativa. Esta degradação proporcionou a produção de um material mais estabilizado, com maior teor de nitrogênio e menor relação C/N. Ao final do processo foi conseguida uma relação C/N média de 19 para as leiras EXP-80% e de 13 para as leiras EXP-70%. Este valor, além de ser próximo ao valor do húmus, relação C/N em torno de 10, é bem menor do que o valor exigido pela Legislação Brasileira de Fertilizantes para um composto, que é de uma relação C/N máxima de 18.

4.1.6.4 - Potássio, Cálcio, Magnésio e Fósforo (macronutrientes) e Ferro, Zinco, Cobre e Manganês (micronutrientes) e Sódio

Potássio, Cálcio, Magnésio e Fósforo (macronutrientes) e Ferro, Zinco, Cobre e Manganês (micronutrientes) e sódio foram monitorados devido a importância destes, para o bom desenvolvimento da cana-de-açúcar (Orlando F.^o, 1983).

A aplicação no solo de fertilizantes contendo macro e micronutrientes é uma maneira de colocar o nutriente que não se encontra no solo em quantidade adequada para a cultura, a disposição da planta, antes que a mesma inicie o seu

desenvolvimento. Desta forma, a taxa de aplicação do fertilizante é comumente definida em função dos níveis dos elementos revelados pela análise do solo e análise do fertilizante (Orlando F, 1983).

Durante o processo de compostagem foi detectado um aumento do percentual de macro e micronutrientes o que provavelmente, é devido à perda de compostos voláteis durante o processo (Tabelas 4.1.9 a 4.1.17).

4.1.7 - Análise Bacteriológica

4.1.7.1 - Estreptococos Fecais

A determinação de estreptococos nas matérias primas, mostrou que o bagaço-de-cana contém uma quantidade de estreptococos, inferior ao número encontrado no esterco bovino (Tabela 4.1.1).

Durante o processo, os estreptococos não foram eliminados, devido provavelmente ao fato da camada superficial das leiras, a qual fica submetida à temperatura ambiente, atuando como reservatório destes microorganismos, ter sido misturada ao restante do material durante a operação de reviramento, recontaminando a massa de compostagem que apresentava-se com temperaturas mais elevadas e provavelmente mais esterilizada (Pereira Neto, 1986) (Tabela 4.1.18).

Outro fato que pode explicar a sobrevivência dos microorganismos indicadores no processo, é dado por Boutin et alii (1986) em trabalho de pesquisa sobre a contaminação por

bactérias e fungos transportados pelo ar em usinas de compostagem. Eles verificaram que compostos de resíduos vegetais são contaminados por indicadores fecais, o que segundo os mesmos autores, poderia indicar um crescimento de germes inoculados. O resultado obtido por estes pesquisadores leva a supor que durante a operação de reviramento das leiras da presente pesquisa, pode ter ocorrido contaminação do material por estreptococos transportados pelo ar e por vetores, em virtude do desenvolvimento de trabalhos paralelos com lixo urbano no mesmo pátio de compostagem.

4.1.8 - Outras Observações

4.1.8.1 - Observações de Cor, Odor e Atração de Vetores

No início do processo, a massa de compostagem tinha uma coloração marrom clara. Durante todo o período de compostagem, não houve emanção de odor, nem atração de moscas e mosquitos, sendo somente observada a presença de moscas, nas leiras quando havia no pátio de compostagem, lixo urbano fresco, que atraía grande quantidade de vetores.

Depois dos trinta primeiros dias do processo, o material passou a apresentar tonalidade marrom escuro, tendendo a preto, e odor de terra molhada, características da ocorrência de um processo de humificação, que persistiram até o final do processo (item 2.5.5).

4.2 - Experimentos com Resíduos da Indústria Sucroalcooleira (Bagaço-de-cana, Torta de Filtro e Vinhoto)

Neste item, serão avaliados os experimentos subsequentes à fase preliminar da pesquisa, que constam de leiras construídas com os resíduos de Usinas de Açúcar; com os resíduos de Destilarias Autônomas e Leiras com os resíduos de Usinas de Açúcar com Destilaria Anexa. Estes experimentos foram montados com e sem o emprego de esterco bovino (inóculo e aditivo natural), objetivando analisar a capacidade de compostabilidade dos resíduos, na forma natural em que são produzidos na indústria. Nesta etapa, foram empregados os parâmetros de projeto obtidos na etapa preliminar da pesquisa, como: ciclo de reviramento, configuração geométrica e proporção ótima de inóculo (esterco bovino).

4.2.1 - Matérias Primas

As matérias primas utilizadas foram Bagaço-de-cana, Torta de Filtro, Vinhoto e Esterco bovino.

Comparando-se as matérias primas, bagaço e esterco, utilizadas na etapa preliminar e nos experimentos subsequentes (Tabelas 4.1.1 e 4.2.1), é possível observar que há diferença significativa somente no teor de umidade, densidade e pH das amostras de bagaço, que quando utilizado na etapa preliminar da pesquisa, apresentou maior teor de umidade e densidade, confirmando o que foi citado no item 4.1.1 de que a estocagem em local aberto durante um período chuvoso provocou um aumento no

teor de umidade, que elevou a densidade do material. O pH apresentou um valor mais elevado, devido a possíveis modificações ocorridas no bagaço, no pátio de estocagem, o que não ocorreu com o material fresco usado nos experimentos subsequentes. Entretanto, a relação C/N e o resultado das outras determinações químicas, físico-químicas e bacteriológicas demonstram que o bagaço utilizado na etapa preliminar e nos experimentos subsequentes apresentam valores aproximados, indicando que estes materiais estavam em condição similar de degradabilidade.

As análises químicas mostram que a torta de filtro possui menor relação C/N, com menor concentração de carbono e maior concentração de nitrogênio que o bagaço, contribuindo para a diminuição da relação C/N da massa de compostagem. O vinhoto, por sua vez, possui baixa concentração de nutrientes, o que era esperado, devido ao seu elevado conteúdo de água, em média de 93% (item 2.3.3). A torta de filtro apresentou elevado teor de nutrientes principalmente ferro. O bagaço apresentou menores concentrações de nutrientes que a torta e o esterco, com exceção apenas, em relação aos teores de ferro e cobre, que foram superiores às concentrações do esterco.

4.2.2 - Construção das Leiras

A Tabela 3.3 mostra a composição percentual das leiras montadas nesta etapa da pesquisa.

As leiras foram inicialmente construídas com 1 a 3 toneladas de matéria prima (Tabela 4.2.2), o que se julgou ser uma faixa bastante representativa, com base nos resultados

satisfatórios obtidos na fase preliminar da pesquisa. Com o objetivo de avaliar a operacionalização do processo em uma escala industrial, foi efetuada a montagem de uma leira em escala industrial de trabalho, com 17,5 toneladas de material (1,80 m x 4,80 m x 10,30 m), que teve seu processo de reviramento efetuado por meio de uma pá carregadeira. Esta leira foi composta por resíduos gerados em Usinas de Açúcar com Destilaria Anexa, isto significa dizer, que foram empregados todos os resíduos produzidos em larga escala pela indústria sucroalcooleira.

Os experimentos foram montados logo após a mistura das matérias primas, observando-se a correção do teor de umidade do material, para valores em torno de 75%. O vinhoto foi empregado na construção das leiras EXP-8, EXP-9, EXP-10 e EXP-11.

As leiras compostas de bagaço e torta, tiveram a umidade do material corrigida com a adição de 400 litros de água por tonelada de material para as leiras EXP-6, e de 400 litros de vinhoto por tonelada de material para as leiras EXP-10 e EXP-10B. Enquanto as leiras EXP-8, constituídas somente de bagaço receberam uma quantidade de vinhoto correspondente a 1.200 litros por tonelada da massa de bagaço. Foi possível a adição de uma maior quantidade de líquido (l/t) aos experimentos EXP-8, em virtude destes serem compostos somente por bagaço, material fibroso que apresentou menor teor médio de umidade (52,68%) que a torta de filtro (70,17%) e o esterco (72,33%), maior tamanho da partícula, maior porosidade e menor peso específico que a torta e o esterco. Estas características diminuem a probabilidade da ocorrência de anaerobiose na massa de compostagem bem como da formação de chorume.

O tempo médio de 20 min/t, para a montagem manual das leiras (operação efetuada por 3 homens), e de 25 minutos para a montagem feita com o auxílio de pá carregadeira, da leira que empregou 17,5 toneladas de material, foi considerado satisfatório para uma adequada homogeneização e correção da umidade do material.

4.2.3 - Ciclo de Reviramento

Ficou comprovado que o ciclo de reviramento pode ser um importante parâmetro de controle da temperatura na massa de compostagem. Logo após a operação de reviramento, ocorre o decaimento da temperatura da leira, a qual se recupera em maior ou menor tempo, em função de certas condições existentes na massa de compostagem (umidade, nutrientes, matéria orgânica degradável, população microbiana e configuração da leira). Foi também notado que a configuração geométrica, assim como o ciclo de reviramento influenciam diretamente na maior ou menor retenção de calor na leira.

Inicialmente, o reviramento das leiras foi efetuado a cada 3 dias, sendo aumentado para 6 dias, quando observado que a recuperação de temperaturas para valores termofílicos desejados (45-65°C), tornava-se muito lenta (após 48 horas) em materiais não estabilizados (alta relação C/N). O aumento do ciclo de reviramento proporcionou a manutenção de temperaturas termofílicas por um maior período de tempo (item 4.2.4.2). Os experimentos com resíduos de usinas de açúcar com destilaria anexa (EXP-10, EXP-10B e EXP-11) precisaram ser revirados a cada

03 dias, em virtude da elevada atividade microbiológica desenvolvida nestes experimentos, que propiciava uma rápida recuperação da temperatura logo após a operação de reviramento. Cabe resaltar que somente as leiras EXP-10, tiveram, ao final desta primeira fase do processo (65 dias), o aumento do ciclo de reviramento para 06 dias (visando obter temperaturas mais elevadas). Os demais experimentos tiveram o ciclo de reviramento, aumentado de 03 para 06 dias, após aproximadamente 35 dias de processo.

As figuras 4.2.1 a 4.2.7. mostram a variação da temperatura predominante na leira de compostagem, destacando os dias de reviramento.

O tempo médio de reviramento manual foi de 25 min/t/homem e o tempo médio de reviramento mecânico de uma leira de 17,5 toneladas foi de 20 minutos. Vale salientar que a habilidade do tratorista é fator fundamental para uma boa homogeneização da massa de compostagem.

4.2.4 - Análises Físicas

4.2.4.1 - Densidade

Ficou constatado que houve durante o processo uma oscilação nos valores da densidade dos materiais em compostagem, o que provavelmente ocorreu devido à oscilação também encontrada no teor de umidade destes materiais (Tabelas 4.2.4 e 4.2.6).

4.2.4.2 - Temperatura

Todas as leiras apresentaram na fase ativa do processo, temperaturas mesofílicas e termofílicas (Figuras 4.2.1 a 4.2.7), caracterizando o desenvolvimento de uma atividade microbiológica satisfatória (item 2.5.6.2). Sendo que, as leiras inoculadas com esterco, permaneceram na fase ativa por um maior período de tempo, indicando assim, o desenvolvimento de uma atividade microbiológica mais intensa e mais prolongada. Este fato deve ter sido proporcionado pela maior diversidade de microorganismos desenvolvida no meio pela a adição do esterco, que não só atuou como inóculo, mas também como fonte adicional de nitrogênio (item 4.2.1).. Foi observado, que as temperaturas termofílicas só predominaram no período inicial da primeira fase, nas leiras sem esterco, EXP-6 e EXP-8 e até a metade desta fase, nas leiras com esterco, EXP-7 e EXP-9. Um fato de certa forma surpreendente foi, que as leiras constituídas com resíduos de usinas de açúcar com destilarias anexa (bagaço, torta e vinhoto) EXP-10, EXP-10B e EXP-11, mantiveram temperaturas termofílicas até próximo ao final desta primeira fase, apesar do ciclo de reviramento ser de apenas 3 dias, indicando que a mistura destes resíduos, bagaço, torta e vinhoto, com e sem esterco proporciona o desenvolvimento de elevada atividade microbiológica.

Foi também notado que a medida que ocorria a degradação do material carbonáceo (Tabela 4.2.6), as leiras passaram a desenvolver temperaturas menos elevadas, até que ao final da fase ativa, com a exaustão da fonte de carbono mais disponível, não foram mais atingidas temperaturas termofílicas, sendo então,

iniciada a fase de maturação, para que ocorresse a degradação de moléculas mais complexas, como celulose e lignina (item 2.5.5).

As leiras constituídas com resíduos de usinas de açúcar (bagaço e torta), EXP-6 e EXP-7 e as leiras formadas por resíduos de destilarias autônomas (bagaço e vinhoto), EXP-8 e EXP-9, apresentaram após a operação de reviramento, rápida recuperação de temperatura até aproximadamente, os trinta primeiros dias do processo, nas leiras EXP-6, EXP-7 e EXP-8, e até aproximadamente, os cinquenta primeiros dias, nas leiras EXP-9. Sendo necessário após este período, o aumento do ciclo de reviramento de 3 para 6 dias, a fim de que fosse retida maior quantidade de calor (item 4.2.3). Cabe ressaltar, que com este mesmo objetivo, a configuração geométrica das leiras EXP-6 e EXP-8 (sem esterco) foi alterada com o aumento da sua altura em cerca de 30 cm, o suficiente para obter melhor retenção de temperatura e manter boas condições de aerobiose. Procedimento inverso, foi requerido pelos experimentos EXP-7 (que continham esterco). O término da fase ativa, ocorreu em média nos dias 70, 130, 55 e 95 respectivamente nos experimentos EXP-6, EXP-7, EXP-8 e EXP-9, comprovando que os experimentos com esterco proporcionaram o desenvolvimento de uma fase ativa mais intensa.

As leiras constituídas pela mistura dos resíduos de usinas de açúcar com destilaria anexa (bagaço, torta e vinhoto), EXP-10, EXP-10B e EXP-11, mantiveram elevada atividade microbiológica, apresentando após a operação de reviramento, rápida recuperação de temperatura até próximo ao final do processo, sendo inclusive necessário o reviramento das leiras a

cada 3 dias e a diminuição da altura das mesmas em aproximadamente 30 cm, para evitar temperaturas muito elevadas. Foi notado que o experimento EXP-10B desenvolveu temperaturas superiores e permaneceu por maior período de tempo na fase ativa do que os experimentos EXP-10, provavelmente em virtude da leira EXP-10B ter sido construída, propositalmente com dimensões bem superiores as demais o que proporcionou maior dificuldade de aeração natural e conseqüentemente aumentou o período de compostagem. O maior volume de material permitiu maior retenção de calor, o que pode ser observado nas figuras 4.2.5 e 4.2.6. O término da fase ativa ocorreu em média nos dias, 75, 130 e 140 nas leiras EXP-10, EXP-10B e EXP-11, mostrando que os experimentos EXP-11, com esterco, permaneceram por um maior período de tempo na fase ativa que os experimentos construídos na mesma escala, sem o emprego do esterco, EXP-10, confirmando assim os resultados obtidos anteriormente. Durante o período de maturação, todas as pilhas apresentaram, logo após a montagem, temperaturas mesofílicas (23-40°C) que passaram ainda nos primeiros dias (faixa de 3-12 dias) a apresentar temperaturas termofílicas, vale ressaltar, que a leira EXP-10B devido as suas grandes dimensões, foi dividida em 3 pilhas, para evitar temperaturas muito elevadas durante esta fase (Gráficos 4.2.8 a 4.2.15).

Ao término da fase de maturação os experimentos EXP-6, EXP-9, EXP-10 e EXP-10B permaneceram após o limite de 60 dias, estabelecido para esta fase (item 3.9), com valores de 43, 46, 49 e 49°C, respectivamente. Enquanto os experimentos EXP-7, EXP-11 e

EXP-8 tiveram no término da maturação (que ocorreu bem antes de 60 dias) (Tabela 4.2.2) temperaturas inferiores a 40°C.

Foi notado que os experimentos EXP-7 e EXP-11 apresentaram alto grau de estabilização e humificação atribuído pela baixa relação C/N, em torno de 10, obviamente isto levou a um decaimento uniforme e progressivo da temperatura. Vale salientar que o experimento EXP-10B apesar de atingir relação C/N igual a 10 continuou a apresentar temperatura superior a 40°C, o que foi provavelmente devido as suas maiores dimensões, o que permitiu a retenção de uma quantidade mais elevada de calor. O decaimento da temperatura dos experimentos EXP-8 ocorreu porque estes não apresentaram mais condições de compostabilidade satisfatória. Este fato pode ser explicado considerando-se que durante esta fase, não foi verificada redução da concentração de carbono compostável (Tabela 4.2.6), tendo inclusive sido observado uma diminuição no teor de nitrogênio (Tabela 4.2.7 e item 4.2.6.2), com consequente aumento na relação C/N do material (Tabela 4.2.8), comprovando que durante a maturação não houve atividade de degradação, isto indica que a temperatura desenvolvida na pilha era devido a uma retenção natural de calor, que depois foi perdido para o ambiente.

4.2.5 - Análises Físico-Químicas

4.2.5.1 - Teor de Umidade

Durante a construção das leiras, foi efetuada a correção do teor de umidade da massa de compostagem para valores em torno

de 75%, considerado ótimo conforme foi deduzido dos experimentos efetuados durante a etapa preliminar da pesquisa (item 4.1.5.1).

As leiras que não receberam inóculo (esterco bovino) mantiveram durante todo o processo, um teor de umidade praticamente constante (Tabela 4.2.4). Enquanto, as leiras que continham esterco apresentaram pequena redução do teor de umidade, provavelmente em virtude do desenvolvimento de temperaturas mais elevadas por um maior período de tempo (atividade microbiológica mais intensa) o que promoveu maior perda de vapor d'água.

Na fase ativa, a redução média do teor de umidade nas leiras com inóculo, EXP-7, EXP-9, EXP-11, foi em média de 9%.

Na fase de maturação, a redução média nas leiras EXP-7 foi de 7,58%, EXP-9 foi de 11,20% enquanto que, as leiras EXP-11 mantiveram um teor de umidade praticamente constante (Tabela 4.2.4).

4.2.5.2 - pH

A Tabela 4.2.5. mostra a variação do pH dos experimentos montados durante o processo.

Todas as leiras apresentaram no dia da montagem, pH ácido (4,65-6,56), sendo que, os valores mais baixos foram encontrados nas leiras com vinhoto em virtude deste ter pH mais ácido (pH 4,45). No entanto, o pH destas leiras se elevou rapidamente logo nos primeiros dias do processo, reagindo do mesmo modo, quando da adição de vinhoto ao solo (Nunes et alii,

1981), o que segundo Rezende (1979), ocorre devido ao conteúdo em bases do vinhoto e à oxidação de sua fração orgânica. No fim da fase ativa, todos os experimentos tinham pH alcalino, em torno de 8,00.

Pereira Neto (1987) em experimentos de lixo e lodo de esgotos similares, montados com diferentes valores de pH encontrou resultados iguais a estes e concluiu que existe um fenômeno de auto-regulação de pH nas leiras de compostagem, onde os microorganismos regulam o mesmo para valores alcalinos (7,5-8,0), após os 15 primeiros dias de compostagem, independente do valor do pH inicial.

Ao término da fase de maturação, o pH permaneceu na faixa alcalina (7,26-8,60), o que satisfaz ao valor exigido para um composto pela legislação Brasileira de Fertilizantes, que é no mínimo de 6,0.

4.2.6 - Análises Químicas

4.2.6.1 - Carbono Orgânico Compostável

Analisando-se a Tabela 4.2.6 que destaca a variação da concentração de carbono compostável durante o processo, é possível observar que as leiras que continham torta de filtro apresentaram uma menor concentração de carbono orgânico, como já era esperado, devido a torta de filtro conter menor concentração de carbono degradável que as outras matérias primas (Tabela 4.2.1).

Com relação a degradação do material carbonáceo, os experimentos com esterco, apresentaram maior redução de carbono orgânico compostável, provavelmente, como já dito anteriormente, em virtude da maior quantidade e diversidade de microorganismos no meio, como também devido ao incremento na concentração de nitrogênio, levando a formação de uma massa de compostagem com relação C/N mais favorável à atividade microbiológica (item 2.5.6.4).

Na fase ativa, os experimentos montados com resíduos de usinas de açúcar e os experimentos com resíduos de usinas de açúcar com destilaria anexa, que continham esterco, apresentaram maior redução do carbono orgânico degradável. No entanto, o mesmo resultado não foi encontrado, nos experimentos com resíduos de destilarias autônomas, sendo notado nestes experimentos (EXP-9) uma intensa diminuição da relação C/N, devido ao aumento da concentração de nitrogênio (Tabelas 4.2.7 e 4.2.8).

Na fase de maturação, foi observada redução de material carbonáceo em quase todos os experimentos, com exceção dos experimentos EXP-8, que não apresentaram condições de compostabilidade satisfatória, devido a sua elevada relação C/N (baixo teor de nitrogênio) que não proporcionava um adequado desenvolvimento de microorganismos. Segundo Alexander (1977) os compostos celulolíticos são os constituintes mais abundantes dos vegetais, o que justifica a intensa atividade microbiológica observada na maturação, a qual ocorreu com maior ou menor intensidade em função da menor ou maior atividade de degradação desenvolvida na fase ativa do processo.

4.2.6.2 - Nitrogênio Total

O uso do esterco como elemento integrante na massa de compostagem promoveu um aumento no teor de nitrogênio (Tabela 4.2.7), o que já era esperado, em virtude do esterco conter mais nitrogênio que as matérias primas, objeto de estudo (Tabela 4.2.1).

Conforme ressaltado no item 4.1.6.2. durante o processo de compostagem há um aumento no teor de nitrogênio, que é atribuído à degradação de parte do material orgânico e a fixação por bactérias fixadoras de nitrogênio. Foi também observado que durante o processo pode haver oscilação do teor de nitrogênio, ocasionada pela volatilização de compostos amoniacais em meios com temperatura alta e pH alcalino, confirmando assim as proposições de Poincelot (1975).

Na fase ativa, foi registrado um aumento mais acentuado de nitrogênio nas leiras que receberam esterco, o que pode ser justificado pela maior redução de material carbonáceo nestas leiras, e pela maior quantidade de microorganismos presentes no meio, que proporcionaram a fixação de um maior teor de nitrogênio. Porém, as leiras EXP-8 (mistura de bagaço e vinhoto, sem acréscimo de esterco) apresentaram uma redução do teor de nitrogênio. Isto deve ser, possivelmente, devido a baixa concentração de nitrogênio disponível no meio e a reduzida população de microorganismos fixadores de nitrogênio, nutriente importante para o crescimento dos microorganismos, que é utilizado na elaboração do protoplasma.

Na fase de maturação foi detectada uma perda de nitrogênio nos experimentos EXP-7 e EXP-11, que ainda desenvolviam atividade microbiológica e apresentavam altas temperaturas (40-55°C) e pH alcalino (8,00-8,60). Além disso apresentavam também menor relação C/N que os outros experimentos. A perda de nitrogênio possivelmente ocorreu devido a baixa relação C/N destes materiais (em torno de 10) comprovando o que foi proposto por vários autores (Golueke, 1977; Bertoldi et alii, 1984; Obeng e Wright, 1987) de que em meios com baixa relação C/N, parte da concentração de nitrogênio será perdida por volatilização.

Foi também constatada uma perda de nitrogênio nas leiras EXP-8, provavelmente ainda indicando uma imobilização de nitrogênio pelos microorganismos.

O teor mínimo de 1,0% de nitrogênio, exigido para um composto pela Legislação Brasileira de Fertilizantes, foi atingido ainda na primeira fase do processo pelos experimentos EXP-7 e EXP-11. Ao final do processo os experimentos EXP-9, EXP-10 e EXP-10B também alcançaram valores superiores a 1,0%.

Somente os experimentos com resíduos de usinas de açúcar, EXP-6 e com os resíduos de destilarias autônomas, EXP-8, que não continham esterco, não atingiram a concentração desejada de 1,0% de nitrogênio.

4.2.6.3 - Relação C/N

Quase todos os experimentos, exceto as leiras EXP-8

(bagaço e vinhoto), tiveram elevada redução da relação C/N (Tabela 4.2.8).

Na fase ativa, foi constatado uma redução gradual da relação C/N para a maioria das leiras, com exceção das leiras EXP-8, que apresentaram aumento no valor da relação C/N, devido a perda de nitrogênio mencionada anteriormente (Tabela 4.2.7).

Na fase de maturação, os experimentos EXP-7 e EXP-11 tiveram menor redução da relação C/N, em virtude da formação de compostos mais estabilizados na primeira fase do processo. Foi constatado um aumento na relação C/N das leiras EXP-8, provocado pela perda de nitrogênio (Tabela 4.2.7).

A relação C/N máxima de 18/1, exigida para um composto pela Legislação Brasileira de Fertilizantes, somente, não foi atingida ao término do processo, nas leiras formadas por resíduos de usinas de açúcar e leiras de resíduos de destilarias autônomas, que não receberam esterco, respectivamente EXP-6 e EXP-8, comprovando que a adição de esterco (inóculo e fonte adicional de nitrogênio) à massa de compostagem, contribuiu decisivamente para melhoria da atividade microbiológica e, conseqüentemente, para a produção de compostos mais estabilizados..

4.2.6.4 - Potássio, Cálcio, Magnésio e Fósforo (macronutrientes) e Ferro, Zinco, Cobre e Manganês (micronutrientes) e Sódio.

Na etapa preliminar da pesquisa foi mostrada a

importância da determinação da concentração destes nutrientes para a avaliação do teor de nutrientes que pode ser adicionado ao solo pela aplicação dos compostos produzidos (item 4.1.6.4).

Em todas as leiras monitoradas observou-se, para as fases ativa e de maturação, um aumento no percentual dos nutrientes, o que se atribue a perda de compostos voláteis durante o processo (Tabelas 4.2.9 a 4.2.17).

4.2.7 - Análise Bacteriológica

4.2.7.1 - Estreptococos Fecais

Durante todo o processo, os estreptococos fecais não foram eliminados (Tabela 4.2.18). Este resultado vem de encontro aos resultados de outros trabalhos de pesquisa que sugerem, que o processo Windrow de compostagem apresenta, devido aos sucessivos reviramentos, maior dificuldade em eliminar estes microorganismos indicadores. Pereira Neto (1986), sugere que pelo fato da camada superficial da Leira (10-15 cm) permanecer sob baixas temperaturas, esta poderá funcionar como reservatório de microorganismos que reinvadem e recontaminam a leira, após cada reviramento, sendo portanto, detectados nas análises de rotina.

4.2.8 - Outras Observações

4.2.8.1 - Observações de Cor, Odor e Atração de Vetores

No início do processo a massa de compostagem tinha

tonalidade marrom. Durante os três primeiros reviramentos houve emissão de fraco odor azedo, semelhante ao odor da torta de filtro, das leiras com resíduos de usinas de açúcar e emissão de odor azedo das leiras constituídas com resíduos de destilarias autônomas e das leiras com resíduos de usinas de açúcar com destilaria anexa, que continham vinhoto. Inexplicavelmente não foi notada a atração de moscas durante todo o processo mesmo se tratando de resíduos de usinas de açúcar, sendo somente observada a presença de moscas nas leiras quando havia no pátio de compostagem lixo urbano fresco.

A medida que ocorria o processo o material tornou-se mais escuro apresentando odor de terra molhada, que persistiu até o final do processo, quando foi obtido um material com tonalidade marrom escuro (EXP-6, EXP-9, EXP-10) e preta (EXP-7, EXP-10B, EXP-11).

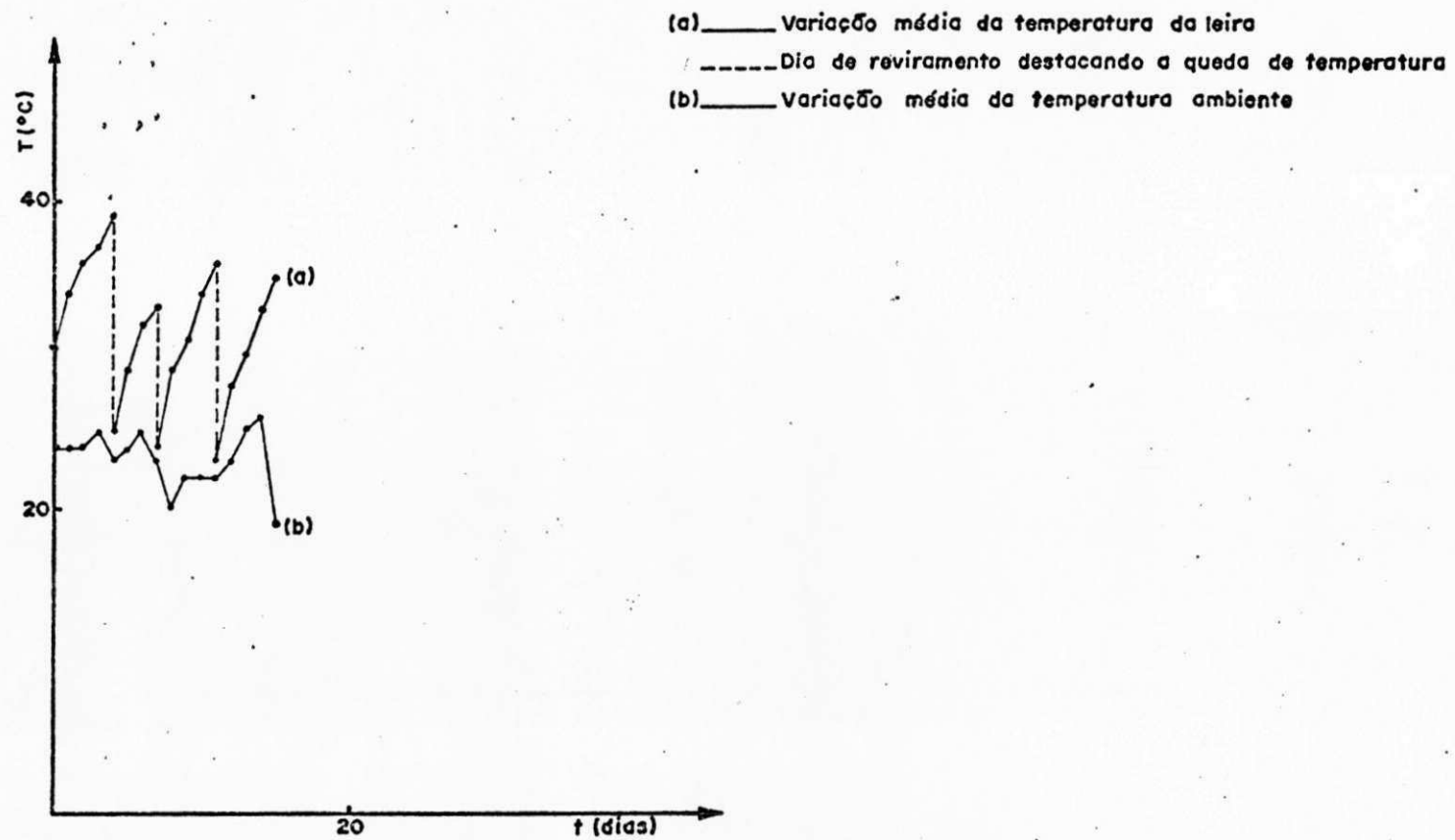


Fig. 4.1.1 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (EXP - 90%)

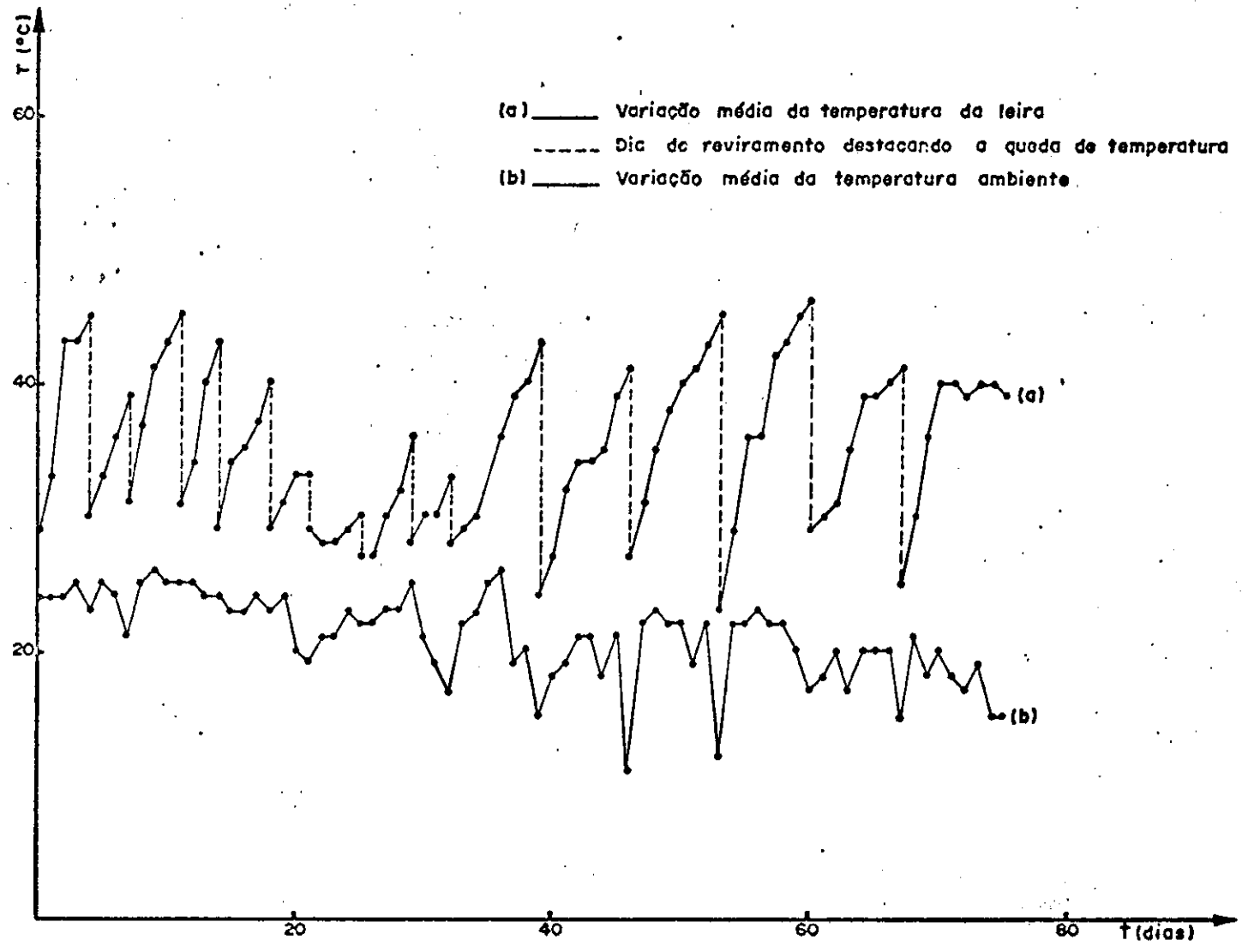


Fig. 4.1.2 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (EXP - 80%)

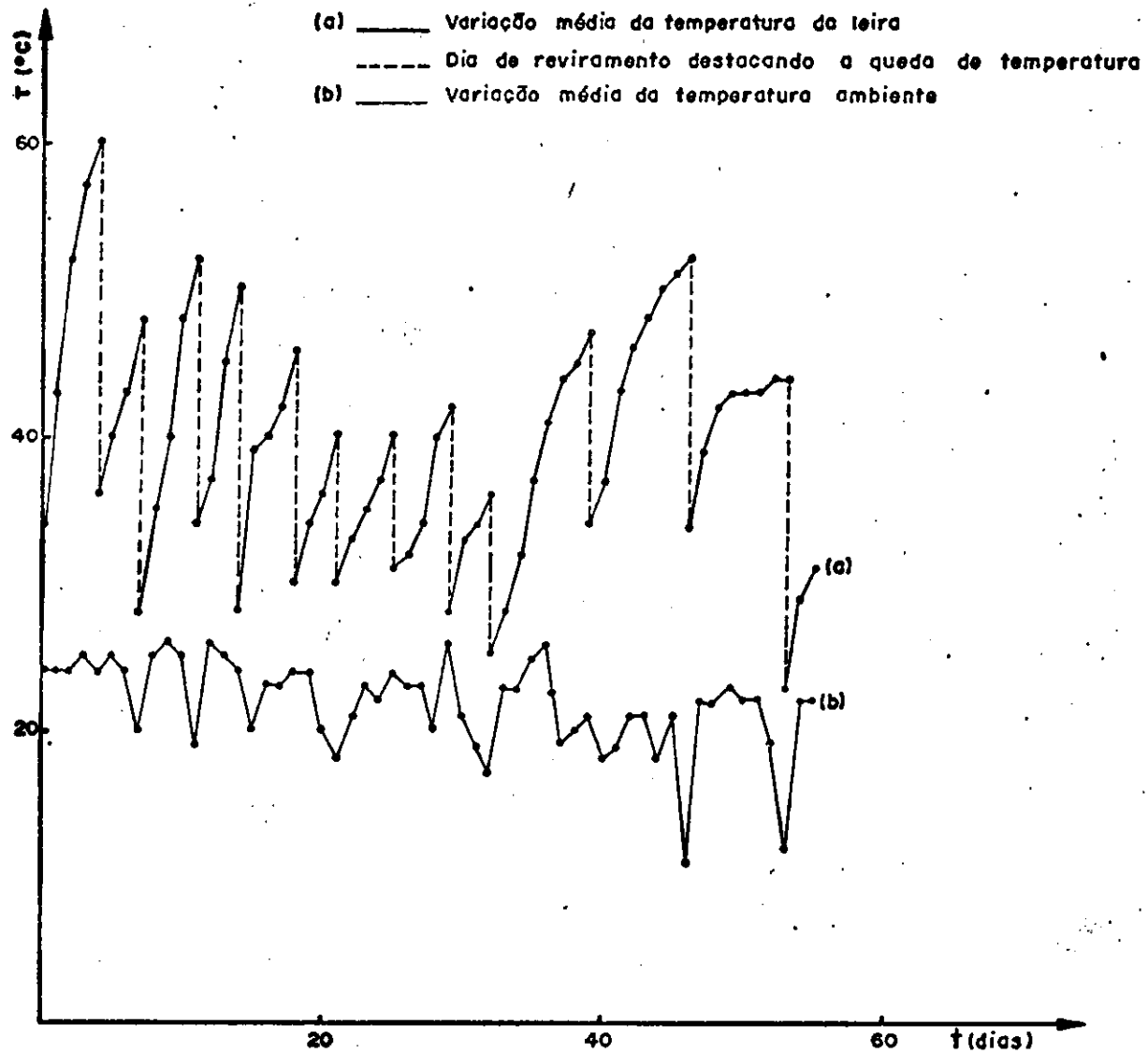


Fig. 4.1.3 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (EXP - 70%)

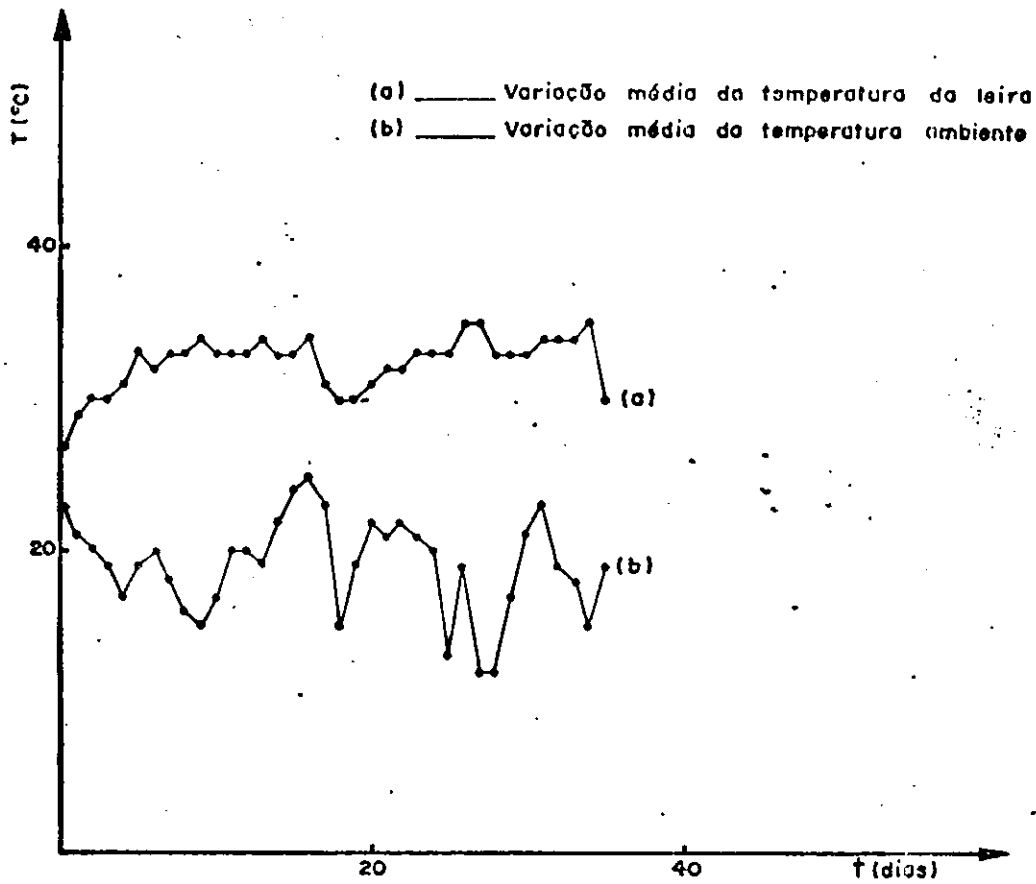


Fig. 4.1.4 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE DE MATURACÃO (EXP - 80 %)

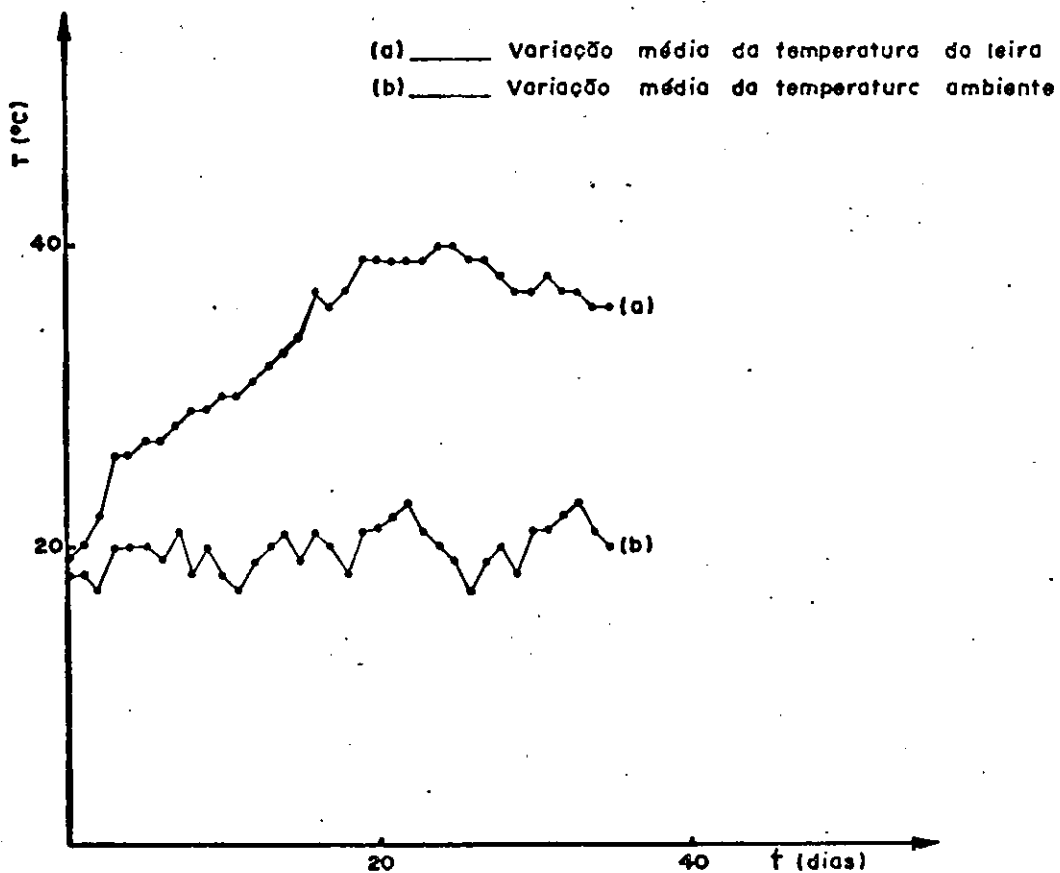


Fig. 4.1.5 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE DE MATURACÃO (EXP - 70 %)

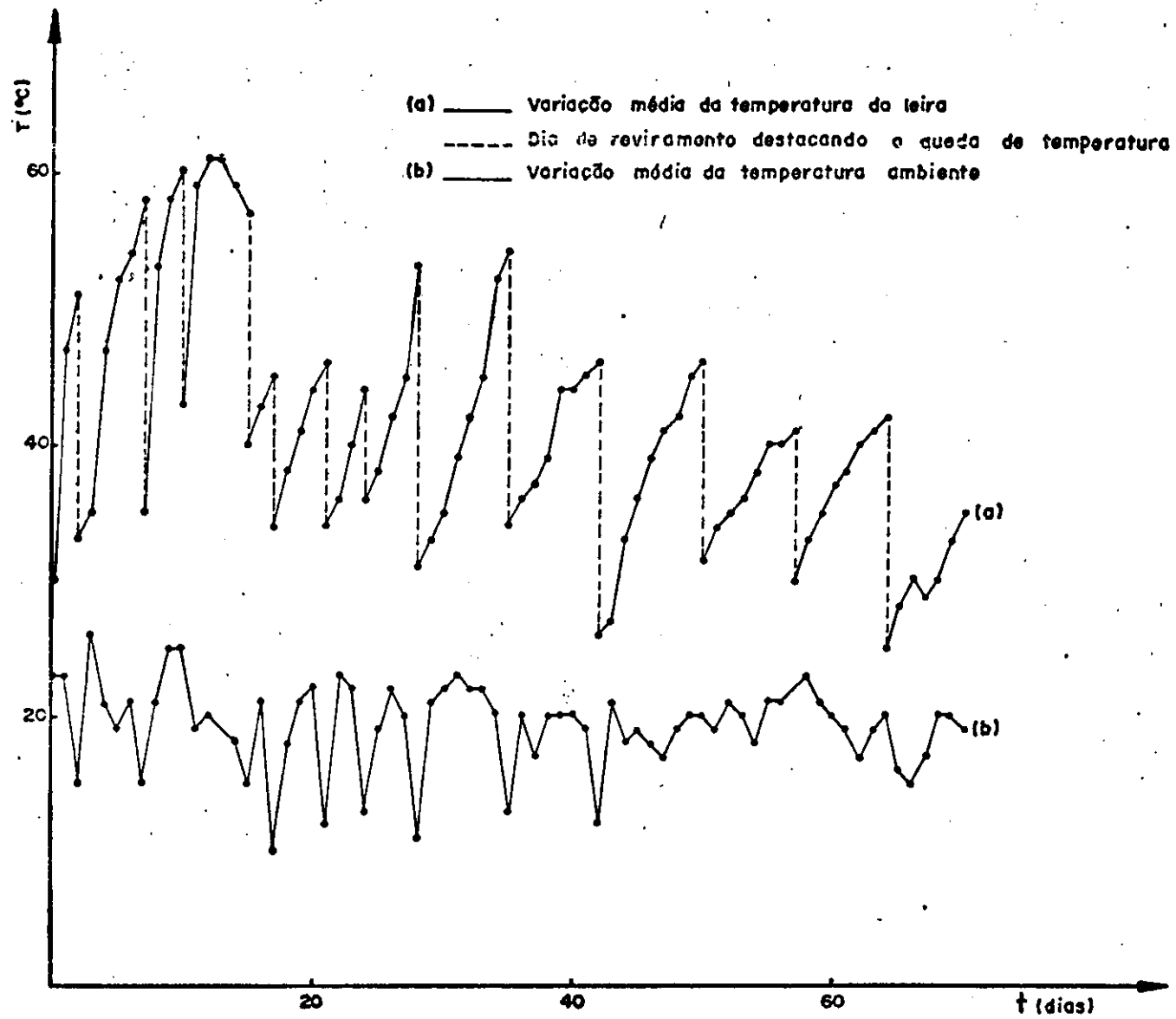


Fig. 4.2.1 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (EXP - 6)

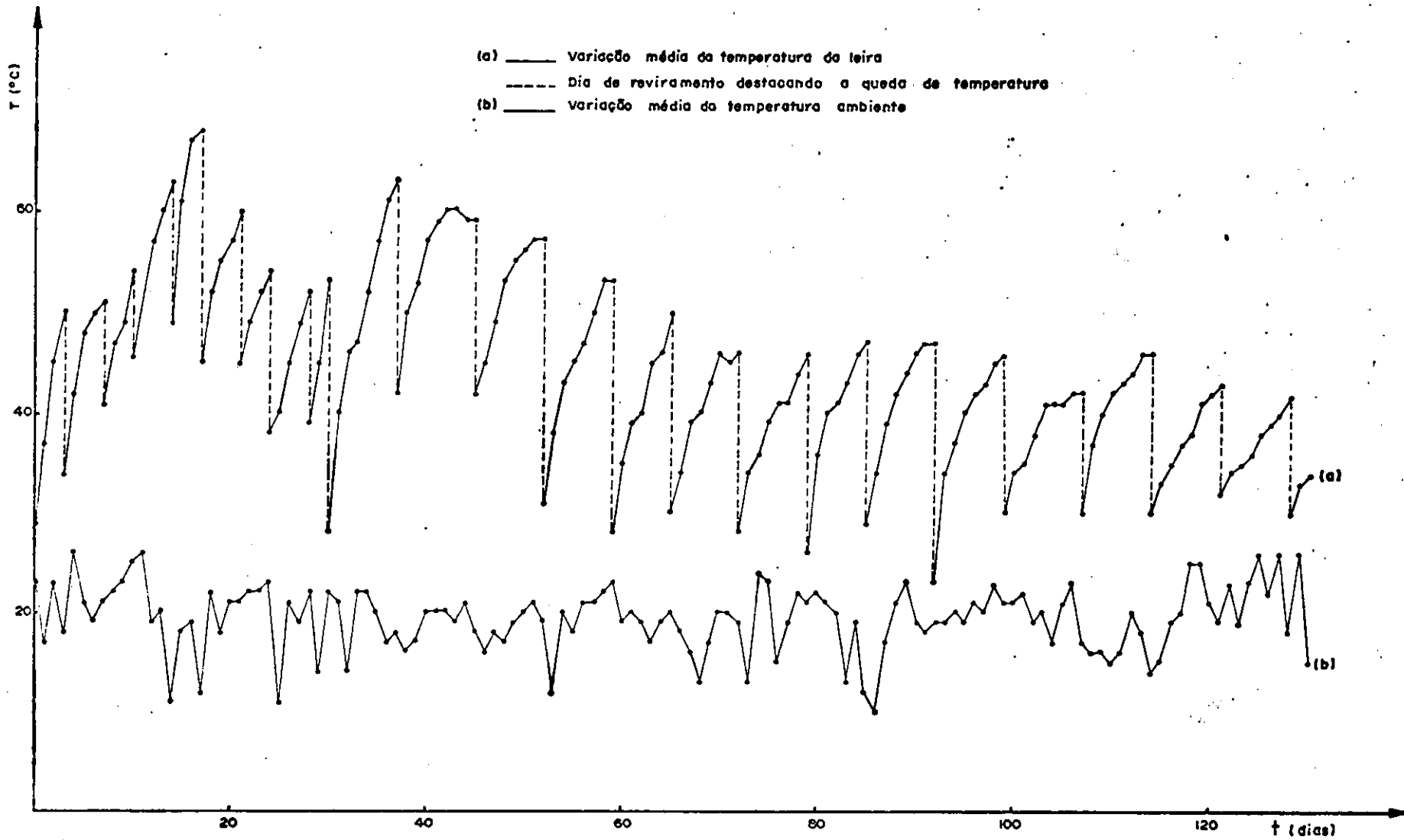


Fig. 4.2.2 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (EXP - 7)

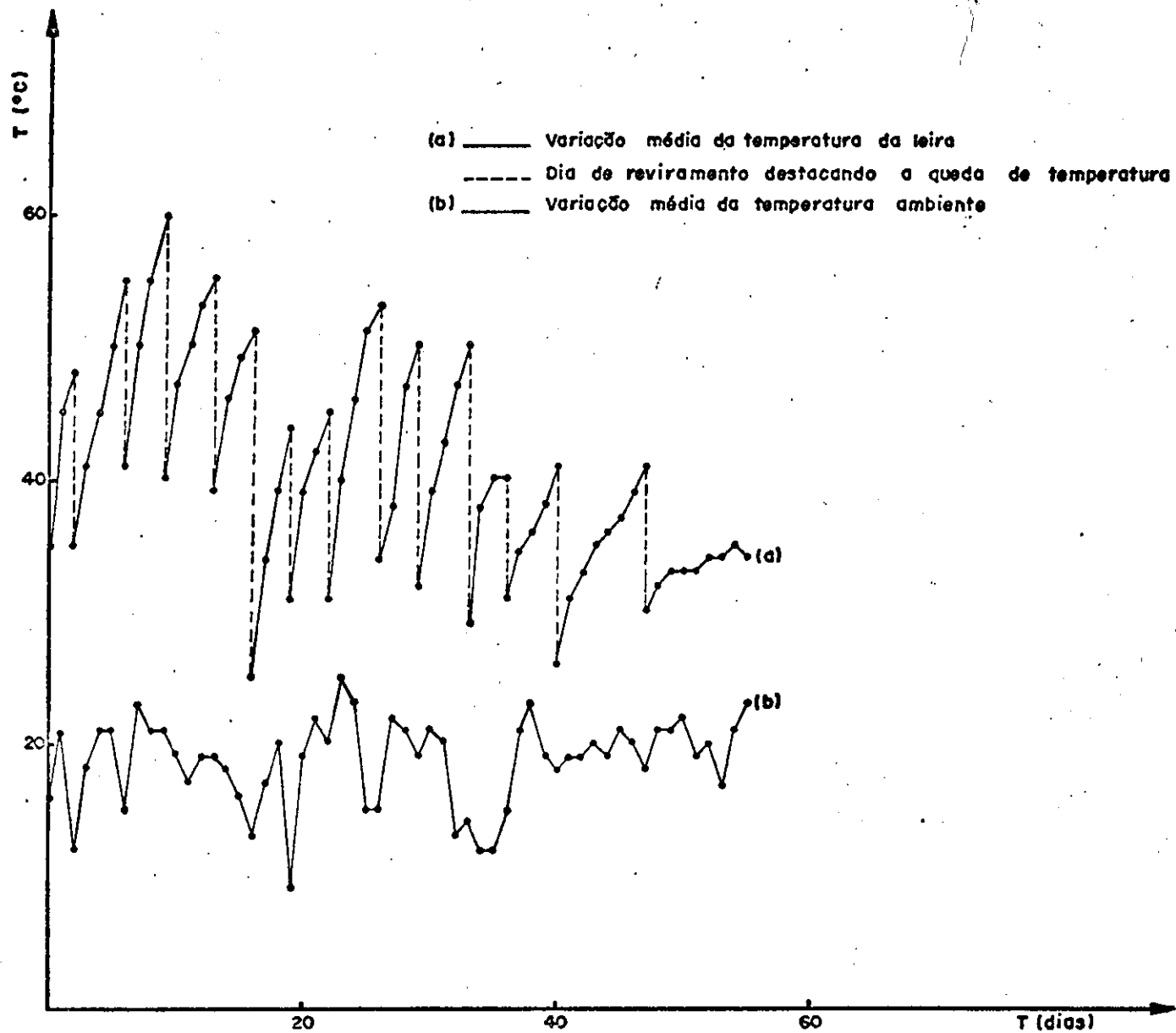


Fig. 4.2.3 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (EXP - 8)

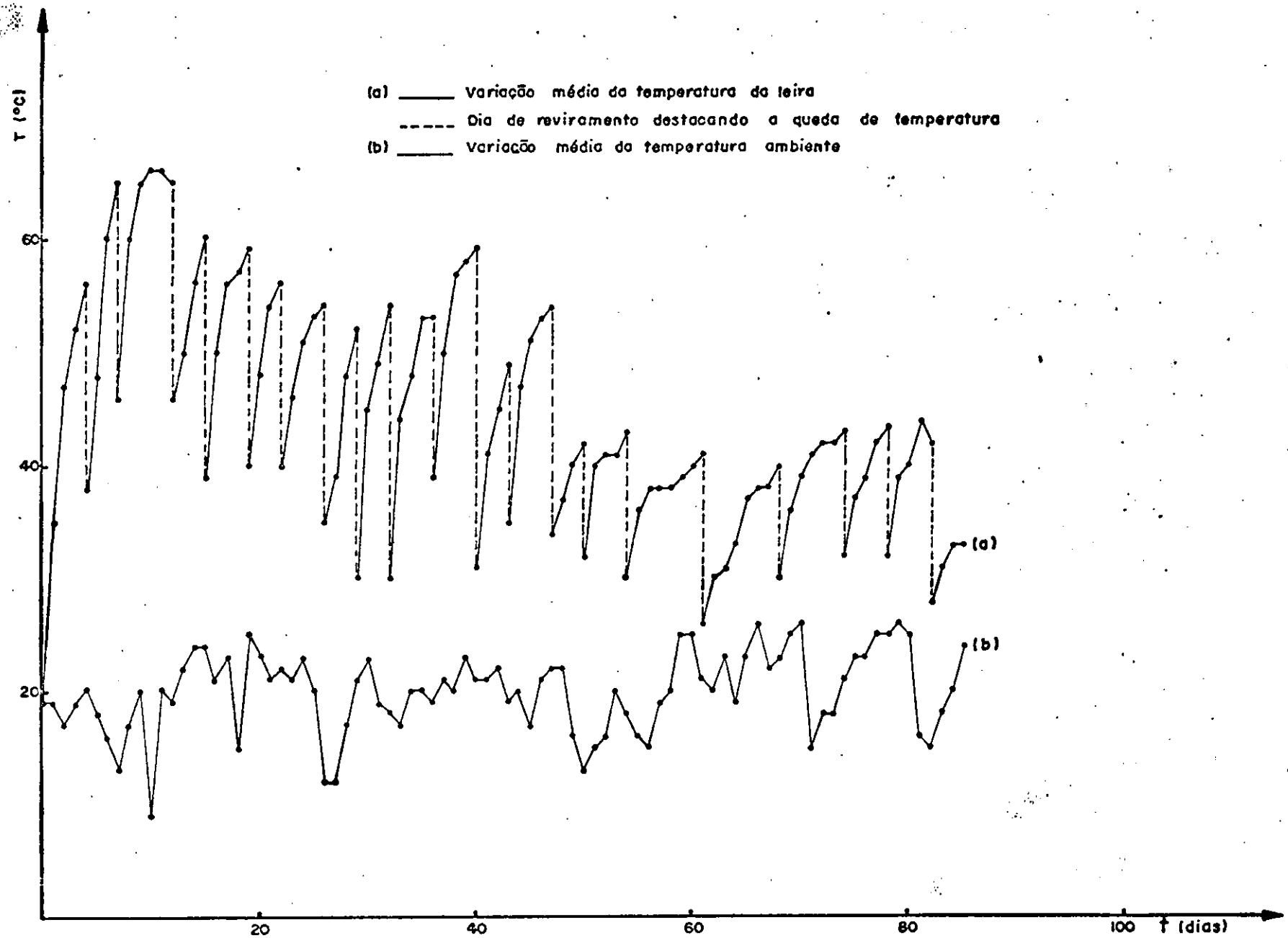


Fig. 4.2.4 - VARIAÇÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (EXP - 9)

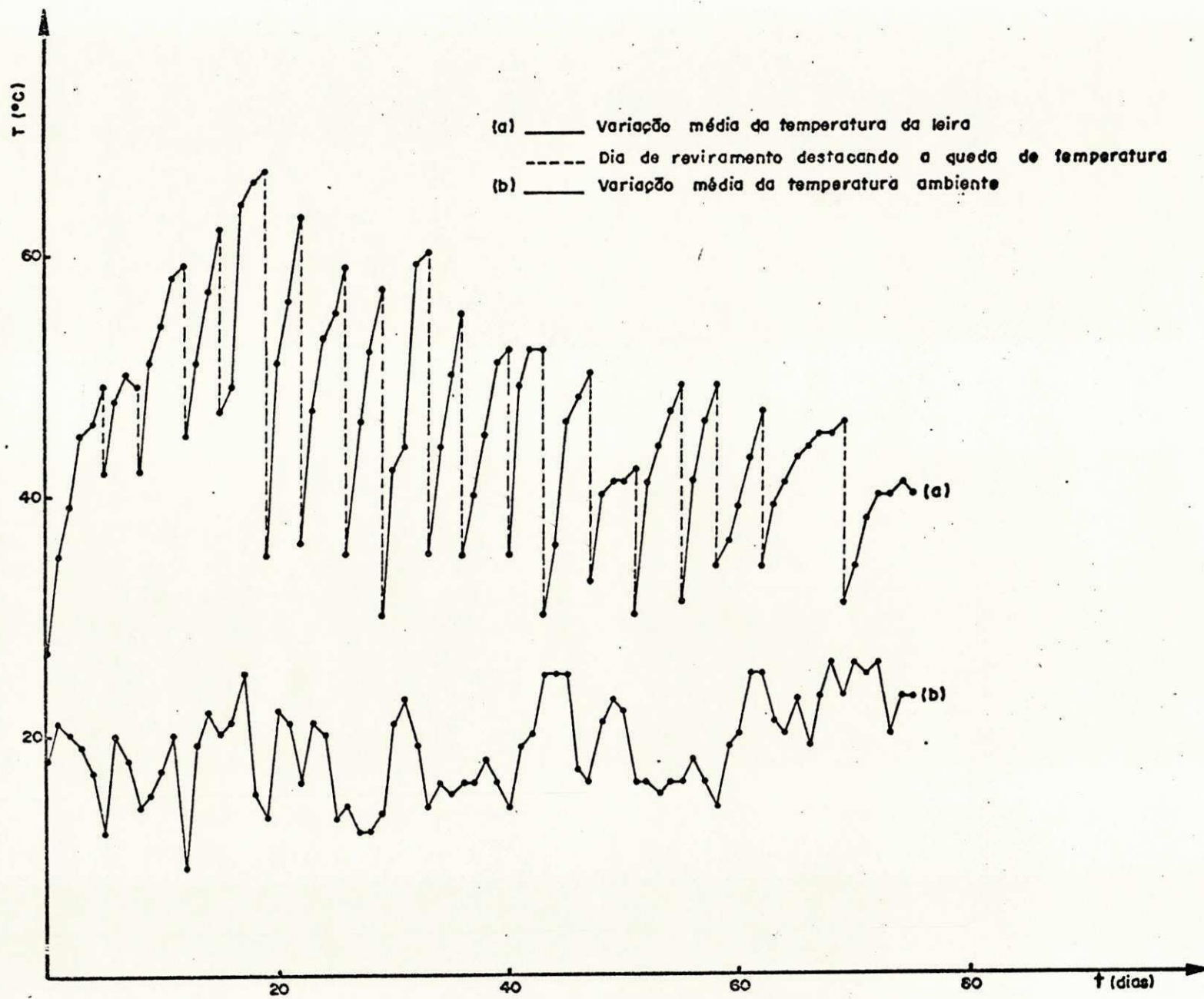


Fig. 4.2.5 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (EXP - 10)

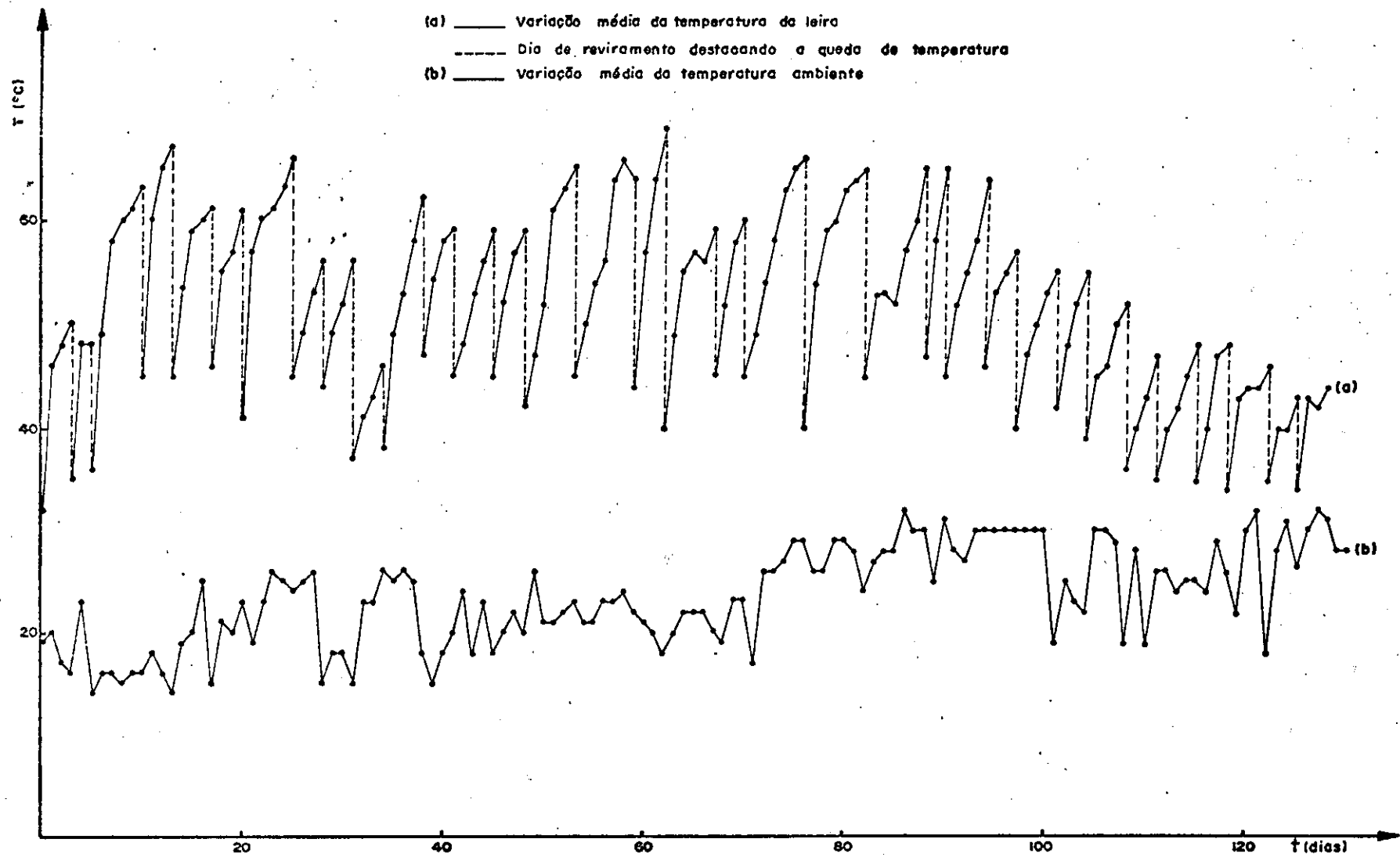


Fig. 4.2.6 - VARIÇÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (EXP - 10B)

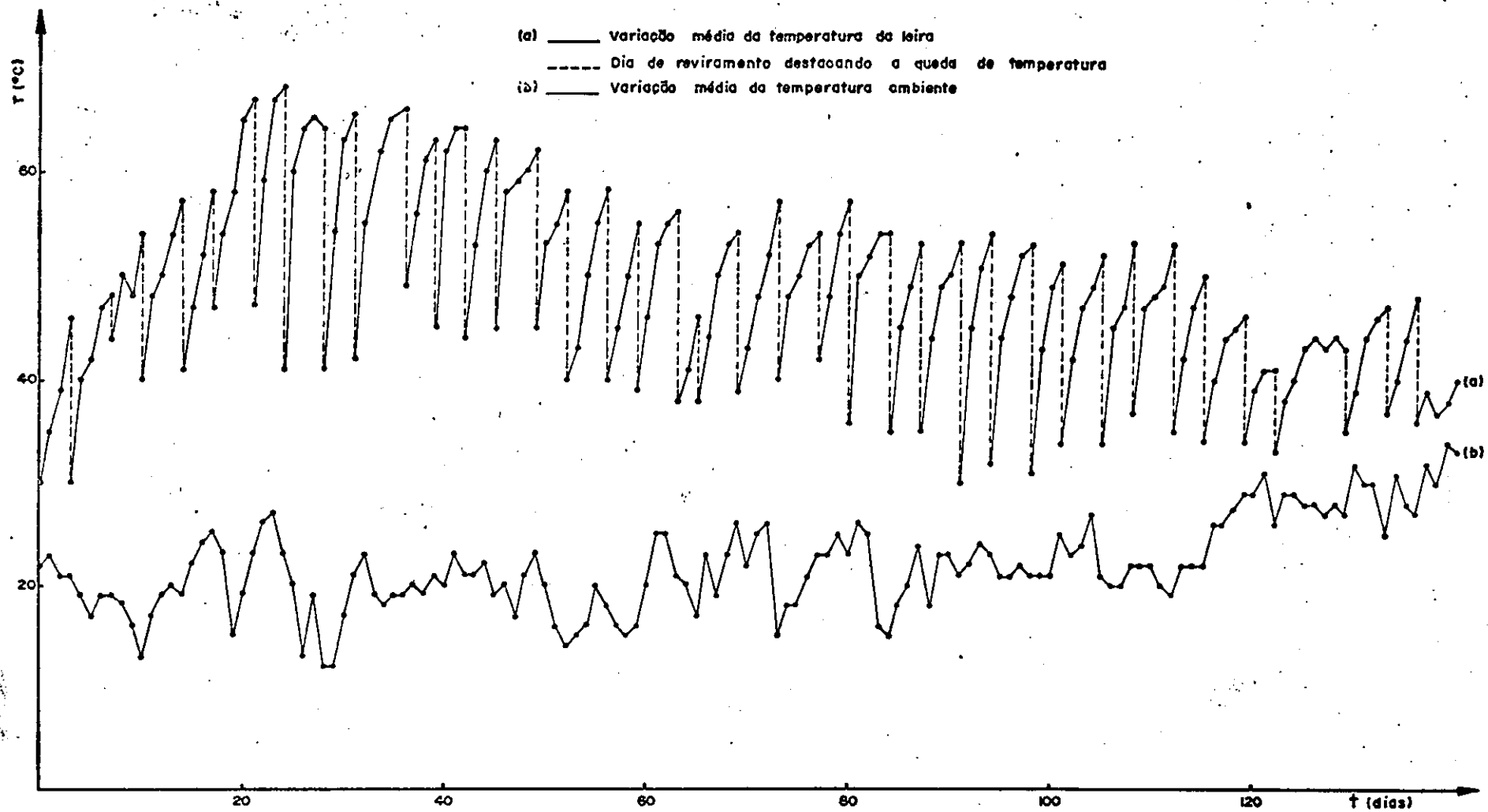


Fig. 4.2.7 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (EXP - II)

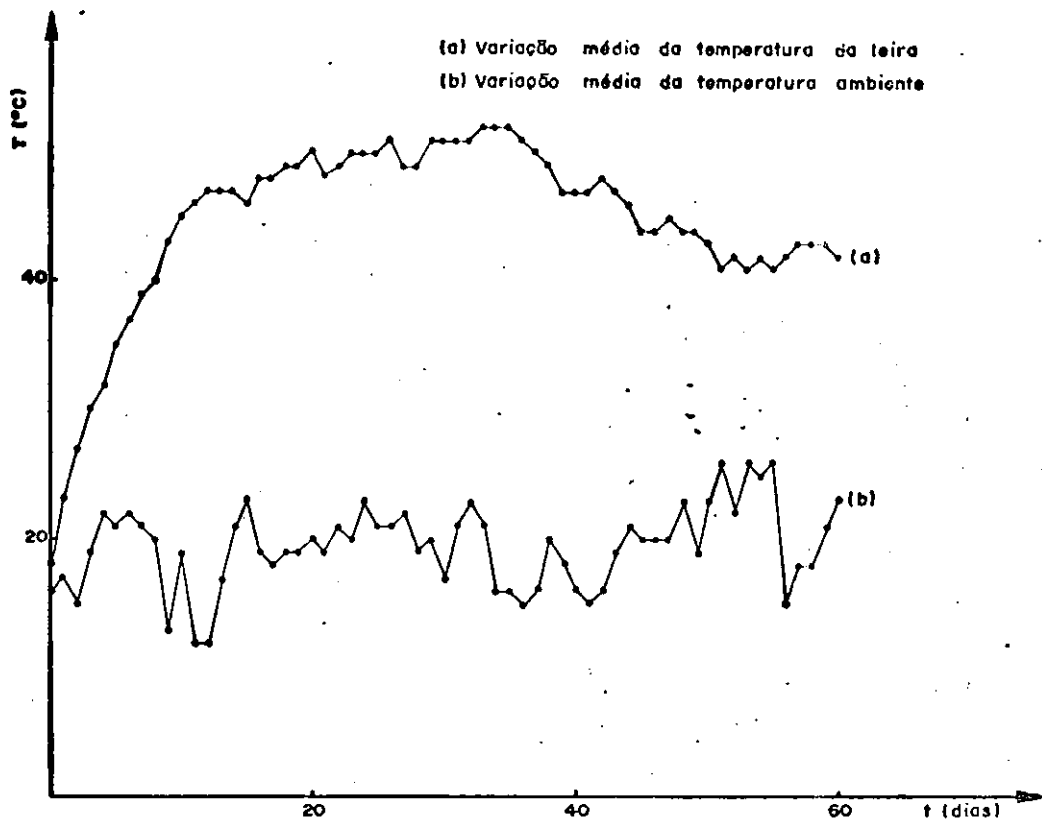


Fig. 4.2.8 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE DE MATURACÃO (EXP - 6)

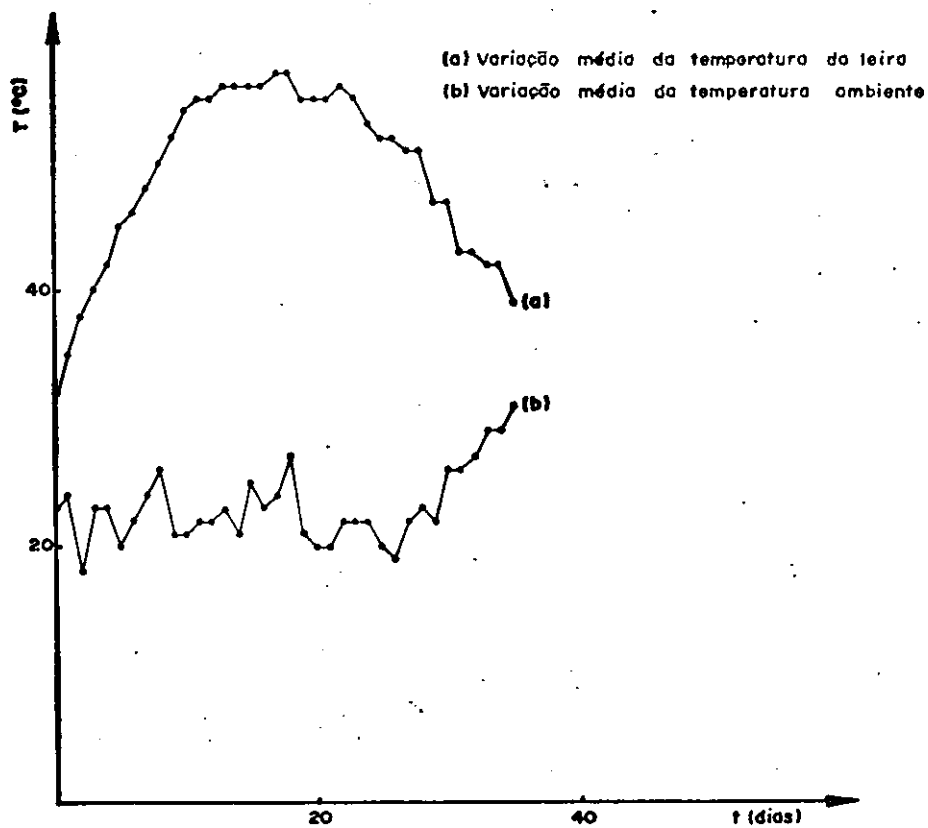


Fig. 4.2.9 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE DE MATURACÃO (EXP - 7)

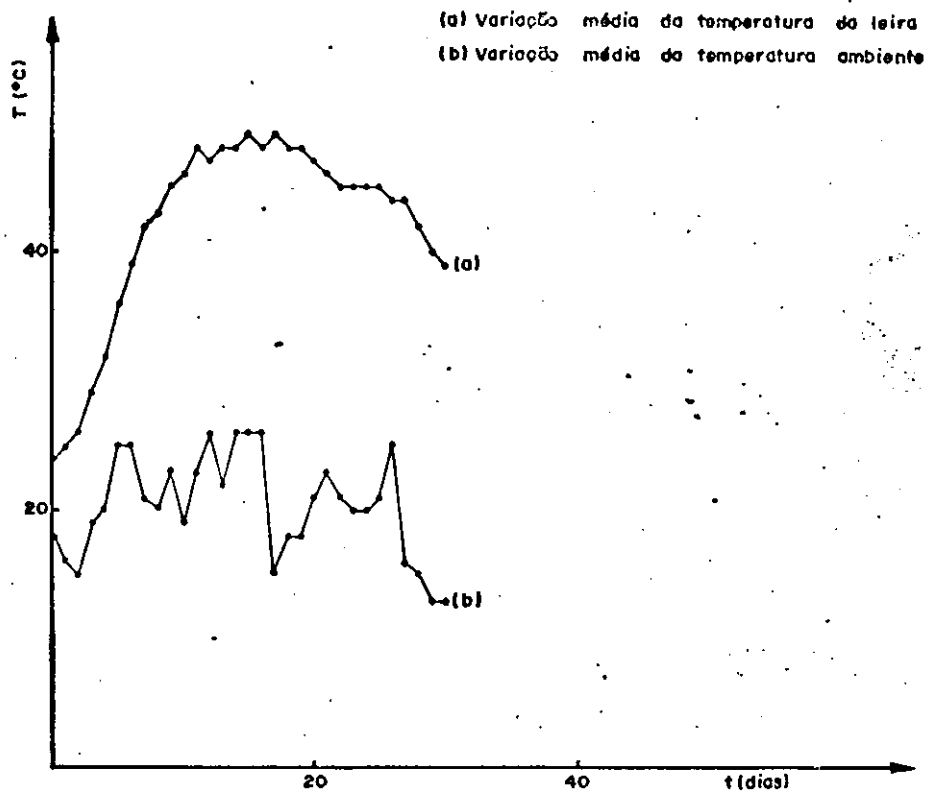


Fig. 4.2.10 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE DE MATURACÃO (EXP - 8)

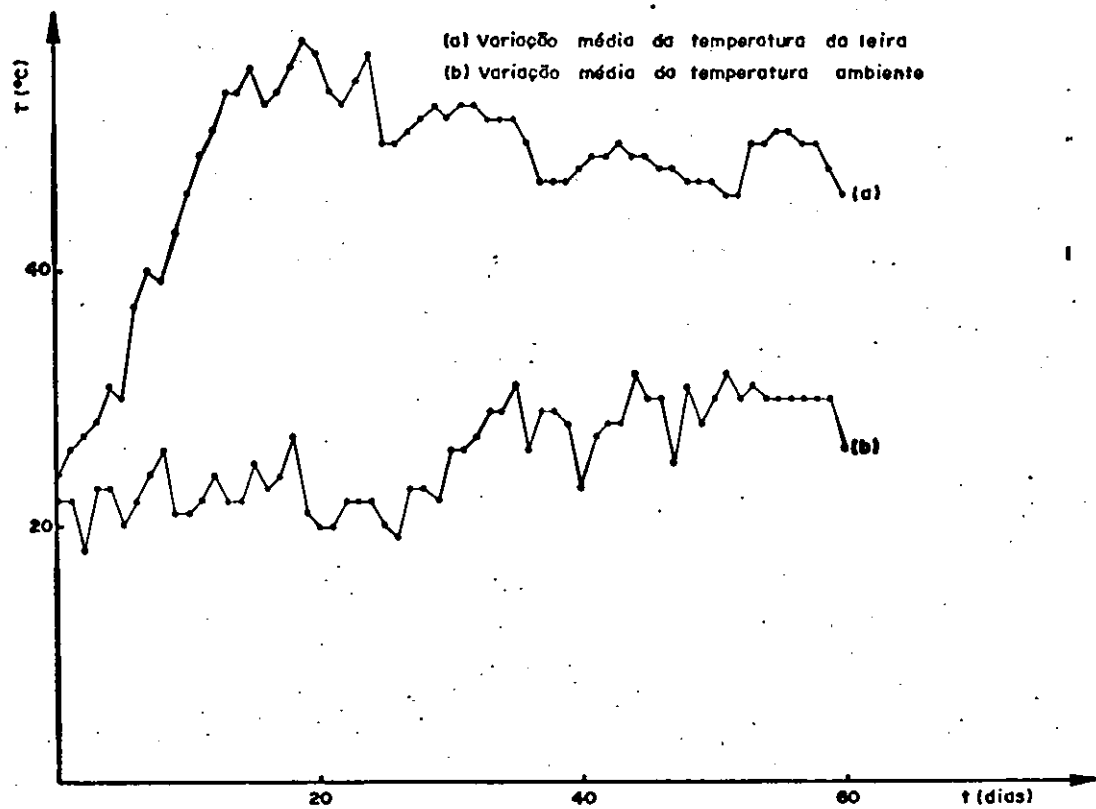


Fig. 4.2.11 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE DE MATURACÃO (EXP - 9)

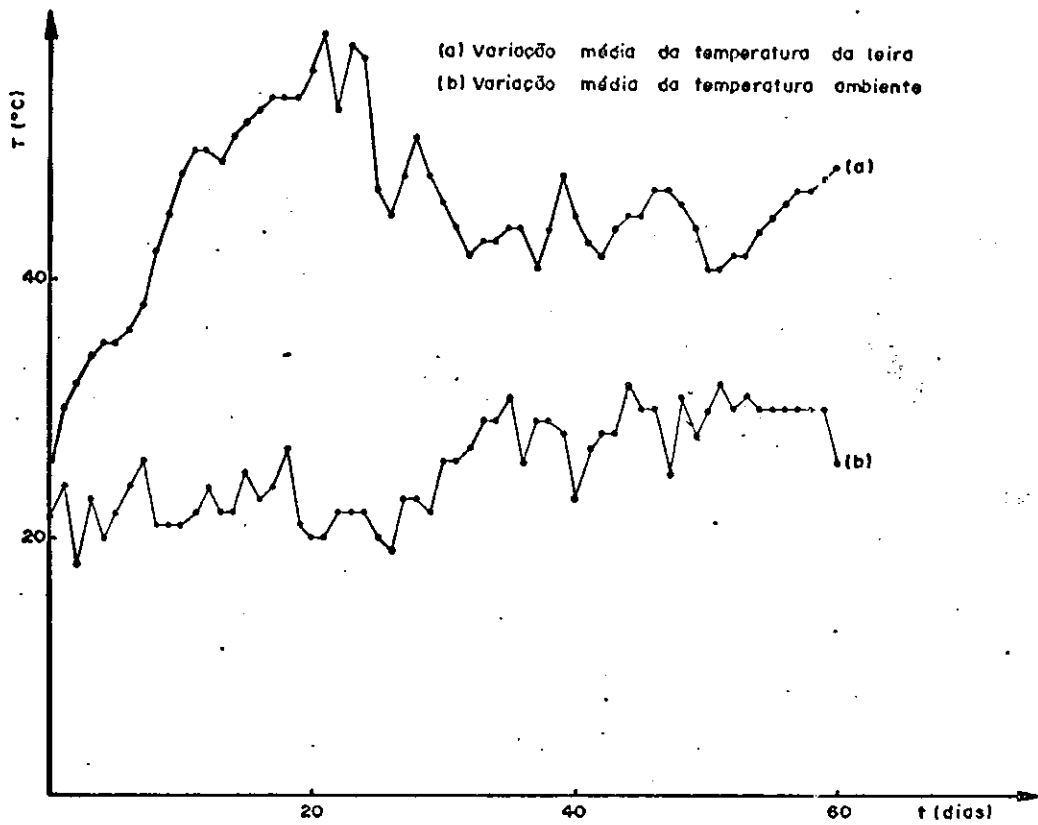


Fig. 4.2.12 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE DE MATURAÇÃO (EXP - 10)

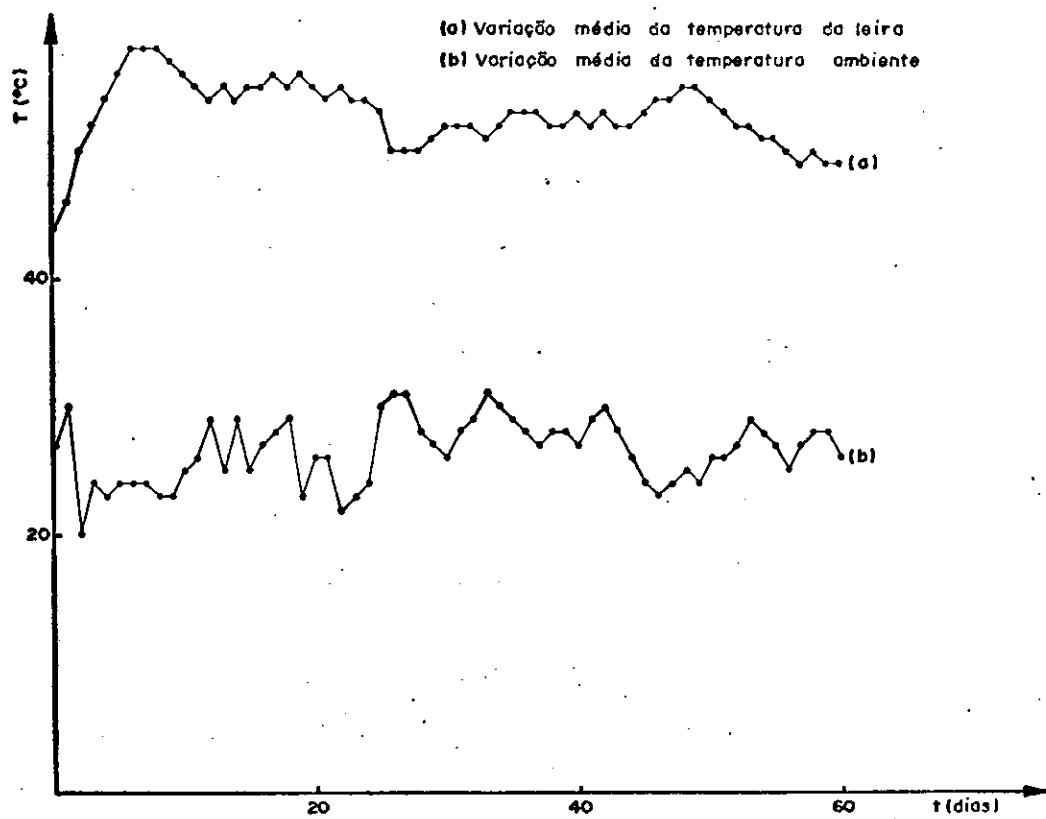


Fig. 4.2.13 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE DE MATURAÇÃO (EXP - 10B)

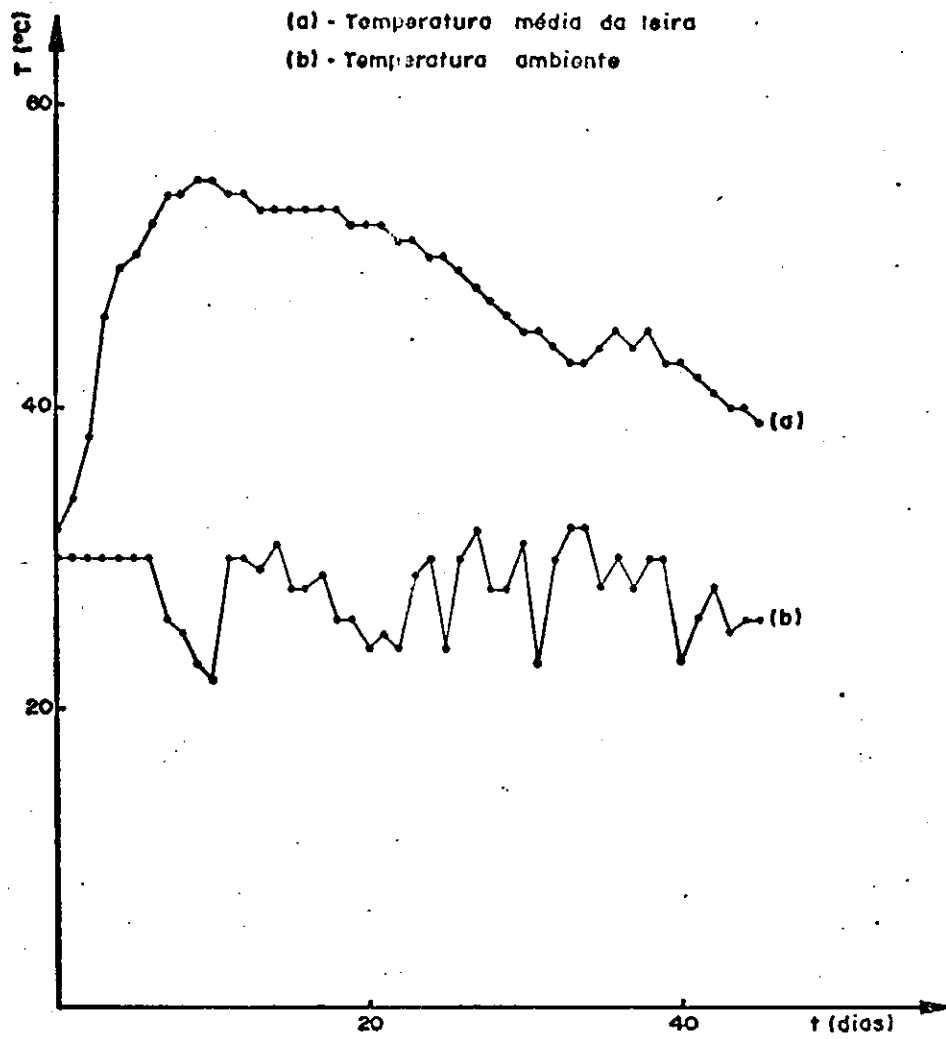


Fig. 4.2.14 - VARIACÃO MÉDIA DA TEMPERATURA DURANTE A FASE DE MATURAÇÃO (EXP - 11)

TABELA 4.1.1 - CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS UTILIZADAS

AMOSTRAS	%							
	UMIDADE	Na	K	Ca	Mg	P	C	N
Bagaço-de-cana	73,98	0,07	0,10	0,14	0,09	0,05	29,14	0,318
Esterco Bovino	75,96	1,11	1,57	0,55	0,35	0,32	29,81	0,994

C/N	ppm				pH	Kg/m ³ DENSIDADE	UFC/g ESTREPTOCOCOS FECALIS
	Fe	Zn	Cu	Mn			
92	4.955	59	22	106	6,85	233	0,5 x 10 ²
30	1.765	56	14	116	8,40	837	3,7 x 10 ⁵

4.1.2 - CARACTERÍSTICAS DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM ESTUDADAS

EXPERI- MENTOS	PESO (t)	DIMENSÕES (m)			VOLUME (m ³)	DENSIDADE kg/m ³	TEMPO DE DURAÇÃO (DIAS)	
		LAR- GURA	ALTURA	COMPRI- MENTO			FASE ATIVA	FASE DE MATURAÇÃO
EXP-90%	1,00	2,20	1,00	4,00	4,40	300	15	-
EXP-80%	1,00	2,20	1,00	3,80	4,20	340	75	35
EXP-70%	1,00	2,10	0,90	3,70	3,50	400	55	35

4.1.3 - VARIACÃO DA DENSIDADE DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DA LEIRA (DIA)	EXP-90%	EXP-80%	EXP-70%
FASE ATIVA	0	300	340	400
	15	290	-	-
	30	-	302	337
	55	-	-	317
	60	-	314	-
	75	-	279	-
FASE DE MATURAÇÃO	35	-	256	311

4.1.4 - VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE (%) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DA LEIRA (DIA)	EXP-90%	EXP-80%	EXP-70%
FASE ATIVA	0	80,21	76,37	79,38
	7	75,84	78,94	79,89
	15	78,06	78,50	77,24
	30	-	79,96	79,03
	45	-	79,70	80,24
	55	-	-	78,96
	60	-	77,93	-
	75	-	77,80	-
FASE DE MATURAÇÃO	15	-	79,50	76,79
	35	-	78,13	79,41

4.1.5 - VARIAÇÃO DO pH DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DA LEIRA (DIA)	EXP-90%	EXP-80%	EXP-70%
FASE ATIVA	0	6,70	7,49	8,45
	7	7,00	8,52	8,26
	15	7,45	7,50	7,94
	30	-	8,46	8,28
	45	-	7,49	7,52
	55	-	-	7,88
	60	-	7,34	-
	75	-	7,50	-
FASE DE MATURAÇÃO	15	-	7,50	7,40
	35	-	7,46	7,59

4.1.6 - VARIACÃO DO TEOR DE CARBONO ORGÂNICO COMPOSTÁVEL DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DA LEIRA (DIA)	EXP-90%	EXP-80%	EXP-70%
FASE ATIVA	0	32,70	32,93	29,36
	7	29,36	31,01	28,36
	15	28,96	30,02	28,05
	30	-	29,81	27,55
	45	-	23,39	23,48
	55	-	-	19,57
	60	-	16,91	-
	75	-	16,32	-
FASE DE MATURAÇÃO	15	-	15,00	17,96
	35	-	14,40	12,83

4.1.7 - VARIACÃO DO TEOR DE NITROGÊNIO (%) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DA LEIRA (DIA)	EXP-90%	EXP-80%	EXP-70%
FASE ATIVA	0	0,327	0,320	0,396
	7	0,320	0,450	0,449
	15	0,362	0,439	0,453
	30	-	0,518	0,562
	45	-	-	0,735
	55	-	-	0,758
	60	-	-	-
	75	-	0,600	-
FASE DE MATURAÇÃO	15	-	0,650	0,837
	35	-	0,766	1,006

4.1.8 - VARIAÇÃO DA RELAÇÃO C/N DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DA LEIRA (DIA)	EXP-90%	EXP-80%	EXP-70%
FASE ATIVA	0	100	103	74
	7	92	69	63
	15	80	68	62
	30	-	58	49
	45	-	43	32
	55	-	-	25
	60	-	29	-
	75	-	27	-
FASE DE MATURAÇÃO	15	-	23	21
	35	-	19	13

TABELA 4.1.9 - VARIAÇÃO DO TEOR DE SÓDIO (%) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASE DO PROCESSO	IDADE DA LEIRA (DIAS)	EXP-90%	EXP-80%	EXP-70%
FASE ATIVA	0	0,13	0,15	0,35
	15	0,17	--	-
	30	-	0,31	0,40
	55	-	-	0,44
	60	-	0,23	-
	75	-	0,27	-
FASE DE MATURAÇÃO	35	-	0,36	0,47

TABELA 4.1.10 - VARIACÃO DO TEOR DE POTÁSSIO (%) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASE DO PROCESSO	IDADE DA LEIRA (DIAS)	EXP-90%	EXP-80%	EXP-70%
FASE ATIVA	0	0,18	0,20	0,45
	15	0,24	-	-
	30	-	0,46	0,60
	55	-	-	0,63
	60	-	0,34	-
	75	-	0,41	-
FASE DE MATURAÇÃO	35	-	0,54	1,04

TABELA 4.1.11 - VARIACÃO DO TEOR DE CÁLCIO (%) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASE DO PROCESSO	IDADE DA LEIRA (DIAS)	EXP-90%	EXP-80%	EXP-70%
FASE ATIVA	0	0,21	0,21	0,22
	15	0,31	-	-
	30	-	0,26	0,26
	55	-	-	0,39
	60	-	0,27	-
	75	-	0,20	-
FASE DE MATURAÇÃO	35	-	0,25	0,42

TABELA 4.1.12 - VARIACÃO DO TEOR DE MAGNÉSIO (%) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASE DO PROCESSO	IDADE DA LEIRA (DIAS)	EXP-90%	EXP-80%	EXP-70%
FASE ATIVA	0	0,09	0,05	0,10
	15	0,05	-	-
	30	-	0,10	0,13
	55	-	-	0,19
	60	-	0,09	-
	75	-	0,11	-
FASE DE MATURAÇÃO	35	-	0,13	0,20

TABELA 4.1.13 - VARIACÃO DO TEOR DE FÓSFORO (%) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASE DO PROCESSO	IDADE DA LEIRA (DIAS)	EXP-90%	EXP-80%	EXP-70%
FASE ATIVA	0	0,02	0,03	0,05
	15	0,02	-	-
	30	-	0,06	0,08
	55	-	-	0,12
	60	-	0,05	-
	75	-	0,06	-
FASE DE MATURAÇÃO	35	-	0,10	0,18

TABELA 4.1.14 - VARIACÃO DO TEOR DE FERRO (ppm) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASE DO PROCESSO	IDADE DA LEIRA (DIAS)	EXP-90%	EXP-80%	EXP-70%
FASE ATIVA	0	2.821	1.993	2.034
	15	4.396	-	-
	30	-	3.173	3.253
	55	-	-	7.472
	60	-	6.157	-
	75	-	6.302	-
FASE DE MATURAÇÃO	35	-	5.162	7.524

TABELA 4.1.15 - VARIACÃO DO TEOR DE ZINCO (ppm) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASE DO PROCESSO	IDADE DA LEIRA (DIAS)	EXP-90%	EXP-80%	EXP-70%
FASE ATIVA	0	42	48	50
	15	46	-	-
	30	-	50	57
	55	-	-	63
	60	-	50	-
	75	-	53	-
FASE DE MATURAÇÃO	35	-	63	77

TABELA 4.1.16 - VARIAÇÃO DO TEOR DE COBRE (ppm) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASE DO PROCESSO	IDADE DA LEIRA (DIAS)	EXP-90%	EXP-80%	EXP-70%
FASE ATIVA	0	17	18	14
	15	15	-	-
	30	-	20	15
	55	-	-	18
	60	-	22	-
	75	-	25	-
FASE DE MATURAÇÃO	35	-	25	19

TABELA 4.1.17 - VARIAÇÃO DO TEOR DE MANGANÊS (ppm) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASE DO PROCESSO	IDADE DA LEIRA (DIAS)	EXP-90%	EXP-80%	EXP-70%
FASE ATIVA	0	95	99	94
	15	83	-	-
	30	-	110	109
	55	-	-	140
	60	-	127	-
	75	-	136	-
FASE DE MATURAÇÃO	35	-	138	140

TABELA 4.1.18 - VARIACÃO DA POPULAÇÃO DE ESTREPTOCOCOS FECAIS (UFC/g) (diluição) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASE DO PROCESSO	IDADE DA LEIRA (DIAS)	EXP-90% *	EXP-80% *	EXP-70% *
FASE ATIVA	0	-	-	-
	15	10^3	10^4	10^4
	30	-	10^3	10^3
	45	-	10^3	10^3
	55	-	-	10^3
	60	-	10^3	-
	75	-	10^3	-
FASE DE MATURAÇÃO	35	-	10^3	10^3

* O valor amostrado corresponde ao do fator de diluição que apresentou desenvolvimento de estreptococos fecais.

TABELA 4.2.1 - CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIAS PRIMAS UTILIZADAS

AMOSTRAS	%							
	UMIDADE	Na	K	Ca	Mg	P	C	N
Bagaço-de-cana	52,68	0,10	0,15	0,10	0,06	0,04	27,83	0,234
Torta de Filtro	70,17	0,25	0,36	2,41	0,19	0,65	17,80	0,637
Vinhoto	-	0,004	0,63	0,06	0,03	0,02	0,73	0,030
Esterco Bovino	73,23	0,97	1,38	0,48	0,36	0,33	26,94	1,038

C/N	ppm				pH	Kg/m ³ DENSIDADE	UFC/g ESTREPTOCOCOS FECAIS
	Fe	Zn	Cu	Mn			
119	4.439	43	17	66	4,27	137	0,0
28	22.858	122	29	366	6,87	626	-
24	55	04	01	06	4,45	137	-
26	874	73	08	140	8,79	872	1,5 x 10 ⁵

TABELA 4.2.2 - CARACTERÍSTICAS DAS LEIRAS ESTUDADAS

RESÍDUOS	EXPERI - MENTOS	PESO (t)	DIMENSÕES (m)			VOLUME (m ³)	DENSIDADE (Kg/m ³)
			LARGURA	ALTURA	COMPRI - MENTO		
Usina de Açúcar	EXP-6	2,0	2,70	1,20	5,60	9,10	280
	EXP-7	3,0	2,80	1,20	4,60	7,70	388
Destilarias Autônomas	EXP-8	1,0	2,70	1,20	5,30	8,60	241
	EXP-9	1,5	2,60	1,10	4,60	6,60	345
Usinas de Açúcar com Destilarias Anexa	EXP-10	2,0	2,60	1,40	5,30	9,60	310
	EXP-10B	17,5	4,80	1,80	10,30	44,50	271
	EXP-11	3,0	2,80	1,40	5,40	10,60	330

TEMPO DE DURAÇÃO (DIAS)		
FASE ATIVA	FASE DE MATURAÇÃO	TOTAL
70	60	130
130	35	165
55	30	85
85	60	145
75	60	135
130	60	190
140	45	185

TABELA 4.2.3 - VARIACÃO DA DENSIDADE (kg/m³) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DAS LEIRAS (DIAS)	EXP-6	EXP-7	EXP-8	EXP-9	EXP-10	EXP-10B	EXP-11
FASE ATIVA	0	280	388	241	345	310	271	330
	30	292	399	260	297	250	-	388
	55	-	-	260	-	-	-	-
	60	-	358	-	260	300	336	334
	70	270	-	-	-	-	-	-
	75	-	-	-	-	335	-	-
	85	-	-	-	237	-	-	-
	90	-	-	-	-	-	325	350
	100	-	-	-	-	-	-	-
	120	-	400	-	-	-	385	380
	130	-	438	-	-	-	-	-
	140	-	-	-	-	-	-	395
FASE DE MATUREÇÃO	30	-	-	201	-	-	-	-
	35	-	407	-	-	-	-	-
	45	-	-	-	-	-	-	410
	60	275	-	-	265	385	400	-

TABELA 4.2.4 - VARIACÃO DO TEOR DE UMIDADE (%) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DAS LEIRAS (DIAS)	EXP-6	EXP-7	EXP-8	EXP-9	EXP-10	EXP-10B	EXP-11
FASE ATIVA	0	68,17	76,49	76,24	80,02	74,87	66,31	78,95
	7	70,05	76,11	75,24	79,26	72,42	66,32	77,84
	15	68,40	76,33	74,64	71,76	76,71	66,33	77,84
	30	71,99	75,28	76,41	76,34	76,95	66,77	77,40
	45	72,70	74,12	76,78	76,97	74,82	63,01	75,39
	55	-	-	75,77	-	-	-	-
	60	73,28	72,95	-	76,63	73,56	61,26	76,09
	70	72,86	-	-	-	-	-	-
	75	-	73,72	-	78,90	77,52	63,05	75,05
	85	-	-	-	76,95	-	-	-
	90	-	71,57	-	-	-	62,42	72,77
	100	-	-	-	-	-	-	-
	120	-	69,15	-	-	-	63,98	72,36
	130	-	69,69	-	-	-	-	-
140	-	-	-	-	-	69,64	-	
FASE DE MATUREÇÃO	15	71,15	67,28	75,72	74,56	73,26	68,68	68,68
	30	69,59	64,55	76,07	70,93	71,75	62,12	66,12
	35	-	64,41	-	-	-	-	-
	45	68,73	-	-	66,44	67,71	65,15	69,95
	60	67,25	-	-	66,21	69,45	65,00	-

TABELA 4.2.5 - VARIACÃO DO pH DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DAS LEIRAS (DIAS)	EXP-6	EXP-7	EXP-8	EXP-9	EXP-10	EXP-10B	EXP-11
FASE ATIVA	0	5,57	6,56	4,95	5,71	4,65	5,70	6,04
	7	7,97	6,62	7,47	6,50	5,72	7,05	8,62
	15	8,11	7,26	7,30	7,50	7,14	8,20	7,63
	30	8,30	9,00	7,22	8,29	8,43	9,06	7,32
	45	8,74	8,76	7,86	9,06	8,77	8,81	8,85
	55	-	-	8,00	-	-	-	-
	60	8,40	8,36	-	8,95	8,10	7,91	8,97
	70	8,12	-	-	-	-	-	-
	75	-	8,09	-	7,86	8,68	8,21	8,88
	85	-	-	-	8,00	-	-	-
	90	-	8,57	-	8,37	-	7,84	8,54
	100	-	-	-	-	-	-	-
	120	-	8,32	-	-	-	8,65	7,64
	130	-	8,00	-	-	-	8,80	-
140	-	-	-	-	-	-	8,24	
FASE DE MATUREÇÃO	15	7,85	8,78	7,00	8,83	7,99	9,37	8,60
	30	8,22	8,16	7,26	7,30	8,60	8,70	8,60
	35	-	8,01	-	-	-	-	-
	45	8,16	-	-	7,45	7,48	8,30	8,60
	60	7,90	-	-	7,60	7,68	8,00	-

TABELA 4.2.6 - VARIACÃO DO TEOR DE CARBONO COMPOSTÁVEL (%) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DAS LEIRAS (DIAS)	EXP-6	EXP-7	EXP-8	EXP-9	EXP-10	EXP-10B	EXP-11
FASE ATIVA	0	22,30	19,21	30,70	30,25	22,80	19,35	28,92
	15	21,95	18,89	30,20	30,06	20,82	19,26	28,62
	30	21,41	18,52	29,58	29,81	19,80	19,13	28,25
	45	20,20	18,27	25,36	29,60	19,70	19,00	27,20
	55	-	-	25,42	-	-	-	-
	60	19,40	18,12	-	29,35	19,63	18,91	26,92
	70	18,40	-	-	-	-	-	-
	75	-	17,50	-	29,00	19,57	18,49	24,90
	85	-	-	-	28,70	-	-	-
	90	-	17,07	-	-	-	18,02	23,02
	100	-	-	-	-	-	-	-
	120	-	15,68	-	-	-	16,91	19,13
	130	-	15,12	-	-	-	16,25	-
	140	-	-	-	-	-	-	17,75
FASE DE MATUREÇÃO	15	17,49	12,93	25,40	26,72	19,57	14,97	16,77
	30	16,79	12,68	25,38	24,02	19,58	14,01	15,57
	35	-	10,56	-	-	-	-	-
	45	15,97	-	-	23,01	18,84	13,79	11,12
	60	14,82	-	-	22,91	18,24	-	13,65

TABELA 4.2.7 - VARIACÃO DO TEOR DE NITROGÊNIO (%) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DAS LEIRAS (DIAS)	EXP-6	EXP-7	EXP-8	EXP-9	EXP-10	EXP-10B	EXP-11
FASE ATIVA	0	0,416	0,559	0,389	0,585	0,679	0,523	0,815
	15	0,509	0,621	0,357	0,646	0,700	0,564	0,850
	30	0,537	0,766	0,337	0,722	0,728	0,608	1,023
	45	0,500	0,800	0,372	0,800	0,762	0,650	1,226
	55	-	-	0,347	-	-	-	-
	60	0,610	0,962	-	0,823	0,800	1,466	0,701
	70	0,575	-	-	-	-	-	-
	75	-	0,968	-	0,883	0,844	0,712	1,501
	85	-	-	-	0,911	-	-	-
	90	-	1,020	-	-	-	0,753	1,540
	100	-	-	-	-	-	-	-
	120	-	1,166	-	-	-	0,736	1,597
	130	-	1,205	-	-	-	0,731	-
	140	-	-	-	-	-	-	1,646
FASE DE MATUREÇÃO	15	0,586	1,162	0,340	1,100	0,900	0,851	1,506
	30	0,591	1,046	0,262	1,133	0,967	0,958	1,308
	35	-	1,066	-	-	-	-	-
	45	0,590	-	-	1,323	1,069	1,298	1,483
	60	0,590	-	-	1,527	1,089	1,300	-

TABELA 4.2.8 - VARIACÃO DA RELAÇÃO C/N DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DAS LEIRAS (DIAS)	EXP-6	EXP-7	EXP-8	EXP-9	EXP-10	EXP-10B	EXP-11
FASE ATIVA	0	54	34	79	52	34	37	35
	15	43	30	85	47	30	34	34
	30	40	24	88	41	27	31	28
	45	40	23	68	37	26	29	22
	55	-	-	73	-	-	-	-
	60	32	19	-	36	25	27	18
	70	32	-	-	-	-	-	-
	75	-	18	-	33	23	26	17
	85	-	-	-	31	-	-	-
	90	-	17	-	-	-	24	15
	100	-	-	-	-	-	-	-
	120	-	13	-	-	-	23	12
	130	-	13	-	-	-	22	-
	140	-	-	-	-	-	-	11
FASE DE MATUREÇÃO	15	30	11	75	24	22	18	11
	30	28	12	97	21	20	14	12
	35	-	10	-	-	-	-	-
	45	27	-	-	-	18	11	08
	60	25	-	-	15	17	10	-

TABELA 4.2.9 - VARIACÃO DO TEOR DE SÓDIO (%) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DAS LEIRAS (DIAS)	EXP-6	EXP-7	EXP-8	EXP-9	EXP-10	EXP-10B	EXP-11
FASE ATIVA	0	0,17	0,35	0,36	0,37	0,27	0,32	0,42
	30	0,21	0,34	0,37	0,49	0,29	0,39	0,64
	55	-	-	0,39	-	-	-	-
	60	0,23	0,41	-	0,61	0,31	0,39	0,84
	70	0,24	-	-	-	-	-	-
	75	-	-	-	-	0,32	-	-
	85	-	-	-	0,61	-	-	-
	90	-	0,46	-	-	-	0,42	-
	120	-	0,48	-	-	-	0,43	-
	130	-	0,49	-	-	-	-	-
140	-	0,50	-	-	-	0,44	-	
FASE DE MATURE- ÇÃO	30	0,23	0,53	0,44	0,84	0,42	0,46	0,79
	35	-	0,55	-	-	-	-	-
	45	-	-	-	-	-	-	0,76
	60	0,26	-	-	0,91	0,49	0,52	-

TABELA 4.2.10 - VARIACÃO DO TEOR DE POTÁSSIO (%) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DAS LEIRAS (DIAS)	EXP-6	EXP-7	EXP-8	EXP-9	EXP-10	EXP-10B	EXP-11
FASE ATIVA	0	0,20	0,55	0,51	0,57	0,39	0,47	0,59
	30	0,29	0,53	0,57	0,72	0,49	0,59	0,94
	55	-	-	0,57	-	-	-	-
	60	0,30	0,66	0,57	0,86	0,50	0,54	1,12
	70	0,31	-	-	-	-	-	-
	75	-	-	-	-	0,49	-	-
	85	-	-	-	0,97	-	-	-
	90	-	0,72	-	-	-	0,59	1,12
	120	-	0,69	-	-	-	0,62	1,13
	130	-	0,69	-	-	-	-	-
140	-	-	-	-	-	-	1,12	
DE MATURE- ÇÃO	30	0,30	-	0,67	1,22	0,67	0,67	1,12
	35	-	0,67	-	-	-	-	-
	45	0,34	-	-	1,21	0,70	0,72	1,14
	60	0,38	-	-	1,19	0,74	0,80	-

TABELA 4.2.11 - VARIACÃO DO TEOR DE CÁLCIO (%) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DAS LEIRAS (DIAS)	EXP-6	EXP-7	EXP-8	EXP-9	EXP-10	EXP-10B	EXP-11
FASE ATIVA	0	0,68	0,68	0,35	0,33	1,56	0,94	1,47
	30	1,09	0,78	0,32	0,59	1,70	1,71	1,69
	55	-	-	0,31	-	-	-	-
	60	1,26	1,29	-	0,63	2,00	1,83	2,00
	70	1,26	-	-	-	-	-	-
	75	-	-	-	-	2,17	-	-
	85	-	-	-	0,63	-	-	-
	90	-	1,60	-	-	-	1,74	2,02
	120	-	1,59	-	-	-	1,89	2,01
	130	-	1,67	-	-	-	1,99	-
140	-	-	-	-	-	-	2,01	
DE MATURAÇÃO	30	1,48	-	0,34	0,80	2,24	1,99	2,00
	35	-	1,69	-	-	-	-	-
	45	1,49	-	-	1,00	2,26	2,61	2,05
	60	1,50	-	-	1,55	2,28	2,69	-

TABELA 4.2.12 - VARIACÃO DO TEOR DE MAGNÉSIO (%) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DAS LEIRAS (DIAS)	EXP-6	EXP-7	EXP-8	EXP-9	EXP-10	EXP-10B	EXP-11
FASE ATIVA	0	0,08	0,22	0,14	0,21	0,17	0,17	0,22
	30	0,13	0,21	0,16	0,23	0,21	0,22	0,29
	55	-	-	0,16	-	-	-	-
	60	0,14	0,27	-	0,27	0,23	0,23	0,33
	70	0,15	-	-	-	-	-	-
	75	-	-	-	-	0,27	-	-
	85	-	-	-	0,30	-	-	-
	90	-	0,27	-	-	-	-	-
	120	-	0,29	-	-	-	0,24	0,39
	130	-	0,30	-	-	-	0,24	-
140	-	-	-	-	-	-	0,40	
DE MATURAÇÃO	30	0,18	-	0,21	0,35	0,30	0,28	0,40
	35	-	0,32	-	-	-	-	-
	45	0,17	-	-	0,36	0,32	0,27	0,50
	60	0,17	-	-	0,37	0,33	0,28	-

TABELA 4.2.13 - VARIACÃO DO TEOR DE FÓSFORO (%) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DAS LEIRAS (DIAS)	EXP-6	EXP-7	EXP-8	EXP-9	EXP-10	EXP-10B	EXP-11
FASE ATIVA	0	0,15	0,29	0,05	0,11	0,18	0,16	0,35
	30	0,20	0,33	0,04	0,15	0,28	0,18	0,42
	55	-	-	0,55	-	-	-	-
	60	0,18	0,35	-	0,17	0,36	0,26	0,49
	70	0,19	-	-	-	-	-	-
	75	-	-	-	-	0,40	-	-
	85	-	-	-	0,19	-	-	-
	90	-	0,39	-	-	-	0,25	0,53
	120	-	0,40	-	-	-	0,27	0,55
	130	-	0,40	-	-	-	0,29	-
140	-	-	-	-	-	-	0,57	
DE MATUREÇÃO	30	0,20	-	0,08	0,25	0,46	0,32	0,57
	35	-	0,41	-	-	-	-	-
	45	0,25	-	-	0,27	0,45	0,31	0,69
	60	0,30	-	-	0,30	0,44	0,31	-

TABELA 4.2.14 - VARIACÃO DO TEOR DE FERRO (ppm) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DAS LEIRAS (DIAS)	EXP-6	EXP-7	EXP-8	EXP-9	EXP-10	EXP-10B	EXP-11
FASE ATIVA	0	11089	11451	3.319	2.150	6.757	9.888	5.577
	30	14640	11078	3.389	2.221	7.752	14.362	5.804
	55	-	-	3.567	-	-	-	-
	60	16150	13078	-	3.460	8.655	13.863	6.985
	70	17160	-	-	-	-	-	-
	75	-	-	-	-	9.865	-	-
	85	-	-	-	3.565	-	-	-
	90	-	12394	-	-	-	18.404	7.745
	120	-	13222	-	-	-	19.500	8.020
	130	-	14426	-	-	-	20.517	-
140	-	-	-	-	-	-	8.248	
DE MATUREÇÃO	30	18797	-	3.629	3.379	8.705	21.345	8.601
	35	-	15895	-	-	-	-	-
	45	18994	-	-	3.939	8.700	23.003	11.048
	60	19791	-	-	4.031	8.684	23.500	-

TABELA 4.2.15 - VARIACÃO DO TEOR DE ZINCO (ppm) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DAS LEIRAS (DIAS)	EXP-6	EXP-7	EXP-8	EXP-9	EXP-10	EXP-10B	EXP-11
FASE ATIVA	0	86	84	44	48	85	80	85
	30	89	132	42	51	98	88	101
	55	-	-	50	-	-	-	-
	60	88	134	-	52	114	98	108
	70	88	-	-	-	-	-	-
	75	-	-	-	-	121	-	-
	85	-	-	-	75	-	-	-
	90	-	145	-	-	-	107	110
	120	-	140	-	-	-	109	112
	130	-	150	-	-	-	109	-
140	-	-	-	-	-	-	117	
DE MATURAÇÃO	30	124	-	56	70	126	114	121
	35	-	179	-	-	-	-	-
	45	130	-	-	77	132	134	139
	60	143	-	-	84	140	143	-

TABELA 4.2.16 - VARIACÃO DO TEOR DE COBRE (ppm) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DAS LEIRAS (DIAS)	EXP-6	EXP-7	EXP-8	EXP-9	EXP-10	EXP-10B	EXP-11
FASE ATIVA	0	20	23	19	12	19	20	18
	30	22	22	16	12	22	26	17
	55	-	-	15	-	-	-	-
	60	24	25	-	14	24	29	23
	70	26	-	-	-	-	-	-
	75	-	-	-	-	27	-	-
	85	-	-	-	-	-	-	-
	90	-	32	-	-	-	28	25
	120	-	37	-	-	-	29	26
	130	-	31	-	-	-	30	-
140	-	-	-	-	-	-	27	
DE MATURAÇÃO	30	30	-	18	16	26	34	28
	35	-	31	-	-	-	-	-
	45	30	-	-	19	29	38	35
	60	30	-	-	21	34	39	-

TABELA 4.2.17 - VARIACÃO DO TEOR DE MANGANÊS (ppm) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DAS LEIRAS (DIAS)	EXP-6	EXP-7	EXP-8	EXP-9	EXP-10	EXP-10B	EXP-11
FASE ATIVA	0	245	300	98	164	348	280	324
	30	299	372	104	257	380	373	375
	55	-	-	104	-	-	-	-
	60	316	452	-	277	430	360	489
	70	334	-	-	-	-	-	-
	75	-	-	-	-	434	-	-
	85	-	-	-	299	-	-	-
	90	-	469	-	-	-	333	500
	120	-	473	-	-	-	346	509
	130	-	479	-	-	-	351	-
140	-	-	-	-	-	-	518	
DE MATURAÇÃO	30	379	-	100	363	429	395	521
	35	-	477	-	-	-	-	-
	45	377	-	-	387	420	442	632
	60	374	-	-	415	423	450	-

TABELA 4.2.18 - VARIACÃO DA POPULAÇÃO DE ESTREPTOCOCOS FECALIS (UFC/g) (diluição) DURANTE O PERÍODO DE COMPOSTAGEM

FASES DO PROCESSO	IDADE DAS LEIRAS (DIAS)	EXP-6	EXP-7	EXP-8	EXP-9	EXP-10	EXP-10B	EXP-11
FASE ATIVA	0	-	-	-	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁵
	15	-	10 ⁴	10 ⁷	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁵
	30	-	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁴	10 ⁴
	45	10 ⁴	10 ³	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁴
	55	-	-	10 ⁴	-	-	-	-
	60	10 ⁴	10 ³	-	10 ⁴	10 ⁴	10 ³	10 ³
	70	10 ³	-	-	-	-	-	-
	75	-	-	-	-	10 ⁴	-	-
	85	-	-	-	10 ⁴	-	-	-
	90	-	10 ³	-	-	-	10 ³	10 ³
	120	-	10 ³	-	-	-	10 ³	10 ³
	130	-	10 ³	-	-	-	10 ³	-
	140	-	-	-	-	-	-	10 ³
DE MATURAÇÃO	30	-	10 ³	10 ³	10 ³	10 ³	10 ³	10 ³
	35	10 ³	-	-	-	-	-	-
	45	-	-	-	-	-	-	10 ³
	60	10 ³	-	-	10 ³	10 ³	10 ³	-

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

. A compostagem de resíduos da indústria sucroalcooleira é um processo viável no tratamento e reciclagem destes materiais.

. O sistema de compostagem empregado, foi considerado eficiente na degradação dos resíduos em questão, apresentando alto grau de flexibilidade e baixo custo, além de produzir um adubo para uso no próprio cultivo da cana-de-açúcar, diminuindo assim, os custos da indústria na compra de fertilizantes minerais.

. O emprego de esterco bovino, que atuou como inóculo e fonte adicional de nitrogênio, contribuiu decisivamente para melhorar a atividade microbiológica e auxiliar na produção de um composto mais estabilizado.

. A compostagem dos resíduos de usinas de açúcar realizada com a utilização de esterco bovino, propiciou a formação de um composto com maior grau de estabilização e humificação.

. Os resíduos de destilarias autônomas apenas apresentaram condições de compostabilidade adequada quando foram inoculados com esterco bovino, que levou a produção de um composto com alto grau de humificação.

. A compostagem dos resíduos de usinas de açúcar com destilaria anexa, bagaço-de-cana, torta de filtro e vinhoto, também mostrou-se bastante satisfatória, dispensando inclusive o emprego de inoculantes e aditivos, em virtude da massa de compostagem, ter propiciado o desenvolvimento de elevada atividade microbiana, resultando na produção de um

composto com alto grau de humificação.

. Acredita-se ser possível, em uma escala industrial de trabalho, dimensionar um sistema simples e eficiente para a reciclagem, por compostagem, dos resíduos produzidos em indústrias sucroalcooleiras, tendo-se com a implantação deste sistema uma participação mais ativa da indústria na proteção do meio ambiente e melhoria de sua própria produtividade agrícola.

. Não houve eliminação de estreptococos fecais, o que pode ser uma deficiência do processo de compostagem Windrow, ou pode ter sido causado pela contaminação com bactérias provenientes de leiras com lixo urbano presentes no local. Seria portanto necessário obter uma conclusão mais precisa sobre a eliminação de patógenos na compostagem de resíduos de usinas sucroalcooleiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, M. (1977): "Microbiol Ecology" e "The Carbon Cicle".
In: Introduction Soil Microbiology. 2^a Edição. New York. John
Wiley & Sons. pp. 3-224.
- ALMEIDA, J.R. de (1944): "As Tortas das Usinas de Açúcar".
Brasil Açucareiro. (23): 483-487 .
- ALMEIDA, J.R. de (1952): "O Problema da Vinhaça em São Paulo".
Boletim n^o3 do Instituto Zimotécnico da E.S.A. Luiz de
Queiroz. Piracicaba, SP. 9 p.
- AMER, G. & DREW, S. (1980): "Microbiology of Lignin
Degradation". Annual Reports on Fermentation Process. pp.
68-101.
- ANUÁRIO AÇUCAREIRO (1973): Instituto do Açúcar e do Alcool -
IAA. Rio de Janeiro. p.6-8.
- BARROS, W.J. (1975): "Análise Econométrica dos Mercados Interno e
de Exportação de Açúcar". Viçosa, MG: UFV, 46 p. (Tese
Mestrado)
- BERTOLDI, M.de; VALLINI, G.; PERA, A. and ZUCCONI, F. (1984):
"Technological Aspects of Composting Including Modelling and
Microbiology". Seminar on Composting Agricultural and Other
Wastes. Oxford. pp. 27-41.

BERTON, R.S.; GERARDI, R.N.; VAN RAIJ, B. (1983): "Resíduos da Indústria Alcooleira como Fontes de Potássio em Experimentos de Casa de Vegetação". Rev. Bras. Ci. Solo vol. 7, nº 1, p. 61-64.

BICHARA, J.M. e PIZYSIEZNIG FILHO, J. (1991): "Aspectos Gerais do Gerenciamento Ambiental na Agroindústria Canavieira. Saneamento Ambiental. nº11 - Dez/Jan. p. 14-23.

BIDDLESTONE, A.J.; BALL, D. e GRAY, K.R. (1981): "Composting and Urban Waste Recycling". Advances in Food Producing System for Arid and Semiarid Lands. Academic Press. pp. 191-224.

BOUTIN, P.; CEMAGREF, C. e MOLINI, C. H. R. (1986): "Health and Safety Aspects of Compost Preparation and Use". In: Symposium in Compost: Production, Quality and Use. Udine, Itália. pp. 198-207.

BRASIL AÇUCAREIRO (1934): "O Bagaço como Adubo". julho, volo. 3, nº 5, p. 307-308.

BRASIL SOBRINHO, M.O.C. (1958): "Estudos sobre o Aproveitamento da Torta de Filtro de Usina de Açúcar como Fertilizante". Piracicaba, SP: ESALQ, 109 p. (Tese Doutorado).

BURNS, R.G. e MARTIN, J. P. (1986): "Biodegradation of Residue in Soil". In: Mycroflora and Faunal Interactions in Natural Ecosystems. M. Nijhoff and Junk Publischer, Northerlands. pp. 137-202.

CAMPOS, R. de M. (1991): "Reaproveitamento de Resíduos Marca a Indústria Sucroalcooleira". Saneamento Ambiental - nº11 - Dez/Jan. p. 10-12.

CARDENAS, JR. R.R. e WANG, L.K. (1980): "Composting Process". Handbook of Environmental Engineering; Humana Press. Clifton N.J., U.S.A., pp. 269-327.

CARNES, R. A. e LOSSIN, R. D. (1970): "Investigation of the Characteristics of Compost". Compost Science, vol 11, nº 5, pp. 18-21.

CASTRO, L.P.J. & GODOY, O.P. (1979): "Uso da Torta de Filtro no Sulco de Plantio da Cana-de-Açúcar Saccharum spp". Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, vol. 94, nº 5, p. 66-76.

CHACEL, M. J. (Coordenador) (1987): "O Proálcool na Atualidade" In: Avaliação do proálcool -II. p.21-35.

CEBALLOS, B.S.O (1990): "Microbiologia Sanitária". In: Mendonça, S. R. Lagoas de Estabilização e Aeradas Mecanicamente: Novos Conceitos. p. 89-150.

CHANG, Y. e HUDSON, H.J. (1967): "The Fungi of Wheat Straw Compost". Trans. Br. Mycol. Soc., 50(4), pp 649.

CHAVES, V.M.G. (1982): "Características Fisiológicas de um Fungo Termófilo Isolado de Compostagem e Propriedades de seu Complexo Celulose". Viçosa, MG: UFV, 60 P. (Tese Mestrado)

COLETI, J. T.; LORENZETTI, J. M.; FREITAS, P.G.R.; GASPARINI, C. T. (1982): "Compostagem Obtida com Resíduos da Fabricação de Açúcar e Alcool. Saccharum Stab, vol. 5, n^o 19, p.36-40.

COLETI, J. T.; LORENZETTI, J. M.; FREITAS, P. R. G.; CORBINI, J. L.; WALDER, L. A. M. (1986): "Uso de Produtos de Compostagem em Comparação com Torta de Filtro na Adubação da Cana-Planta e seus Efeitos na Soca, em Solos de Alta e Baixa Fertilidade Natural". STAB - Jan/Fev - p. 33-39.

COPERSUCAR. (1983): "Bagaço". In: I Seminário de Tecnologia Industrial COPERSUCAR. p.451-466.

COPERSUCAR. (1988): "Agroindústria Canvieira: Um Perfil". 28 p.

COPERSUCAR. (1989): "A Safra 1988/1989". In: Relatório Anual 1988/1989. p. 23-26.

COSTILOW, R.N. (1981): "Biophysical Factors in Growth". In: Manual of Methods for General Bacteriology, American Society for Microbiology, Washington, D. C. 65 pp.

DIAS, C.A.B. (1980): "Perspectivas de Tratamento do Vinhoto com Benefícios Ambientais e Econômicos (1^a parte)" Brasil Açucareiro, vol. 96n^o 3, p. 45-53.

DIAZ, L.F.; TREZER, G.J. e SAVAGE, G.M. (1982): "Preparation of MSW for Composting". The J.G. Press, Emmaus, PA, USA. pp. 95-106.

EIRA, A. F. da; PACCOLA, A.A. (1980): "Eficiência de Inoculantes para Compostagem da Torta de Filtro Rotativo". Brasil Açucareiro, vol. 96, n^o 6, p. 52-61.

EPSTEIN, E.; WILLSON, G.B.; BURGE, W.D. e ENKIRI, N.K. (1976): "A Forced Aeration System for Composting Waste Sludge". J. Water Poll. Contro. Fed., 48, pp. 688-693.

EWART, G.Y. & HUMBERT, R.P. (1960): "Use of Mill Waste Organic Matter in Improving Hawaiian Sugar Cane Soils"- Hawaiian Plant Record, Honolulu, vol. 55, n^o 4, p. 319-329.

FINSTEIN, M.S. e MILLER, F.C. (1984): "Principles of Composting Leading to Maximization of Decomposition Rate, Odor Control, and Cost Effectiveness". In: Seminar in Composting of Agricultural and Other Wastes. Oxford, UK. pp. 13-26.

GLÓRIA, N.A. (1975): "Utilização Agrícola da Vinhaça". Brasil Açucareiro, vol. 86, n^o 5, p. 11-17.

GLÓRIA, N.A. (1976): "Emprego da Vinhaça para Fertilização". Piracicaba, CODISTIL - Grupo Dedini, 31 p.

GOLUEKE, C.G. (1977a): "Biological Processing: Composting and Hydrolysis". Solid Waste Management V.N. Reinholds Company. pp. 197-225.

GOLUEKE, C.G. (1977b): "Biological Reclamation of Solid Wastes". Rondale Press, Emmaus. 256 pp.

GOLUEKE, C. G. (1980): "Composting Refuse and Sewage Sludge"
Compost Sci. Land Utiliz. ,USA, pp. 42-48.

GONTIJO, C. (1985): "Produção e Consumo do Alcool". In: Avaliação
Econômica do Programa Nacional do Alcool. Belo Horizonte. vol.
1. p. 24-31.

GOTAAS, H. B. (1956): "Composting". WHO, Monograph N^o 31, Geneva,
Switzerland. pp.205.

GRAY, K. R., SHERMAN, K. e BIDDLESTONE, A. J. (1971): "A Review of
Composting Part 1". Process Biochem., vol. 6, n^o 6, p. 32-36

GRAY, T. R. G. e WILLIAMS, S. T. (1971): "Soil Micro-Organisms".
Oliver and Boyd. Edinburgh. 229 pp.

GUIA RURAL - ANUÁRIO (1991): "Fertilizantes: Cada Solo é um
Caso". Editora Abril. p. 110-118.

HAMMOUDA, G. H. H. e ADAMS, W. A. (1986): "The Decomposition,
Humification and Fate of Nitrogen During the Composting of
some Plant Residues". In: Symposium on Compost: Production,
Quality and Use. Udine, Itália. pp. 245-253.

HOWARD, A. (1935): "The Manufacture of Humus by the Indore
Process". Journal of the Royal Society of Arts". Novembro. pp.
26-28.

HUMBERT, R. P. (1975): "Novo Processo de Compostagem de Bagaço e Torta de Filtro para Aumentar a Produção de Cana". Brasil Açucareiro, vol. 86, n° 2, p. 45-48.

INSTITUTO DO AÇÚCAR E DO ALCOOL (1972): Brasil/Açúcar. Rio de Janeiro. 243 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS/CEFET. (1980): "Os Produtos Fertilizantes". In: Manual de Fertilizantes. A.V. Slack. Fertilizer Institute. pp. 53-63 .

KENNER, B. A., CLARK , H. F. e KLABER, P.V. (1961): "Faecal Streptococci in Surface Water". Adv. Apl. Microbiol, vol. 9, pp. 15-20.

KIEHL, E.J. (1985): "Compostagem". In: Fertilizantes Orgânicos. São Paulo - Brasil. Editora Agronômica Ceres Ltda. p. 229-308.

LIPPMAN, E.O. VON (1942): "O Consumo do Açúcar na Europa (Séculos XVII e XVIII). In: História do Açúcar desde a época mais remota até o começo da Fabricação do Açúcar de Beterraba". Edição do Instituto do Açúcar e do Alcool. p. 155-238.

LOPES, C. H. (1986): "Glossário de Termos Técnicos para a Indústria Sucroalcooleira". IAA. 32 p.

LUGO-LÓPEZ, M.A., HERNÁNDEZ-MEDINA, E., CIBES. VIADÉ, H.R., VICENT. CHANDELER, J. (1954): "Influence of Filter Cake on Pineapple Yields and Soil Properties". Soil Science. Baltimore.

vol. 78, p. 257-265.

LYNCH, J.M. (1986): "Lignocellulolysis in Composts". In: International Symposium in Compost: Production, Quality and Use. Udine, Itália. p. 178-189 .

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. (1982): Secretaria Nacional da Defesa Agropecuária - Secretaria de Fertilização Agropecuária - Divisão de Fiscalização de Corretivos e Fertilizantes - Manual de Serviço da Inspeção e Fiscalização da Produção e do Comércio de Fertilizantes, Corretivos, Inoculantes, Estimulantes ou Biofertilizantes - Legislação. 58 p.

MOREL, J.L.; COLIN, F.; GERMON, J.C.; GODIN, P. e JUSTE, C. (1984): "Methods for the Evaluation of the Maturity of Municipal Refuse Compost". In: Seminar in Composting of Agricultural and other Wastes. Oxford, UK. pp. 56-76.

MUCHOVEJ, J.J. e MUCHOVEJ, R. M. C. (1989): "Noções Básicas de Micologia". Editora Folha de Viçosa, LTDA, Viçosa, MG. 155 p.

NUNES, M. R.; VELLOSO, A. C. X.; LEAL, J. R. (1981): "Efeito da Vinhaça nos Cátions trocáveis e outros Elementos Químicos do Solo". Pesq. Agropec. Bra., vol. 16, n^o 2, p. 171-6.

NÓBREGA, C. C. (1991): "Estudo e Avaliação de um Método Híbrido de Aeração Forçada para Compostagem em Leiras". Tese de Mestrado em Engenharia Sanitária - UFPb. 115 p.

OBENG, L. A. e WRIGHT, W. F. (1987): "The Co-Composting of Domestic Solid and Human Wastes". World Bank Technical, vol. 57, 101p.

OGLESBY, R. T.; CHRISTMAN, R. F.; DRIVER, C. H. (1967): "The Biotransformation of Lignin to Humus". Adv. App. Microbiol. vol. 9, pp. 171-184.

ORLANDO F., J. (1980): "Importância da Análise Química do Solo na Adubação da Cana-de-Açúcar". Brasil Açucareiro. 96(6):28-32.

ORLANDO F., J. (Coordenador) (1983): "Nutrição e Adubação da Cana-de-Açúcar no Brasil". Piracicaba, São Paulo. IAA/PLANALSUCAR. 368 p.

ORLANDO F., J. e LEME, E. J. A. (1984): "Utilização Agrícola dos Resíduos da Agroindústria Canaveira". In: Simpósio sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira. Brasília - DF. p. 451-475.

PAMPLONA, G. (1984): "PROÁLCOOL - Impacto em Termos Técnico-Econômicos e Sociais do Programa no Brasil". Belo Horizonte. 93 p.

PELCZAR, M; REID, R. e CHAN, E. C. S. (1981): "Microbiologia". MacGraw-Hill do Brasil. vol. 1. 576 p.

PEREIRA NETO, J. T.; STENTIFORD, E. I. e MARA, D. D. (1986): "Comparative Survival of Pathogenic Indicators in Windrow and Static Pile". In: Symposium in Compost: Production, Quality

and Use. Udine, Itália. pp. 276-295.

PEREIRA NETO, J.T. (1987): "On the Treatment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting - A Low Technology Approach". Tese de Doutorado - Universidade de Leeds - Inglaterra, 376 pp.

PEREIRA NETO, J.T. (1988): "Monitoramento da Eliminação de Organismos Patogênicos durante a Compostagem do Lixo Urbano e Lodo de Esgoto pelo Sistema de Pilhas Estáticas Aeradas". Revista Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro-Brasil. vol. 27. p. 148-152.

PEREIRA NETO, J.T. (1989a): "Conceitos Modernos de Compostagem". Revista Engenharia Sanitária, vol. 28 - n°2. p. 104-109.

PEREIRA NETO, J.T.; STENTIFORD. E.I. (1989b): "A Low Cost Controlled Windrow System". In: International Symposium in Compost of Solid Waste. Atenas, Grécia.

PEREIRA NETO, J.T. (1990): "Compostagem de Lixo - um elo entre saneamento, saúde e agricultura". Rev. Saneamento Ambiental. Fev - N° 2. p. 42-43.

PEREIRA NETO, J. T. e STENTIFORD, E. I. (1991): "Aspectos Epidemiológicos na Compostagem". In: 16° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Goiânia, GO.

PINTO, M.S. (Coordenador) (1979): "Compostagem" In: A Coleta e Disposição do Lixo no Brasil. Rio de Janeiro - Brasil. p. 110-131.

POINCELOT, R. P. (1975): "Biochemistry and Methodology of Composting. Com. Agr. Exp. Sta. Bull. vol. 754. 38 pp.

PRASAD, M. (1974): "The Effect of Filter Press mud on the Availability of Macro and Micronutrients". In: International Society of Sugar Technologists, 15, Durban. Proceedings. Durban, Hayne & Gibson. vol.2. pp. 568-575.

PRASAD, M. (1976): "Response of Sugarcane to Filter Press Mud and N,P and K fertilizers. I-Effect on sugar cane yield and sucrose content. Agronomy Journal , vol. 68, n° 4, p. 539-543.

PROFPE, H. (1985): "The Utilization of Vegetable Wastes by Composting". In: Chemical Waste: Handling and Treatment". Springer - Verlag. pp. 311-332.

PURCINO, A. A. C. (1981): "Nitrogênio". Rev. Informe Agropecuário. Belo Horizonte. 7 (81):16-22.

RAMEH, C.A.S. (1980): "A Utilização do Alcool e os Problemas de Poluição". Revista Engenharia Sanitária, Abril/Junho. p. 210-211.

RANDS, R.D. (1933): "Filter Cake on Louisiana Plantations". Sugar Bull. New Orleans, 11:2-5.

REGAN, R. W. e JERIS, J.S. (1970): "A Review of Decomposition of Cellulose and Refuse". *Compost Sci.* Jan/Feb. pp. 11-17.

REZENDE, J. O. (1979): "Consequência da Aplicação de Vinhaça sobre algumas Propriedades Físicas de um Solo Aluvial". Piracicaba, SP: ESALQ, 112 p. (Tese Doutorado).

RIBEIRO, A.C. (1978): "Torta de Filtro Rotativo e Vinhaça como Fertilizantes em Misturas com Apatita de Araxá e Superfosfato Simples". Piracicaba, SP: ESALQ, 88 p. (Tese Doutorado).

ROBILLARD, P.J.M. & IGGO, G.A. (1975): "The Effect of Quatity of Seedcane, Filter Cake and Irrigation on Sugarcane Yield". *South African Sugar Journal*, Durban, vol. 54, p. 165-173.

RODELLA, A.A. e FERRARI, S.E. (1977): "A Composição da Vinhaça e Efeitos de sua Aplicação como Fertilizante na Cana-de-açúcar". *Brasil Açucareiro*. Rio de Janeiro. vol. 90, p. 6-13.

RODRÍGUEZ, J. e DURÁN, N. (1988): "Some New Aspects of Enzymatic Lignin Biodegradation". *Brazilian J. Med. Biol. Res.* vol. 21, p. 411-422.

SAMUELS, G. e LANDRAU Jr., P. (1955): "Filter-Press Cake as a Fertilizer". *Sugar Journal*. Louisiana, vol. 18, p. 30-34.

SHUVAL, H.I.; GUNNERSON, C.G. e JULIUS, P.S. (1981): "Night-Soil Composting". *World Bank*, December, vol. 10. pp. 12-36.

SOLYON, P. (1977): "Inter. Calibration of Methods for Chemical Analysis of Sludge". Vatten, vol. 33, n^o 1, pp. 21-26.

STENTIFORD, E. I. e PEREIRA NETO, J. T. (1985): "Simplified Systems for Refuse/Sludge Composts". Biocycle, Vol. 26, pp. 46-49.

STUPIELLO, P.; PEIXE, C.A.; MONTEIRO, H.; SILVA, L.H. (1977): "Efeitos da Aplicação da Vinhaça como Fertilizante na Qualidade da Cana-de-açúcar". Brasil Açucareiro, vol. 90, p. 41-50.

TRABULSI, L. R. (1986): "Biologia dos Fungos". In: Microbiologia. Ed. Atheneu. p. 225-231.

WASKMAN, S.A. (1961): "Soil Microbiology". John Wiley & Sons, New York. 355 pp.

WILLSON, G. B.; PARR, J. F.; EPSTEIN, E.; MARSH, R. L.; COLACICCO, D.; BURGE, W. D.; SIKORA, L. J.; TESTER, C. F. e HORNICK, S. (1980): "Manual for Composting Sludge by the Beltsville Aerated-Pile Method". Municipal Environmental Research Laboratory, U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.

WILSON, D.C. (1981): "Waste Management - Planning, Evaluation, Technologies". Clarendon Press Oxford. pp. 367-374.

WITTER, E. e LOPEZ-REAL, J. M. (1986): "Monitoring the Composting Process Using Parameters of Compost Stability". In: Symposium in Compost: Production, Quality and Use. Udine, Itália. pp. 351-358.

ZUCCONI, F.; FORTE, M.; MONACO, A. e BERTOLDI, M. de (1981): "Biological Evaluation of Compost Matutity". Biocycle, vol. 22, pp. 21-26.