

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Ciências Agrárias
Curso de Agronomia

**Dinâmica de gases (CO_2 , O_2 e CH_4)
e da temperatura em compostagem estática com aeração
natural no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro**

Monografia de conclusão do curso de Agronomia

Acadêmico: Camilo Teixeira

Orientador: Professor Paul Richard Momsen Miller, Ph.D.

Supervisor: Eng. Agrônomo, MS Caio de Teves Inácio

Florianópolis, junho de 2009

Agradecimentos

Agradeço a todos que me apoiaram e me incentivaram no decorrer destes anos de faculdade, dedico agradecimentos especiais principalmente:

Aos estagiários do Laboratório de Biotecnologia Neolítica, Danilo, Martin, Alessandro, “Perna”, Ary, Misael, Luis, Matheus, “Mestre”, “Palhoça”, “Pisada” e João, além de todos os composteiros

O meu orientador Rick, pela paciência e os ensinamentos ao longo destes três anos em que fui seu bolsista.

Ao meu supervisor Caio de Teves Inácio, que sempre procurou esclarecer minhas dúvidas que surgiam no decorrer da pesquisa, com o máximo de clareza possível.

À minha mãe pela compreensão e apoio.

Ao meu pai pelas opiniões pertinentes ao trabalho

E a Lisete Terezinha de Oliveira, que muito me ajudou na formatação dos textos e na inserção de gráficos e figuras.

RESUMO

No presente trabalho, o autor realizou um estágio junto a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) SOLOS, onde, sob supervisão do pesquisador Caio de Teves Inácio, realizou uma coleta de dados junto a um pátio de compostagem, situado na cidade do Rio de Janeiro, onde procurou avaliar padrões referentes à dinâmica de gases (CO_2 , O_2 e CH_4), bem como o perfil de temperatura em uma leira estática com aeração natural.

Foram medidas também as concentrações de gases emitidos no ar proveniente de uma leira de compostagem, procurando analisar os pontos positivos desta tecnologia quanto a emissão de gás metano para atmosfera, quando comparada ao sistema tradicional de destinação de resíduos sólidos urbanos, ou seja, o aterro sanitário.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Emissão de Metano, Dióxido de Carbono e Oxigênio.....	17
Tabela 2. Média geral e Desvio Padrão da concentração dos gases na leira.....	26
Tabela 3. Emissão de concentrações de gases(TOPO).	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxo de ar em leira. Fonte: Inácio e Miller (2009).....	15
Figura 2: Corte transversal esquemático da leira, destacando os pontos de medições.....	22
Figura 3. Corte transversal esquemático, mostrando a distribuição das concentrações de Oxigênio no interior da leira, a partir das medições realizadas.....	27
Figura 4. Corte transversal esquemático, mostrando a distribuição das concentrações de metano no interior da leira, a partir das medições realizadas.....	29
Figura 5. Corte transversal esquemático, mostrando a distribuição das concentrações de gás carbônico no interior da leira, a partir das medições realizadas.....	30
Figura 6. Corte transversal esquemático, mostrando a distribuição das temperaturas no interior da leira, a partir das medições realizadas.....	32
Figura 7 . Fluxo de ar na leira de compostagem.....	41

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Imagem de satélite da área do pátio de compostagem.....	19
Foto 2- Vista geral da leira de número 10.....	19
Foto 3- Depósito de palha a ser utilizada na confecção da leira.....	20
Foto 4- Depósito de serragem a ser incorporada na compostagem.....	20
Foto 5- Incorporação de resíduo orgânico (casca de laranja) na leira.....	21
Foto 6- Aparelho Columbu Intar, com mangueira conectada.....	23
Foto 7- Ao centro, hastes do termômetro utilizadas para medição, na parte inferior esta a base móvel do termômetro.....	23
Foto 8- Aparelho do tipo “Chaminé”.....	24
Foto 9- Medição das emissões dos gases no topo.....	25

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Perfil da média de O_2 na leira nas alturas de 20, 40 e 60 cm em profundidades de 10, 30 e 60 cm.	27
Gráfico 2. Perfil da media geral de CH_4 na leira. nas alturas de 20, 40 e 60 cm em profundidades de 10, 30 e 60 cm.	29
Gráfico 3. Perfil da media geral de CO_2 na leira. nas alturas de 20, 40 e 60 cm em profundidades de 10, 30 e 60 cm.	30
Gráfico 4. Corte transversal esquemático, mostrando a distribuição temperaturas no interior da leira, a partir das medições realizadas.....	32
Gráfico 5. Correlação das concentrações de Gás Carbônico e Oxigênio na leira.	34
Gráfico 6. Correlação entre as concentrações de Metano e de Gás Carbônico na leira.	35
Gráfico 7. Correlação entre as concentrações de Oxigênio e de Metano na leira.	36

SUMÁRIO

RESUMO	3
LISTA DE TABELAS.....	4
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE FOTOS	4
LISTA DE GRÁFICOS	5
1. DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	7
2. JUSTIFICATIVA.....	8
3. OBJETIVOS.	10
3.1. Objetivo Geral.....	10
3.2. Objetivo específico.....	10
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
4.1. Compostagem.....	11
4.2. Oxigênio e temperatura	12
4.3. Metano e gás carbônico	12
4.4. Leiras estáticas, revolvimento e fluxo de ar	13
4.5. Efeito estufa e a opção entre compostagem e aterros.....	16
5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS:	18
5.1. Pátio de compostagem.....	18
5.2. Medição de concentração de gases e temperatura no interior da leira	21
5.3. Medição da concentração de gases no ar emitido pela leira.....	23
6. RESULTADOS:	26
6.1. Oxigênio	27
6.2. Metano e gás carbônico	29
6.3. Temperatura	31
6.3.1. Diferenças de altura	32
6.3.2. Diferenças de “distância da parede lateral” (DPL):.....	33
6.4. Correlações	34
6.4.1. Correlação CO ₂ e O ₂ :.....	34
6.4.2. Correlação CH ₄ e CO ₂	35
6.4.3. Correlação O ₂ X CH ₄	36
6.5. Nível da concentração dos gases no ar emitido pela leira.	37
7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	40
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	44

1. DELIMITAÇÃO DO TEMA

A compostagem é um processo, no qual, ocorre a decomposição aeróbia (com presença obrigatória do oxigênio) e termofílica (onde o calor produzido é retido o suficiente para elevar a temperatura acima dos 50°C) dos resíduos orgânicos provocado por populações microbiológicas oriundas do solo, devendo ser corretamente manejada para alcançar resultados satisfatórios. O resultado final deste processo é um substrato de alto valor químico-físico-biológico que pode ser utilizado como fertilizante orgânico para os mais diversos fins, como jardinagem, cultivo de plantas medicinais, entre outros.

Devido ao excesso de resíduos que produzimos diariamente, e que, invariavelmente tem como destino final os lixões e/ou aterros sanitários, os quais geram problemas de cunho ambiental, enfatizando-se principalmente a liberação de gás metano na atmosfera e solubilização de metais pesados, fica nítida a utilidade da tecnologia da compostagem. Uma vez que a mesma proporciona a ciclagem dos nutrientes, possibilitando assim que a fração orgânica do lixo (que muitas vezes é maior que 50% dos resíduos totais) possa ser reutilizada, diminuindo assim a contaminação ambiental com metais pesados e a liberação de gases que contribuem para o efeito estufa na atmosfera. Na esfera econômica também nota-se que ocorre uma redução dos gastos com o “lixo”, uma vez que, por ser uma tecnologia de baixo custo e que pode ser realizada em diversas localidades evita a necessidade de transporte dos materiais até os “lixões”.

No presente trabalho, junto à Embrapa Solos e realizada no Aeroporto Tom Jobim, na cidade do Rio de Janeiro foi realizado um estudo de campo com o objetivo de entender e caracterizar a dinâmica de consumo de O₂ e produção de CO₂ e CH₄ em leiras estáticas de compostagem, bem como de analisar o perfil de temperaturas internas, avaliando as quantidades e correlações de gases emitidos, particularmente CH₄, um importante gás do efeito estufa, procurou-se ainda fazer conclusões acerca do impacto ambiental do mesmo

2. JUSTIFICATIVA

Um dos maiores desafios que o mundo encontra hoje na busca por um ambiente sustentável é o adequado direcionamento dos resíduos sólidos que produzimos. “Uma grande parcela das cidades brasileiras não possuem métodos de disposição adequados para os seus resíduos sólidos, depositando-os ainda em “lixões” ou aterros sanitários controlados, os quais são fonte de expressiva degradação ambiental” (IBGE, 2000).

A utilização da tecnologia da compostagem mostra-se de extrema necessidade em um mundo que busca uma sustentabilidade, social, econômica e principalmente ambiental, do que decorre a necessidade do desenvolvimento de pesquisas científicas, no intuito de otimizar esta prática.

Os resíduos orgânicos que não consumimos, podem resultar em um adubo orgânico de altíssima qualidade, quando bem manejados. Estabilizado, livre de patógenos e/ou sementes de plantas daninhas e disponível às plantas. Forma-se assim um ciclo fechado e sem perdas, onde o adubo proporciona o crescimento dos vegetais, que, se não são consumidos, voltam a ser colocados em leiras de compostagem completando o ciclo.

Atualmente, o direcionamento destes resíduos tem sido feito, em geral de forma equivocada, sendo este material depositado em aterros e/ou “lixões”, e na maioria dos casos, até mesmo à céu aberto, resultando em um material com alto poder poluidor, atrativo de moscas e doenças, e produtor e emissor de gás metano, componente do efeito estufa, e conseqüentemente do aquecimento global.

Estimativas das emissões globais de metano do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 1996) apontam que $3,6 \times 10^8$ t/ano são geradas por fontes antropogênicas, e destas, $7,2 \times 10^7$ t/ano são provenientes de aterros.

A realização de pesquisas científicas com o intuito de analisar, quantificar e proporcionar conhecimento e soluções a este problema, é de extrema importância para que possamos alcançar um modelo de sociedade com maior responsabilidade com o meio em que esta inserida, respeitando e buscando uma maior integração com o meio natural em que vivemos. Desta forma a quantificação precisa das concentrações da formação e da emissão de gases em uma leira de compostagem com aeração natural serve de fundamentação para a busca de práticas mais sustentáveis em nossa comunidade, avaliando de forma pontual e direta a dinâmica dos gases formados, e possivelmente consumidos dentro da leira de compostagem, bem como a contribuição da mesma nas emissões de metano para a atmosfera.

O trabalho também serve de suporte para uma maior compreensão em relação ao fluxo de ar, e conseqüente aeração da leira de compostagem estática, visando a otimização de tal processo. Neste sentido, procurou-se estudar formas de se evitar situações de anaerobiose e de tornar a tecnologia da compostagem mais eficiente do ponto de vista ambiental. Tentou-se inferir sobre características que possam ser aproveitáveis para efetivação de um processo aeróbio correto, onde ocorram emissões mínimas de metano por uma leira

3. OBJETIVOS.

Pelo acima exposto o trabalho realizado teve por objetivos o que segue.

3.1. Objetivo Geral

Verificar as concentrações dos gases CO_2 , CH_4 e O_2 e a temperatura no interior e no ar emitido por uma leira de compostagem de secção retangular, e com aeração natural,

3.2. Objetivo específico

- Medir as concentrações de gases no ar interno e emitido por uma leira de compostagem, procurando e justificando diferenças entre alturas e larguras dos pontos.
- Medir a temperatura em diferentes pontos internos da leira de compostagem, sugerindo o porque destas diferenças
- Elaborar um perfil de temperatura na leira, avaliando os ponto de maiores e menores temperaturas
- Fazer correlação entre os níveis de O_2 , CO_2 e CH_4
- Coletar e analisar dados de concentrações de metano no ar emitido por uma leira de compostagem, refletindo sobre a intensidade de poluição resultante desta tecnologia.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Compostagem

Um dos maiores desafios que encontramos hoje, na busca por um mundo ecologicamente sustentável é a adequada destinação dos resíduos sólidos que produzimos, é sabido que, com a tecnologia da compostagem é possível promover uma ciclagem da fração orgânica deste material, neste enfoque, Costa (1996) indica que fração orgânica do lixo corresponde a 45 a 60% do total, sendo que a maior parte não recebe os tratamentos adequados, sendo levado a aterros sanitários que não lhe dão a destinação correta.

Embora seja difícil sintetizar o que é exatamente a tecnologia da compostagem, pois são inúmeros os conceitos em relação a mesma, no momento creio que cabe destacar dois conceitos que melhor resumem o processo:

“O processo de compostagem pode ser definido como uma decomposição aeróbia e termofílicas de resíduos orgânicos por populações microbianas quimiorganotróficas” (Parr, J.F & Wilson, G.B 1980 , apud Inácio 2009)¹

Haug, (1993) entende que este processo (a compostagem) ocorre sob condições que permitam altas temperaturas, sendo resultado da decomposição biológica aeróbia de substratos orgânicos, alcançando um produto final estável para armazenar e aplicar sobre o solo, destacando ainda a inexistência de efeitos ambientais indesejáveis.

Destaca-se ainda, como coloca Inácio que, a compostagem é (e será) indispensável para o desenvolvimento sustentável, e que a literatura coloca inúmeros benefícios provenientes da tecnologia da compostagem, “o composto (...)é um valioso condicionador de solo, fonte de substâncias húmicas, e uma gama de nutrientes que proporcionam o crescimento das plantas na horticultura, fruticultura e jardinagem” (Inácio 2009). Para Brito (2009) a compostagem tem a capacidade de supressão de fitopatógenos que sobrevivem no solo. . Esta supressão pode ocorrer pela competição e/ou antagonismo dos microorganismos presentes no composto, como também pelos efeitos de suas propriedades físicas e químicas. O autor indica ainda que compostagem pode ser uma maneira de reduzir a disponibilidade de metais pesados presentes nos resíduos orgânicos, especialmente lodos de esgoto e outros tipos de lodos industriais. Soma-se aqui a colocação de Epstein (1997) de que a

¹ Esta citação de Parr, J.F. & Wilson , G.B. Esta citação esta originalmente em Cardoso, J.B.N.E., Tsai, S.M & Neves M.C.P; **Microbiologia do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1992. 360 p

compostagem não elimina esses elementos, tão pouco os perde de maneira significativa para o ambiente, mas diminui a possibilidade desses metais pesados ficarem disponíveis às plantas ou para a lixiviação em águas subterrâneas. Este efeito é devido a forte capacidade das substâncias húmicas, presentes no composto, formarem quelatos, ou simplesmente adsorverem estes materiais deixando-os indisponíveis.

4.2. Oxigênio e temperatura

Os microrganismos decompositores da matéria orgânica podem ser divididos em dois, de acordo com o seu tipo de respiração,

“pode-se classificar os métodos em aeróbios e anaeróbio. No primeiro procura-se garantir a presença de oxigênio no ar atmosférico, evitando-se a compactação da massa e o encharcamento(...) A decomposição aeróbia é caracterizada pela elevação da temperatura muito acima da reinante no ambiente e pelos tipos de gases que se desprendem, sendo o anidrido carbônico, inodoro o predominante; também na fermentação aeróbia a decomposição da matéria orgânica pode atingir a completa estabilização, o que não ocorre na anaeróbia (Kiehl 1985 p. 76)

Kiehl (1985 p. 116), recomenda ainda que:

“A compostagem deve ser feita em ambiente aeróbio, pois com a abundância do ar, a decomposição, além de ser mais rápida e melhor conduzida, não produz mal cheiro nem proliferação de moscas, o que constitui um fator estético para o local e recomendável para a saúde pública”.

Ainda sobre a oxigenação da leira, Rynk (1992) indica que para o processo de compostagem ser eficiente, os espaços porosos da leira devem ser ocupados por quantidades de oxigênio entre 5 e 10 %.

4.3. Metano e gás carbônico

“ em condições de anaerobiose, CH_4 é produzido a partir da degradação de lipídios solúveis, carboidratos, ácidos orgânicos e proteínas”
(Husted,1994; Khan ET AL...1997)

Para Inácio 2009, em concordância com (Sommer and Moller, 2000;Amon ET AL 2001 Sommer ET 2004), dois pontos cruciais na produção de CH_4 são a umidade contida e a porosidade da leira, pois em leiras bem aeradas a decomposição se dá de forma

predominantemente aeróbia, onde ocorre menor ou nenhuma emissão de CH₄ e maior emissão de CO₂.

Existem indicativos que o tamanho da leira influencia diretamente na formação de sítios de anaerobiose, e conseqüentemente da emissão de metano na atmosfera. Sobre isto Shiraishi ET AL 2005 diz que “quanto maior a largura da leira, mais CH₄ é gerado(...) em leiras menores, aeróbicas e anaeróbicas condições coexistem, resultando em menores concentrações de CH₄” e que, “diversos estudos demonstram que o número e o tamanho de sítios de anaerobiose são influenciáveis para a emissão de N₂O e CH₄”

Ainda segundo Shiraishi ET all, durante a compostagem de resíduos da pecuária, sem aeração forçada, sítios de anaerobiose se estabeleceram majoritariamente no centro da leira em relação ao topo, e também que, quanto mais largas as leira, maior o número e o tamanho dos sítios de anaerobiose. “com leiras pequenas, o tempo do período sobre condições anaerobioticas desaparece mais rápido do que em pilhas largas” (Haga et all 1998)

Outro recurso, citado na literatura para diminuir os sítios de anaerobiose, é a utilização de uma espessa camada de palha, que serve de estrutura, e para manter a boa aeração da leira, otimizando a circulação de ar, assim, “onde a utilização de palha é feita de forma ampla, as produções de CO₂ e CH₄ são reduzidas, enquanto que as concentrações de O₂ são maiores” (Manious, T; P.1096)

Em relação a formação de CO₂, vale ressaltar que esta acontece tanto em condições de aerobiose, quanto de anaerobiose, não sendo portanto um fator determinante para a avaliação de sítios de anaerobiose (como o metano o é)“ a produção de CO₂ resulta, em maior parte da oxidação de componentes de carbono facilmente degradados e conseqüentemente da natureza do substrato, oxigenação, umidade e atividade microbológica” (Andersson, 1996)

No estudo de Manious et all 2005 os resultados de emissão de CH₄ tem correlação com o tamanho das pilhas, e grande parte do CH₄ se concentra no centro das pilhas.

4.4. Leiras estáticas, revolvimento e fluxo de ar

Existe uma grande discussão entre os pesquisadores da tecnologia da compostagem em relação a necessidade ou não do revolvimento das pilhas de composto, isto está relacionado também ao formato das leiras, e a forma de aeração das mesmas. Em relação ao revolvimento, para Kiehl 1985, é indispensável, para a eficiência do processo o revolvimento das leiras, pois ao mesmo tempo que o revolvimento introduz novo ar rico em

oxigênio, libera o ar saturado em gás carbônico proporcionado pela respiração microbiológica. A importância desta renovação, esta em que, sem oxigênio na leira, ocorre fermentação anaeróbia, que leva a produção de CO₂ e metano.

Já Inácio (2009), sugere que a necessidade de se fazer o revolvimento da pilha de composto não se faz necessária quando esta garantido um fluxo de ar constante no interior da leira, pois, o oxigênio introduzido pelo revolvimento é rapidamente consumido pelos microorganismos, voltando após um breve tempo as quantidades de oxigenação anteriores ao revolvimento.

Entretanto, outros autores sustentam a idéia de que o revolvimento da leira é indispensável para se manter as perfeitas condições de aerobiose da leira, indo ao encontro desta idéia, ressalta-se “o revolvimento mensal da leira melhora a biodegradação e a movimentação de água no interior da leira” (Szanto, G.L.), em estudos a campo, Manious, T et al(2007) concluiu que “virar a pilha a cada 2 semanas, no estudo, pareceu ser adequado para evitar condições de anaerobiose”

Szanto et al, (2006) afirma que “a diminuição dos níveis de O₂ dentro da leira indicam que o sistema (sem revolvimento) tem mais regiões anaeróbias, o que se confirma pelas altas concentrações de CH₄” (Szanto et al, 2006; pag 2663). Em contrapartida, ao fazer suas pesquisa com reatores, Beck-Friss et al (2000), concluiu que “tanto as emissões de CO₂, quanto de CH₄ foram maiores nos sistemas de reatores do que no sistema de aeração natural”

O estudo de Szanto (2006), ao comparar leiras com revolvimento e leiras sem revolvimento obteve a seguinte conclusão em relação às temperaturas do processo“..em ambos os sistemas (com revolvimento e sem revolvimento), alcançaram uma máxima temperatura de 60°C depois de 7 dias no topo da leira de composto”, o que demonstra que em ambos os casos alcançou-se as temperaturas necessárias para as atividades termofílicas.

Os pesquisadores discutem também sobre as formas de se estruturar a leira de maneira que o fluxo de ar seja o mais eficiente possível. As leiras tendem a apresentar um formato piramidal, e em estudos mais recentes sugere-se que leiras retas e retangulares facilitam a circulação de ar, melhorando a oxigenação, e em muitos casos, dispensando os revolvimentos. Para melhor entender esta situação, vale ressaltar que, para Inácio (2009), as mudanças que ocorrem nas concentrações de O₂ em uma leira de compostagem são resultado da interação de dois fatores, são eles: O oxigênio utilizado pelos microorganismos e o oxigênio repostado pela movimentação da massa de ar (convecção).

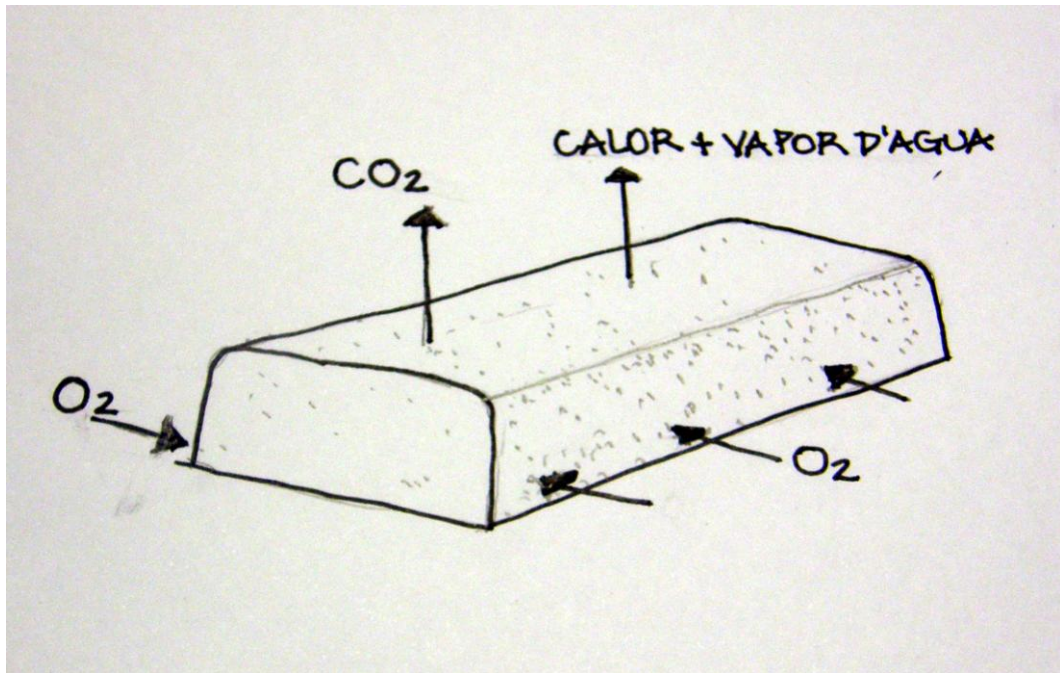


Figura 1. Fluxo de ar em leira. Baseado em: Inácio e Miller (2009)

Somam-se as características do formato da leira e de seu manejo, visando otimizar sua aeração, nesta linha “o manejo e a montagem da leira que promovem a correta aeração ainda são os fatores essenciais para a compostagem, incluindo arquitetura da leira, observação das características dos materiais e umidade”. (Inácio e Miller 2009), Neste contexto, Inácio ressalta ainda que a leira deve ser confeccionada de uma forma que a aeração natural seja suficiente e favorável à atividade microbiana termófila durante todo, ou pelo menos por grande parte do processo.

“O formato de leira piramidal, comum em sistemas com revolvimento mecânico em pátios, não contribui para a manutenção da aeração natural da leira, enquanto leiras com paredes retas são mais eficientes neste aspecto” (INACIO, 2009)

Como existe um aquecimento do ar interno da leira, o mesmo tende a subir por convecção, gerando um espaço vazio que será preenchido por um ar novo proveniente do ambiente externo, e portanto rico em oxigênio. Ressalta-se que a movimentação de ar e outros gases na leira de compostagem ocorre por convecção e difusão, sendo função:

- do diferencial de temperatura com o ambiente
- do fluxo de ar na superfície da leira
- da umidade

- da porosidade
- da ação microbiológica

4.5. Efeito estufa e a opção entre compostagem e aterros

“O Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa no Brasil, elaborado pela CETESB (2006), revela que as duas maiores fontes de produção de metano são os aterros sanitários e o tratamento anaeróbico de esgoto e águas residuárias. As emissões totais de metano provenientes do tratamento de resíduos totalizaram 803.000 toneladas em 1994 e destes a maior parcela (pouco mais de 84%) foi atribuída às emissões provenientes dos aterros.” (Dias 2009)

Neste contexto, “gases de efeito estufa e seus efeitos no meio ambiente terrestre tem levado a comunidade científica na direção de se aprimorar sobre, o que é e o que não é ambientalmente favorável” (Botskin and Keller, 1998 p. 282)

Dentre os principais gases que são responsáveis pelo aquecimento global, destacam-se o metano, o óxido nitroso e o gás carbônico, enfatizando-se que “N₂O e CH₄, juntos, são poderosos gases de efeito estufa (Houghton ET AL 2001). Para o IPCC, “O metano (CH₄) é um dos gases responsáveis pelo efeito estufa e possui uma ação 25 vezes maior do que o dióxido de carbono (CO₂) em relação à retenção do calor responsável pelo aquecimento estimado do planeta ao longo de cem anos (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007).

“A decomposição anaeróbica, ou seja, aquela que ocorre sob condições marcadas pela ausência de oxigênio, de matéria orgânica em lixos depositados em aterros sanitários é outro importante fonte de metano para o ar” (Baird 2002. p. 215)), sendo que os aterros são responsáveis por 10 a 20% das emissões de metano geradas pela atividade antropogênica (IPCC, 2007) e “...estas emissões contribuem para um grande numero de problemas ambientais” (El-ahraf and Willian 1996), pois “ a presença de zonas anaeróbicas pode resultar em emissões descontroladas de metano para o meio ambiente” (Szanto, 2006, p. 266)

Em aterros sanitários, o processo de decomposição dos resíduos orgânicos ocorre em fases, sendo que, de acordo com alguns autores, dentre eles ESMAP, 2004; QIAN; KOERNER; GRAY, 2002), a fase IV é onde se concentram as atividades metanogênicas, sendo que a emissão do metano pode durar por até 40 anos após o fechamento do mesmo

Para Inácio (2009), nos aterros sanitários o processo de anaerobiose faz com que a matéria orgânica passe por um processo de decomposição e fermentação, gerando vários

poluentes, sendo que, a metanogênese é um tipo de metabolismo microbiano complexo, estritamente anaeróbio, que reduz CO₂ a metano.

Segundo estudo de Stern e Kauffmann (1996) tem-se em ordem decrescente os maiores responsáveis pela emissão de metano antropogênica na atmosfera, como segue.

Criação animal > Arroz > Aterros sanitarios > mineração de carvão > queima de biomassa > queima e suprimento de gás natural

Conforme tabela abaixo, elaborada por Dias, observam-se os elevados valores das concentrações de metano e dióxido de carbono emitidas por um aterro sanitário.

	Tchobanoglous, Theisen e Vinil (1993)	Qian, koerner e Gray (2002)	Mcbean,Rovers e P Parquar (1995)
Metano	45-60%	45-58%	50-70%
CO ₂	40-60%	35-45%	30-50%
O ₂	0,1-1,0%	<5%	---

Tabela 1. Emissão de Metano, Dióxido de Carbono e Oxigênio, segundo diversos autores.

Fonte; Dias (2009)

Nas conclusões de seu estudo com aterros sanitarios, Dias encontrou valores das concentrações de metano e de dióxido de carbono muito próximo dos citados na literatura, respectivamente 57,3% e 43,0%.

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS:

O presente trabalho foi dividido em três etapas distintas. Na primeira, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, buscando rever o que já foi divulgado dentro da temática do trabalho. A segunda envolveu a obtenção de dados junto a compostagem do Aeroporto do Galeão, e a terceira por sua vez são as avaliações estatísticas e discussões dos resultados.

A primeira etapa, de busca de revisões bibliográficas relacionadas ao tema iniciou-se um ano antes da conclusão deste trabalho, e acabou poucos dias antes da entrega do mesmo, para tal foram consultadas diversas fontes, desde revistas e livros técnicos-científicos à artigos e sites especializados da internet.

A segunda etapa deste processo foi a coleta de dados a campo, para tal, eu tive que se deslocar até a cidade do Rio de Janeiro, onde, junto a Embrapa Solos e ao pesquisador Caio de Teves Inácio, participei no desenvolvimento da pesquisas para o projeto “Centro tecnológico de apoio ao desenvolvimento e difusão da compostagem e produção de adubos orgânicos para suporte ao empreendedorismo social” apoiado pela FAPERJ; Este projeto, que esta em fase de desenvolvimento visa incorporar os moradores da cidade em um programa de reciclagem de material orgânico, possibilitando uma dupla contribuição ambiental-social e econômica. De um lado diminuir as quantidades de lixo enviados ao lixões, e por outro lado ter como produto final, de baixo custo, um adubo orgânico de alto valor nutricional, para ser utilizado para a produção de alimentos orgânicos para os próprios moradores da localidade, utilizando-se para isto áreas comunitárias, servindo ainda de agente de coesão dentro desta comunidade.

5.1. Pátio de compostagem

Os trabalhos de campo se deram no pátio de compostagem (22°48’39’S e 43°14’40’O) localizado nas áreas adjacentes do Aeroporto Internacional Tom Jobim (Galeão). Este pátio, mesmo estando em uma área que pertence ao Aeroporto Internacional Tom Jobim , tem o serviço de compostagem propriamente dito realizado por uma ONG terceirizada, denominada “ONG do lixo”. Esta área é, além de um pátio de compostagem, uma usina de separação de lixo.. Na primeira, que esta situada em ambiente aberto e apresenta uma área de 4000 metros quadrados destina-se a compostagem. A segunda por sua vez esta situada em um galpão fechado de aproximadamente 1000metros quadrados, e é utilizada por uma usina de separação do lixo, que ali realizam as divisões dos diversos materiais para posterior venda.



Foto 1. Imagem de satélite da área do pátio de compostagem. Fonte: Google Earth

Todos os dados coletados foram retirados da leira identificada como a “leira de nº 10”. A referida leira, do tipo estática com aeração natural, foi elaborada com resto de palha, restos de comidas (provenientes das comissarias do aeroporto) e serragem de baias de cavalo. Esta leira tem aproximadamente 14 metros de comprimento X 1,2 de largura X 80 cm de altura..



Foto 2- Vista geral da leira de número 10



Foto 3- Depósito de palha a ser utilizada na confecção da leira.

Esta leira tem 6 meses de idade e está em plena atividade. A fase atual da leira é termofílica, e está sendo alimentada constantemente. Por semana é incorporada, em parcela única, uma quantidade que varia de 700 kg a 1000kg de resíduos orgânicos. Os principais resíduos depositados são cascas de frutas (batata, abóbora, laranja, etc.), “lavagem” de resto de comida e pães. Nota-se também quantidades significativas de materiais que não são biodegradáveis, como plásticos e viscoses (conhecido como “Perfex”) o que, devido a uma falta de controle na separação dos resíduos, termina por prejudicar a decomposição do material.



Foto 4- Depósito de serragem a ser incorporada na compostagem



Foto 5- Incorporação de resíduo orgânico (casca de laranja) na leira

A mão de obra das leiras é realizada por duas pessoas que são funcionárias da ONG. Uma destas pessoas se dedica mais ao manejo da leira propriamente dito e a outra trabalha mais especificamente com as coletas de dados e conseqüente elaboração de planilhas semanais.

5.2. Medição de concentração de gases e temperatura no interior da leira

As coletas foram divididas em 3 baterias, conforme segue:

1ª bateria: 24, 25 e 26 de março

2ª bateria: 08 e 09 de abril

3ª bateria 15 de maio

Em relação aos pontos de medição, assim podem ser explicadas:

As medições foram divididas em três alturas:

-20cm do solo,

-40 cm do solo e

-60 cm do solo.

E em três larguras: (Da parte externa para a interna)

- 10cm da lateral

- 30cm da lateral

- 60 cm da lateral, (como a leira tem aproximadamente 120cm este ponto é tido como o centro da leira), contabilizando 9 medições por repetição

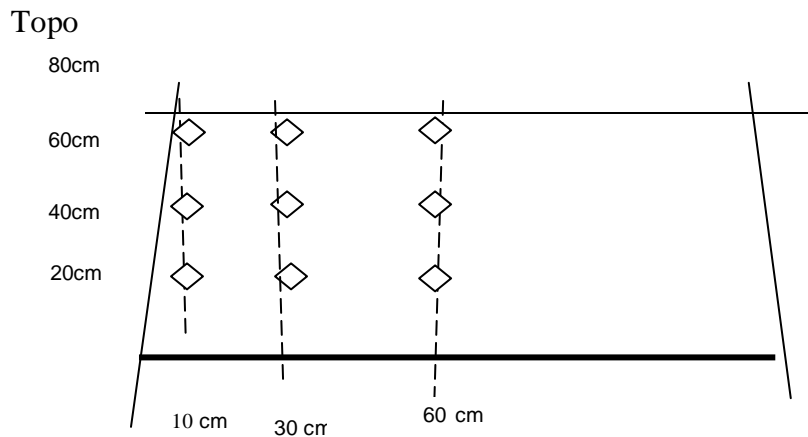


Figura 2: Corte transversal esquemático da leira, destacando os pontos de medições

As medições dos gases (O_2 , CO_2 e CH_4) foram realizadas com a ajuda de um aparelho Columbus Intar, que mede as porcentagens das concentrações de gases. Uma mangueira de 0,5 mm de diâmetro conectada ao aparelho Columbus, é inserida no ponto a ser medido, e através de um pequeno motor, o aparelho “suga” o ar da leira.

No interior do aparelho estão os medidores propriamente ditos, sendo a calibragem (que serve para posteriormente descontarem-se os valores de uma atmosfera “normal”) do CO_2 e do CH_4 deve ser feita em ambiente protegido e com auxílio de outros instrumentos. A calibragem do oxigênio (deve ser bem monitorada, uma vez que sofre alterações constantes) Um botão localizado na parte externa do aparelho calibra o O_2



Foto 6- Aparelho Columbu Intar, com mangueira conectada

Os dados de temperatura coletados foram realizados com o suporte de um termômetro E.P.I 2001, com 8 hastes de 80 cm de comprimento, onde internamente existe um circuito que, quando conectado a sua base (móvel) registra as temperaturas do ponto.



Foto 7: Ao centro, hastes do termômetro utilizadas para medição. Na parte inferior está a base móvel do termômetro

5.3. Medição da concentração de gases no ar emitido pela leira

Nas medições de concentração de gases para o “topo”, foi elaborado um aparelho do tipo “chaminé”, com tubo de PVC de 20 centímetros de diâmetro por 40 centímetros de altura, sendo que uma extremidade é aberta, e colocada nos 2 primeiros centímetros da leira

(após remoção prévia da camada superficial de palha. A outra extremidade é fechada, tendo apenas um pequeno furo onde colocou-se uma mangueira de 0,5cm, vedada com fita adesiva, por onde o ar interno é levado até o interior do aparelho para se obter os dados.



Foto 8- Aparelho do tipo “Chaminé”

Foram medidos os valores de CO_2 , CH_4 e O_2 a cada 2 minutos durante um período de 10 minutos, ao fim fez-se uma média dos 5 valores, e estabeleceu-se o valor da concentração de gases no ar proveniente do interior da leira. Neste ponto tenho uma autocrítica em relação a metodologia destas medições, problema que atinge muitos pesquisadores da área, pois devido as diferentes formas metodológicas fica mais difícil comparar estudos. No meu caso devido a problemas de tempo e financeiros foi feita a medição apenas de concentração de gases, e não de fluxo de saída, como imagino que seja mais eficiente.

Retirou-se também medidas de temperatura a 5cm, a 30cm e a 60cm de profundidade.

Esta coleta de dados foi realizada em dois pontos no topo da leira, a 30cm da base lateral e a 60cm da base lateral. Para se ter resultados que desprezem as contribuições das concentrações normais dos gases na atmosfera, foi feita uma média dos dados coletados na atmosfera em todos os dias, este valor foi descontado dos valores lidos no interior da leiras, para que os resultados não sejam influenciados pelo ar atmosférico.

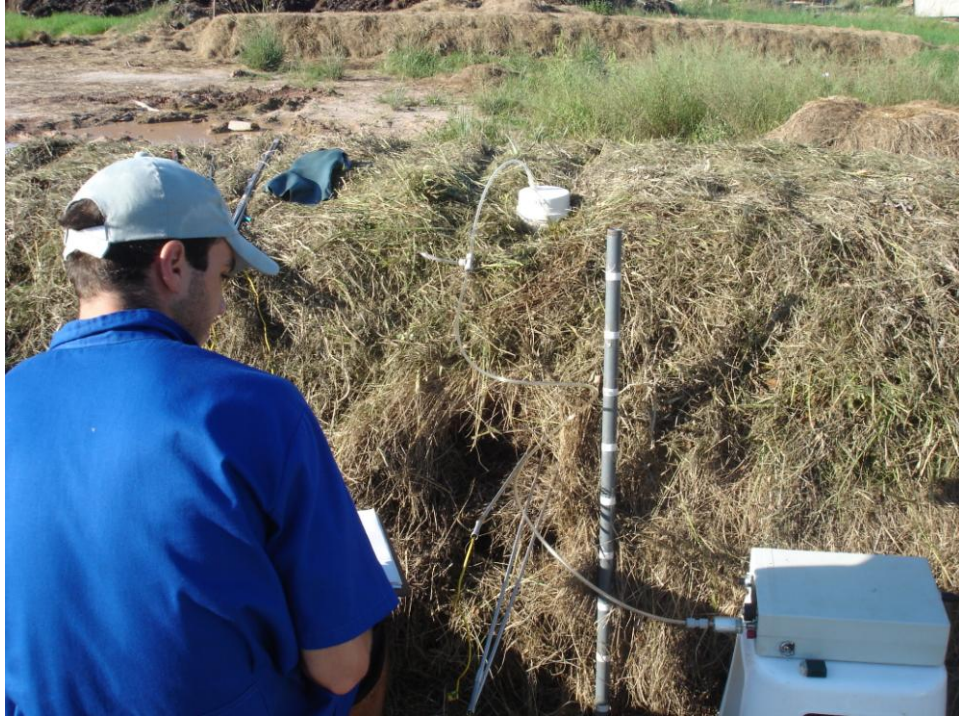


Foto 9- Medição das emissões dos gases no topo

6. RESULTADOS:

A partir dos dados coletados, foi elaborada a Tabela 2, onde estão colocadas:

- média e desvio padrão das concentrações de oxigênio nas três alturas (20 cm, 40 cm e 60 cm), e nas as três distancias da parede lateral (10 cm, 30 cm e 60 cm).
- média e desvio padrão das concentrações de dióxido de carbono nas três alturas (20 cm, 40 cm e 60 cm), e sob as três distancias da parede lateral (10 cm, 30 cm e 60 cm).
- média e desvio padrão das concentrações de metano nas três alturas (20 cm, 40 cm e 60 cm), e sob as três distancias da parede lateral (10 cm, 30 cm e 60 cm).
- média e desvio padrão temperaturas nas três alturas (20 cm, 40 cm e 60 cm), e sob as três distancias da parede lateral (10 cm, 30 cm e 60 cm).

Altura	D.P.L.*	Média Geral							
		n=19							
	cm	O ₂		CO ₂		CH ₄		Temperatura	
		Média	D.P.	Média	D.P	Média	D.P	Média	D.P
60	10	18,7	1,6	3,1	2,7	0,2	0,1	53,6	6,7
	30	13,3	4,6	11,1	6,5	2	3,2	61,9	4
	60	9,1	5,6	17,8	8,5	6,8	5,8	61,1	3,2
40	10	18,1	1,9	3,4	2,8	0,5	0,6	49,3	5
	30	13,6	3,7	8,2	5,7	2,4	4,7	57,4	3,4
	60	8,2	6,3	19,2	12,9	14	14,1	56,2	3,4
20	10	18,8	1,1	2,7	2,5	0,3	0,2	42,5	4,8
	30	15,3	2,9	7,3	4,5	1,5	1,7	49,7	3,8
	60	8,7	5,1	19,7	10,1	15,1	12,3	50	2,6

Tabela 2. Média geral e Desvio Padrão da concentração dos gases na leira (* Distancia da Parede Lateral)

6.1. Oxigênio

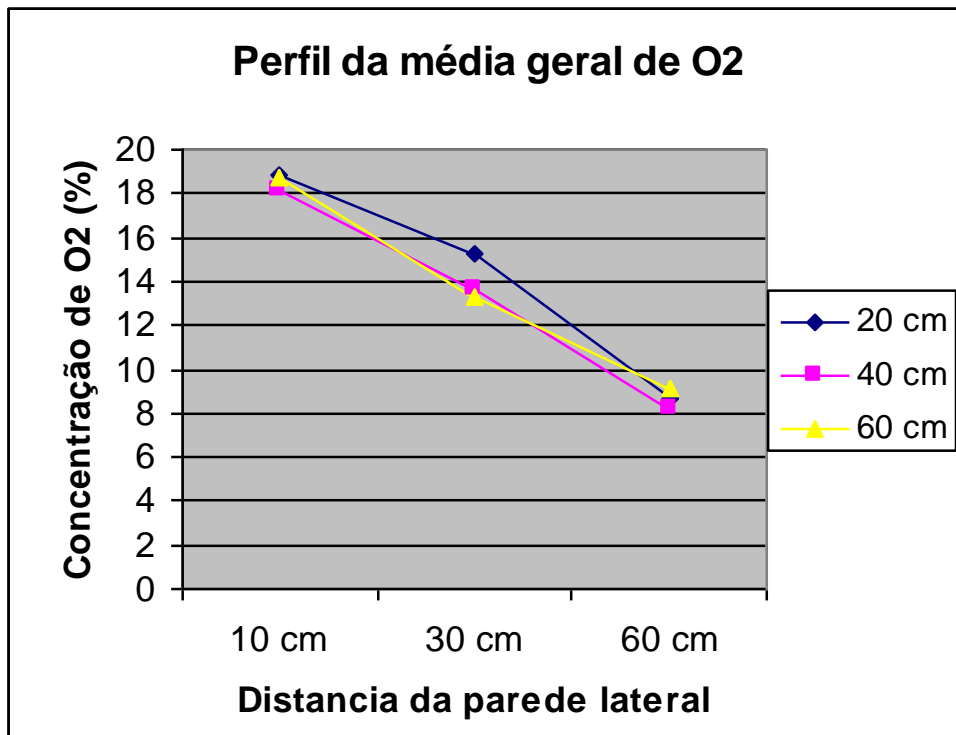


Gráfico 1. Perfil da média de O_2 na leira nas alturas de 20, 40 e 60 cm em profundidades de 10, 30 e 60 cm.

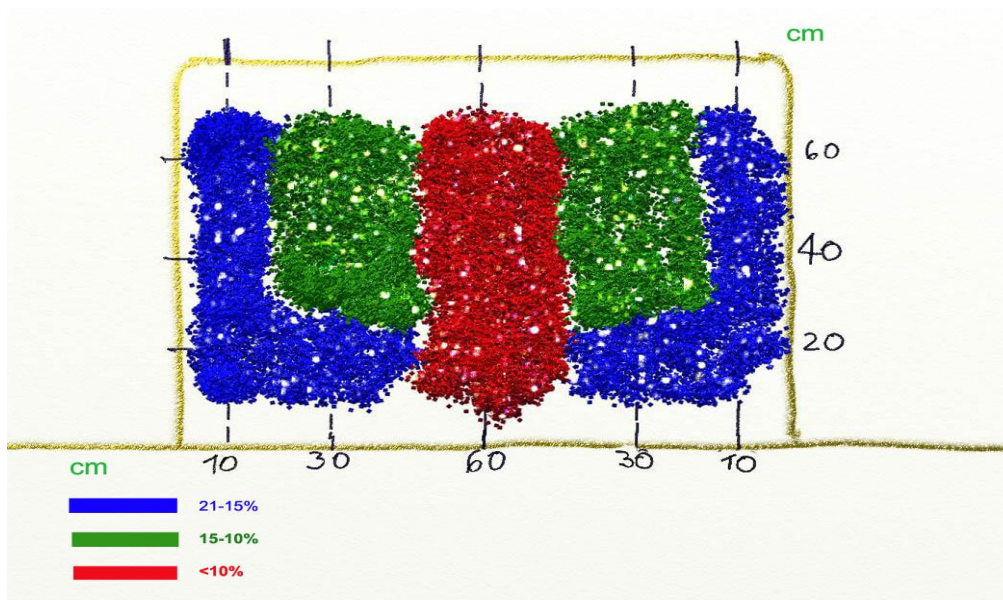


Figura 3. Corte transversal esquemático, mostrando a distribuição das concentrações de Oxigênio no interior da leira, a partir das medições realizadas

Para tornar as explicações mais compreensíveis, de forma simples, Randle & Flegg 1978 colocam que

“se a concentração de O_2 cai, isso indica que o O_2 esta sendo utilizado de forma mais rápida do que pode ser reposto pela convecção ou difusão; o oposto, quando o O_2 aumenta, então a taxa de reposição esta excedendo a de utilização. Se o O_2 se mantem constante a uma dada concentração, então o equilíbrio entre a taxa de utilização e a taxa de reposição”

O gráfico 1 demonstra que, a uma Distancia da Parede Lateral (DPL) de 10 cm os níveis de concentração de O_2 estão muito próximos aos níveis atmosféricos (20,9%), e, conforme adentra-se na leira nota-se uma queda significativa dos níveis de oxigênio, chegando a valores abaixo de 10% à 60 cm, valor este que é tido como o ponto em que iniciam-se condições de anaerobiose mais intensas, proporcionando um “boom” nos valores de CH_4 .

Nos pontos situados a 30 cm observa-se concentrações próximas a 15%, valor este que é tido como muito bom para as atividades metabólica dos organismos termofílicos. Soma-se a isto que “Nos solos, condições aeróbias e anaeróbias podem coexistir com certa proximidade e a matriz do composto pode exibir a mesma variação em microsítios por razões similares” (Mille, 1993), ou seja, independente dos valores das concentrações dos gases, tanto sitios aeróbios quanto anaeróbios coexistem.

Em síntese, pode-se dizer que os valores coletado vão ao encontro dos dados coletados na bibliografia: “a pilha de composto apresenta variáveis porcentagens de oxigênio no ar encontrado em seu espaços vazios; a camada mais externa,; que reveste a pilha, geralmente contem de 18% a 20% de oxigênio, quase tanto quanto no ar atmosférico, cujo conteúdo gira em torno de 21% em volume; caminhando-se para o interior da pilha, o teor de oxigênio vai baixando e o de gás carbônico se elevando(...) considera-se que na fase termófila o conteúdo minimo de oxigênio deve ser de 5% para garantir a decomposição aeróbica; todavia já se encontrou no centro da pilha de composto teor de oxigênio igual a 0,5% sem que houvesse sintomas de anaerobiose” (Kiehl 1985), corroborando com esta conclusão tem-se o estudo de Szanto, onde é colocado que “a diminuição de O_2 foi acompanhada pelo implemento de CO_2 ”

6.2. Metano e gás carbônico

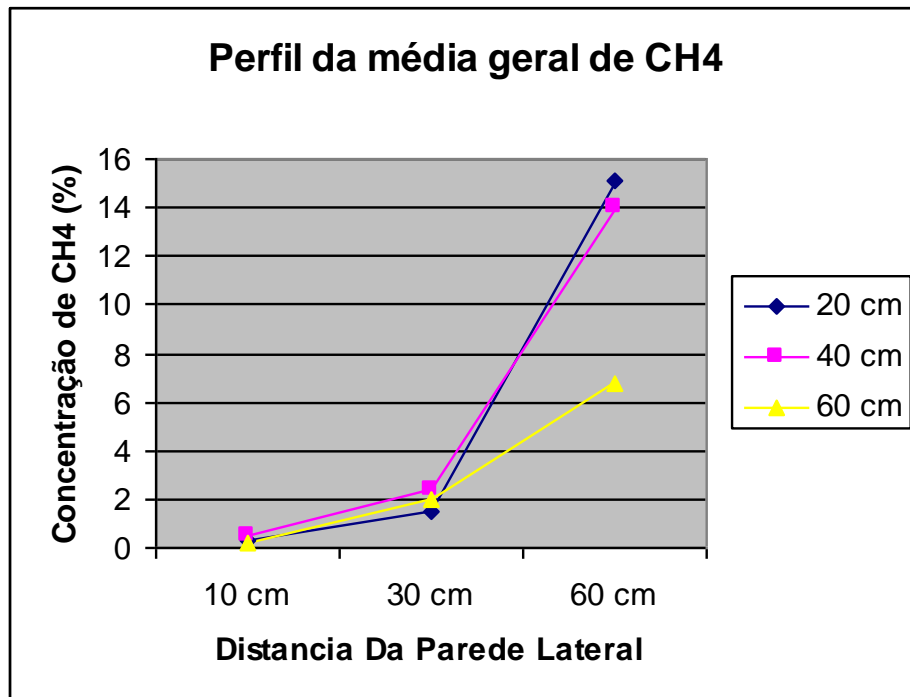


Gráfico 2. Perfil da media geral de CH₄ na leira. nas alturas de 20, 40 e 60 cm em profundidades de 10, 30 e 60 cm.

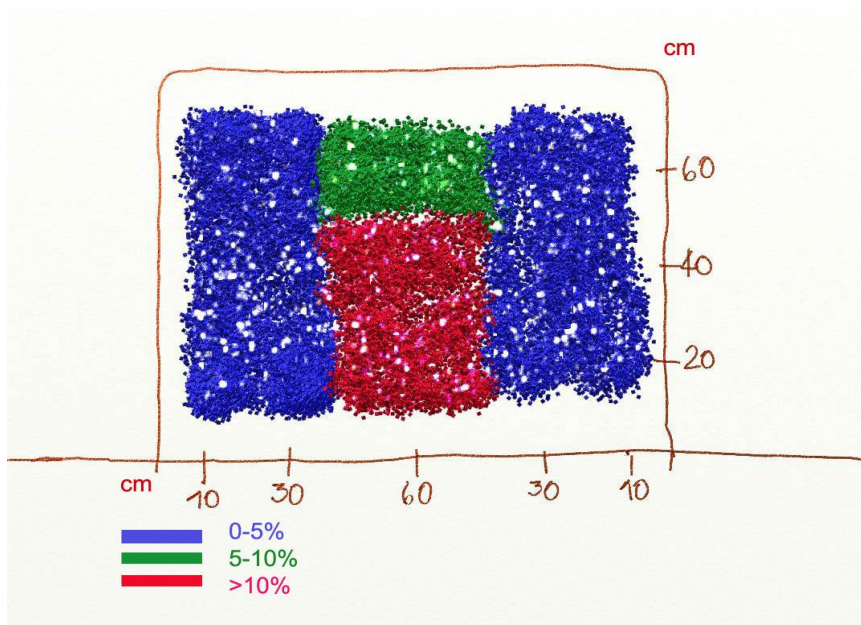


Figura 4. Corte transversal esquemático, mostrando a distribuição das concentrações de metano no interior da leira, a partir das medições realizadas

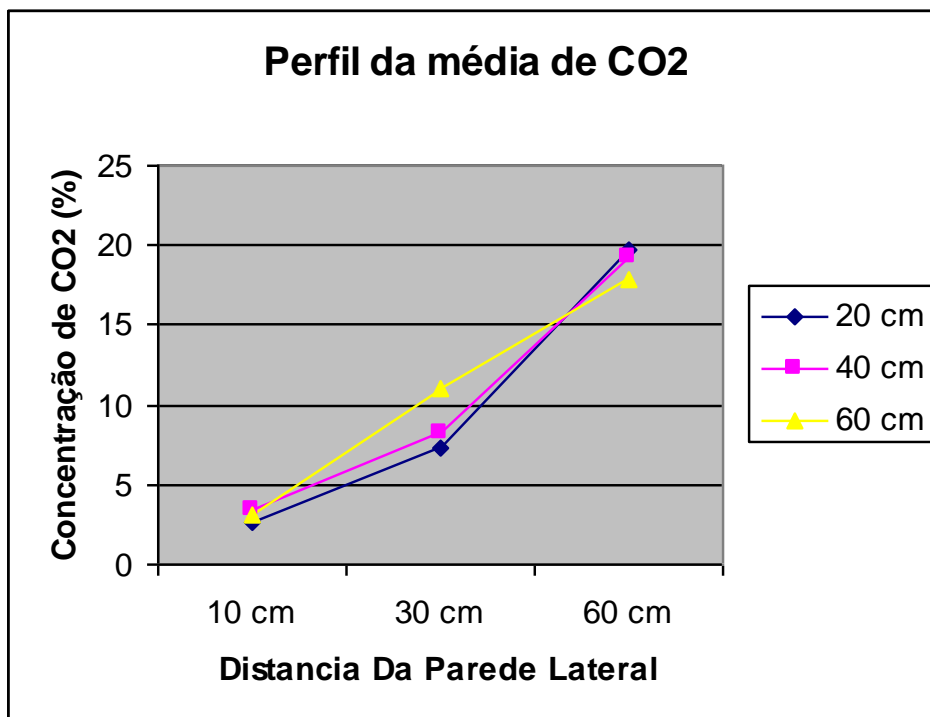


Gráfico 3. Perfil da media geral de CO₂ na leira. nas alturas de 20, 40 e 60 cm em profundidades de 10, 30 e 60 cm.

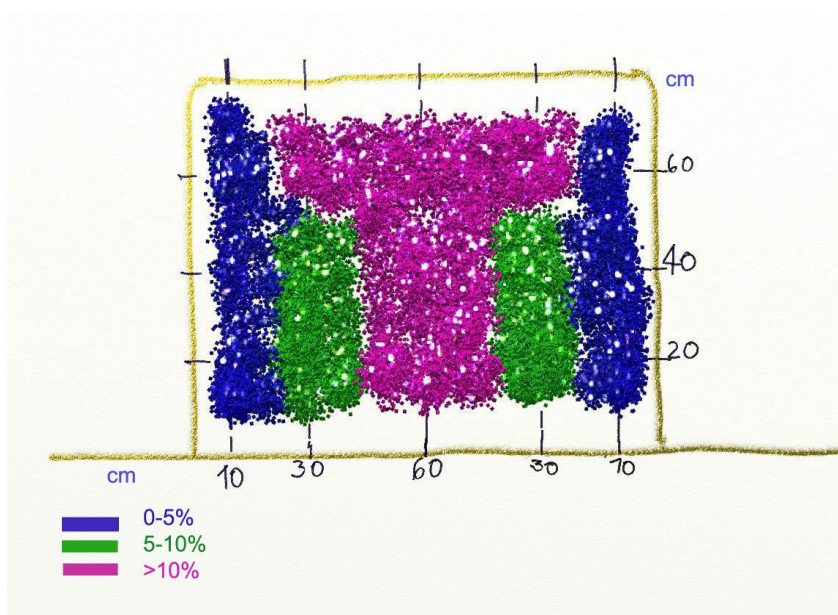
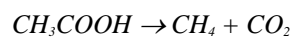


Figura 5. Corte transversal esquemático, mostrando a distribuição das concentrações de gás carbônico no interior da leira, a partir das medições realizadas

Observando-se os valores das concentrações de CH₄ e de CO₂, observa-se que os dados seguem os padrões (no sentido oposto), dos valores de O₂, uma vez que, nos pontos próximos a 10 cm os valores estão baixos, em contrapartida aos altos valores de O₂ sendo

que, quando se analisa os pontos mais internos nota-se um acúmulo constante nas concentrações destes gases (principalmente CO₂). Entre os 30 cm e os 60 cm ocorre um “boom” nas concentrações, o que pode ser um indicativo que confirma a teoria de que quando os valores de oxigênio são menores que 10%, existe um ponto crítico de anaerobiose.

Condições de anaerobiose geram a proliferação de microorganismos metanogênicos, que para sua sobrevivência consomem moléculas de carbono tendo como produto final desta reação moléculas de metano e de dióxido de carbono conforme equação abaixo.



É interessante salientar que, no gráfico de metano os valores crescem muito expressivamente após os 30 cm, enquanto que os de CO₂ existe uma ascensão mais constante. No meu entender, isto se deve ao fato de que aos 30 centímetros a respiração microbológica é predominantemente aeróbia, que, embora não produza metano, produz dióxido de carbono. Portanto a respiração aeróbia é a responsável por este acréscimo de concentração de CO₂. Aos 60 cm os valores de gás carbônico e também de metano são mais influenciados por reações anaeróbias, que produzem grandes quantidades de metano, mas também produzem CO₂

6.3. Temperatura

“muitos autores tem demonstrado que a taxa de atividade microbiana na compostagem decresce a temperaturas acima de 60° C e que taxas ótimas de decomposição ocorrem entre 50-60° C, e que o máximo absoluto alcançável na compostagem é de aproximadamente 82° C” (Miller, 1993)

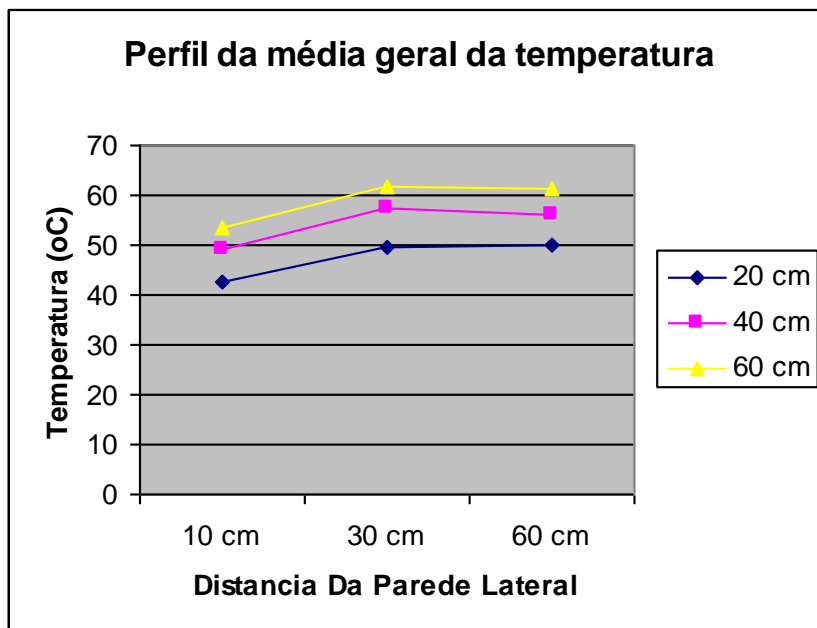


Gráfico 4. Corte transversal esquemático, mostrando a distribuição temperaturas no interior da leira, a partir das medições realizadas

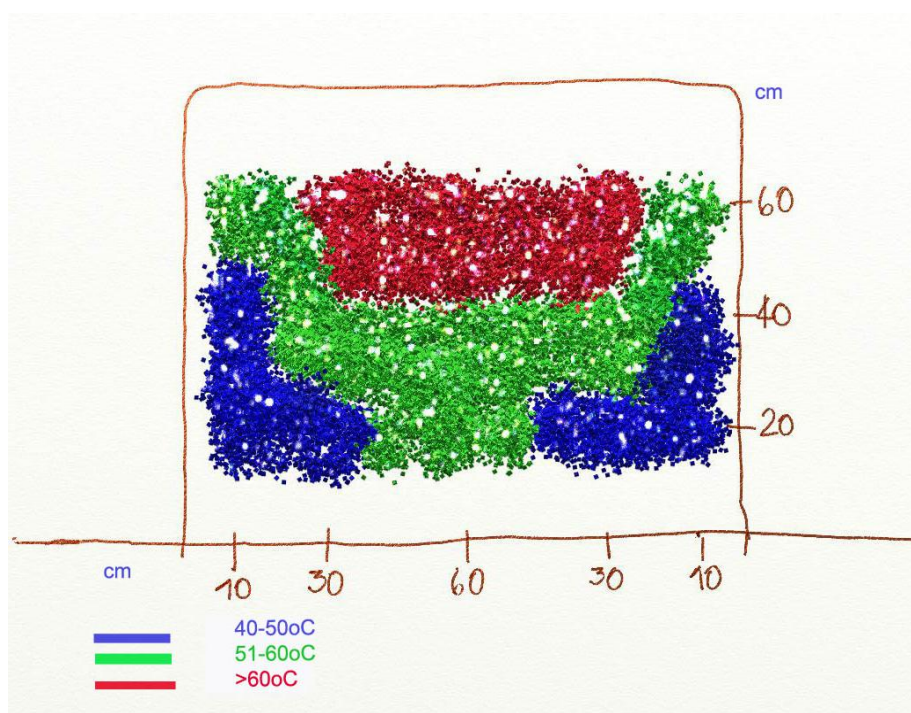


Figura 6. Corte transversal esquemático, mostrando a distribuição das temperaturas no interior da leira, a partir das medições realizadas

6.3.1. Diferenças de altura

Existe diferenças de temperatura, tanto em relação as diferentes alturas quanto em relação as diferentes larguras, em relação as comparações entre as diferentes alturas notou-se que nas medições feitas em alturas mais elevadas, foram registradas maiores

temperaturas, devido a uma intensa produção de calor no interior da leira, decorrente da ação microbiológica na degradação do resíduo orgânico. Como subproduto de sua respiração (tanto aeróbia quanto anaeróbia), ocorre um aquecimento no interior da leira, e com este aquecimento, a massa de ar tem a tendência de subir (devido a menor densidade), levando este ar quente a maiores alturas, que por condução aquece este ambiente ao redor. Soma-se a isto o fato de que, devido a baixa condutividade térmica dos materiais envolvidos no processo, principalmente a palha, este calor não conseguir “escapar”, ficando o mesmo retido nesta área superior.

6.3.2. Diferenças de “distância da parede lateral” (DPL):

No que diz respeito as diferentes temperaturas em diferentes larguras, evidenciou-se que no ponto mais externo da leira observa-se invariavelmente uma menor temperatura em relação aos pontos do interior da leira. Isto se deve ao fato deste ponto ter uma maior influência do ambiente externo. Assim como a temperatura ambiente é sempre menor que a temperatura interna, ocorre uma perda de calor por condução, de dentro para fora, resfriando assim estes pontos externos. Devido ao fluxo de ar que existe na leira de compostagem, ocorre uma entrada de ar constante na mesma, este ar ao entrar apresenta uma temperatura mais baixa que o interior da leira, servindo para o resfriamento desta. Ao chegar no miolo da leira este ar já foi esquentado e diminui este efeito de resfriamento.

Em relação aos pontos internos, os dados demonstraram uma diversidade de situações (como me foi permitido apenas divulgar os dados de média, não foi possível visualizar todas as variações). Entretanto pode-se observar uma tendência de que nos pontos próximos a profundidade de 30cm é onde ocorrem as maiores temperaturas, sendo que a partir deste ponto ocorre sutil queda de temperatura,. Este fenômeno pode ser explicado pelo possível início de uma decomposição anaeróbica a partir desta profundidade, explicada pela dificuldade do oxigênio penetrar nesta massa de composto. Observou-se que, a partir de 30cm devido a uma possível ausência de oxigênio, os microorganismos passam a degradar o resíduo orgânico a partir de um processo anaeróbio, mesmo que este processo tenha como subproduto a produção de calor, este calor produzido nestas condições não é tão significativo quanto o calor produzido em condições aeróbias.

Como esta condição de anaerobiose não é regra dentro do processo de compostagem (muito pelo contrario, ela deve ser evitada) muito embora seja frequente, explica-se as tantas variações das temperaturas nas profundidades, as vezes o miolo mais quente e as vezes o miolo mais frio.

Outra possibilidade que pode ocorrer, é que, como a leira tem aproximadamente 1,20 m, existe a possibilidade de que o ponto que esta a 60 cm seja influenciado pelo ar que entra pelo outro lado da leira, resfriando-o.

Entretanto de forma simples, o estudo confirma o que já foi citado na literatura, como exemplo: “as diferenças de concentração de O₂ são mais expressivas entre as distancias longitudinais do que transversais na leira de compostagem e pode-se esperar que cerca de 86% do volume da leira mantenha mais de 5% de O₂ ao longo de um processo que não usa revolvimentos” INACIO 2009

6.4. Correlações

6.4.1. Correlação CO₂ e O₂:

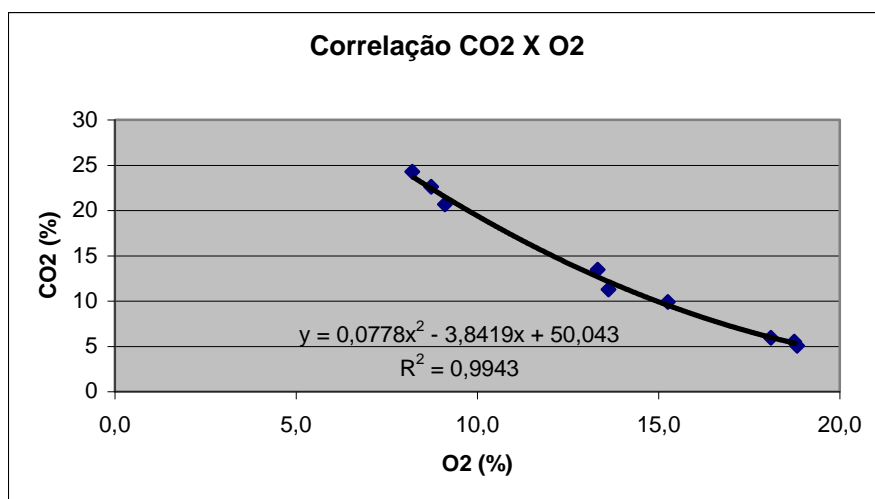
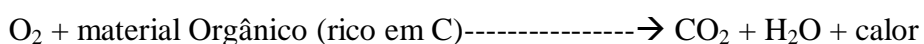


Gráfico 5. Correlação das concentrações de Gás Carbônico e Oxigênio na leira.

A partir da análise do gráfico de correlação entre o oxigênio e o dióxido de carbono, e da linha de tendência exponencial fica nítida que existe uma correlação muito clara entre elas, pois como os microorganismos decompositores da matéria orgânica são aeróbios. Observa-se isto a partir da reação seguinte, que caracteriza a respiração aeróbia.



Os microorganismos utilizam o O₂ presente dentro da leira para sua respiração. Diminuindo as concentrações destes gases, como resultado desta respiração ocorre a produção de CO₂, ou seja os dois estão intimamente ligados, entretanto vale ressaltar que, a produção de CO₂ não é exclusiva da respiração aeróbia, pois em casos em que ocorra um

processo anaerobiótico, existe também a produção de CO₂, todavia sem haver o consumo do O₂(pois este não existe, ou existe em baixas concentrações).

6.4.2. Correlação CH₄ e CO₂

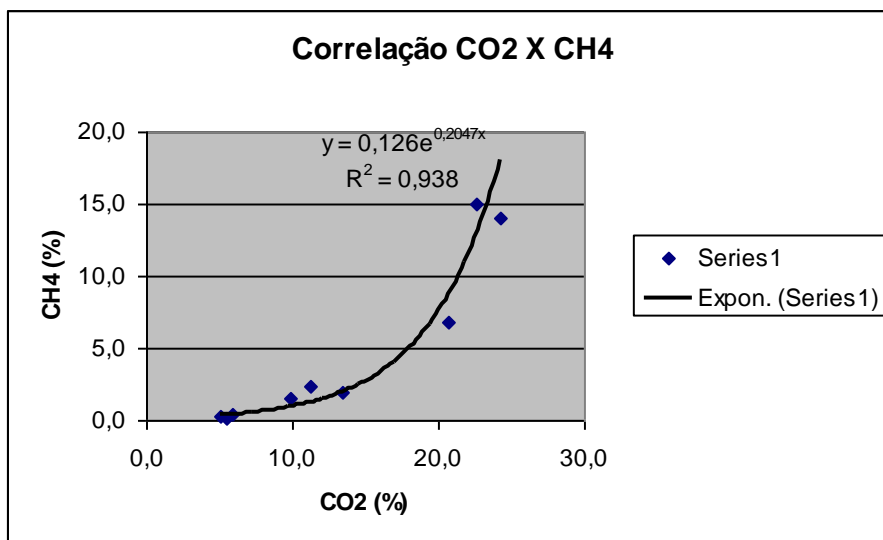


Gráfico 6. Correlação entre as concentrações de Metano e de Gás Carbônico na leira. Elaboração do autor.

A partir do gráfico e do valor de R², bem como da dispersão dos pontos, nota-se que existe uma correlação entre os valores de CO₂ e os valores de CH₄. Entretanto tal correlação é mais estreita quando os valores são baixos, ou seja em condições aeróbias, onde não ocorre tanta produção de metano. A partir do momento em que verifica-se condições anaeróbias, os pontos demonstram uma tendência de se distanciarem da reta exponencial.

Como a produção de metano, assim como a produção de dióxido de carbono são resultado da respiração de microorganismos degradadores de matéria orgânica, e admitindo-se que a leira é uma fonte riquíssima de matéria orgânica, é de se esperar que estes dois parâmetros tenham correlação, uma vez que, quanto maior a produção de CO₂, maior a produção de metano.

O único caso possível de não se verificar tal situação seria o caso em que a leira esteja perfeita, ou seja, sem locais de degradação anaeróbia (única condição em que se verifica a produção de metano), muito embora os dados demonstrem que, em maior ou em menor escala, em todas as repetições foram encontradas pontos com características anaeróbias, o que sugere que tal correlação tem embasamento teórico.

6.4.3. Correlação O₂ X CH₄

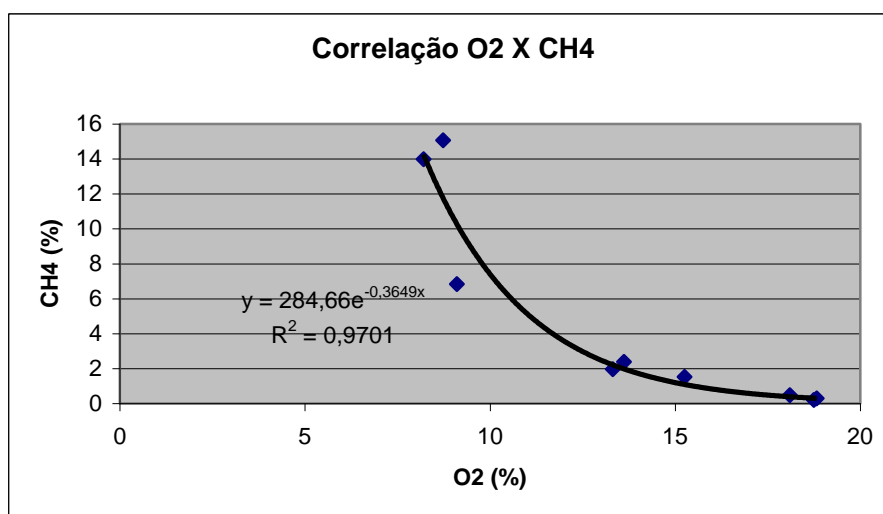


Gráfico 7. Correlação entre as concentrações de Oxigênio e de Metano na leira. Elaboração do autor.

Este gráfico demonstra exatamente as condições de anaerobiose que existem no composto, pois como já foi dito anteriormente, a única situação em que microorganismos metanogênicos tenham condição de sobreviver é sob anaerobiose. Isto fica evidente ao se interpretar o gráfico, em pontos em que os valores de O₂ são próximos ao da atmosfera normal (20,9%), os valores de metano se situam em níveis baixos, normalmente próximos aos valores da atmosfera (0,1%). Ressalta-se que, neste caso é o metano que é dependente do oxigênio, e não o oposto, pois a ÚNICA situação em que se produz metano são em baixas concentrações de O₂. Com a diminuição dos valores de O₂, seja pelo seu consumo pelos microorganismos, ou seja pela falta de fluxo de ar e porosidade, os valores de metano vão se elevando. Conforme consta na literatura, é a partir da concentração de oxigênio de aproximadamente 10% que ocorre uma “explosão” de anaerobiose, conseqüentemente de metano também nos valores de CH₄, o que fica visível no gráfico.

6.5. Nível da concentração dos gases no ar emitido pela leira.

Médias e desvios padrão geral						
D.P.L*	O ₂ (%)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	CH ₄ (%)
	Média	D.P	Média	D.P	Média	D.P
30 cm	18,7	1,12	5,6	1,12	0,24	0,1
60 cm	18	1,52	6,7	2,04	0,64	0,68

Tabela 3. **Emissão de concentrações de gases(TOPO).**

- D.P.L. Distância da parede lateral

Os valores das concentrações de CH₄, destacados em vermelho na tabela n° 3 representam as concentrações de metano no ar que está sendo emitido pela leira 10, bem como seus respectivos desvios padrão. Os dados da parte superior fazem referencia a 30 cm da lateral, ja os da parte inferior se referem aos dados coletado a 60cm da lateral, ou seja no centro da leira, ambos no topo da leira, uma vez que a maior parte das perdas de gases se da no topo, e não nas laterais da pilha, devido ao fluxo de ar.

Observou-se que a 60cm ocorreu uma maior concentração de metano no ar emitido na para a atmosfera. Creio que isto se deva ao fato de, com o fluxo de ar maior que ocorre no interior da leira ocorra uma maior concentração de gases no centro da leira, consequentemente as quantidades de concentração de metano serão maiores, ou seja, com a entrada de ar novo proveniente do ambiente externo, o ar interno que esta cheio de metano passa a ter um fluxo em direção ao centro e posteriormente ascendente, gerando um aumento nos valores quando estes medidos no topo a 60 cm. Soma-se ainda a isto, que de acordo com os dados discutidos no capítulo 6.2, a concentração de metano à 60 cm de distancia da parede lateral no interior da leira é muito maior que À 30 cm. No caso do topo a 30cm, ocorre ainda que, este novo ar que penetra na leira chega a esta profundidade antes de chegar aos 60cm, ou seja, o mesmo esta mais “limpo”, pois passou em um menor volume de leira para se “contaminar” com o metano.

Há indícios de que, por não se tratar de valores absolutos, e sim de porcentagens ocorre uma “diluição” dos valores de metano quando se fala da concentração na emissão dos mesmos, uma vez que, por mais que existam pontos de grande concentração de metano, estes são localizados, e, com a circulação de ar se dispersam neste novo ar pobre em metano. Entretanto creio que a influência deste fenômeno não é expressiva, sendo o consumo de

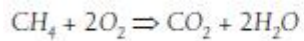
metano por microorganismos, o maior fator de contribuição para a diminuição dos níveis de concentração de metano.

Vale lembrar que, no interior da leira não existem apenas os microorganismos metanogênicos (produtores de metano), mas existem também os microorganismos metanotróficos, ou seja, aqueles microorganismos que se utilizam do metano para a sua sobrevivência, portanto é possível que, por mais que haja uma produção de metano em uma leira estática com aeração natural, o mesmo pode ser consumido na própria leira, diminuindo em muito a sua emissão ao ambiente e conseqüentemente amenizando os problemas de contribuição ao efeito estufa decorrentes do processo de compostagem. Cabe ainda ressaltar que, estes dois grupos de microorganismos ocupam espaços e tem necessidades muito distintas dentro do complexo biológico da leira, neste contexto alguns autores podem melhor explicar este fenômeno.

Neste enfoque, procurei fazer uma comparação entre as concentrações de oxigênio e o metano, buscando respostas para a diminuição de suas concentrações nas partes mais altas da leira. À 20 cm do solo, os valores das concentrações de CO₂ e metano são de aproximadamente 1:1 (19 e 15% respectivamente). Quando nos aproximamos da altura de 60 cm esta proporção sobe para 2,5:1 (15,8 e 6,8% respectivamente), e por fim, no topo tal a proporção sobe drasticamente para valores acima de 10:1 (7 e 0,6%)

Este aumento significativo das proporções de dióxido de carbono sobre metano nos leva a compreender que, a idéia de uma simples “diluição” nas concentrações dos gases tende a ser equivocada, pois, se assim fosse, ocasionaria uma diminuição mais homogênea entre os dois gases. Por isto, sugere-se que a diminuição evidente das concentrações de metano entre os níveis baixos e o topo da leira se deu por algum outro motivo. Creio, portanto que este motivo seja o consumo de metano por microorganismos metanotróficos, conforme o ar se vai subindo no perfil da leira, somado a entrada de ar com oxigênio, estes microorganismos consomem o metano, liberando ainda mais o CO₂ (portanto interferem duplamente no aumento da proporção, visto que além de consumirem o metano, produzem o CO₂).

Em relação a diminuição das concentrações de metano devido a atividade metanotrófica destacam-se os seguintes autores: “A oxidação biológica do gás metano acontece através da ação de bactérias metanotróficas que são capazes de utilizar o metano como fonte de carbono e energia, principalmente quando próximo à superfície, onde existe um aporte maior de oxigênio” (PELMONT, 1993).



Equação 1

A utilização do metano pelas bactérias metanotróficas como fonte de carbono e energia é possível devido à ação da enzima metano monoxigenase que oxida o metano produzindo metanol com geração de duas moléculas de água. O metanol produzido é transformado em formaldeído, o qual é depois assimilado em diferentes rotas.

Em síntese, quando comparamos as concentrações de metano no ar emitido da leira e no seu miolo (60 cm DPL) com altura de 20cm do solo, notamos que a concentração no ar emitido apresenta apenas 5% daquele registrado no interior da leira. Isto se deve, principalmente, a dois fatores. O primeiro, mais influente, é o consumo de metano pelos organismos metanotrópicos, que sob condição de aerobiose obrigatória irão degradar as moléculas de metano, produzindo gás carbônico e água, reduzindo as concentrações de metano. O segundo, menos influente, é a renovação do ar que entra pelas laterais, que provoca uma “diluição” do metano.

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos, nos possibilitou realizar algumas análises que levam a algumas tendências observadas no processo de compostagem termofílico com aeração natural, como o estudo foi realizado em apenas uma leira, a falta de maiores informações dos dados prejudicou a conclusividade dos mesmo mais conclusivos, uma vez que o numero de amostras e repetições foram limitados

É fato também, que, devido normas internas da EMBRAPA, não tive a possibilidade de divulgar todos os dados que foram coletados, possibilitando-me a divulgação de apenas uma bateria de dados coletados, entretanto procurou-se que, a bateria de divulgação fosse a que mais se aproxima das médias gerais, buscando uma maior coerência nos dados.

Como aspectos mais relevantes destacam:

- A diminuição da aeração nas diferentes D.P.L se deve ao fato de haver um consumo continuo deste oxigênio pelo microorganismos mais próximos a área externa, o que resulta que, ao chegar ao centro este ar novo já esta extremamente empobrecido de oxigênio. Soma-se a isto o fato de em muitos casos haverem dificuldade de circulação do oxigênio no interior da leira, seja por problemas referentes a porosidade, ou ao encharcamento por água (o que satura os poros e impede a entrada do ar). Ou seja, invariavelmente os pontos externos terão concentrações de oxigênio maiores que os pontos internos.
- Ficou evidente que os valores de metano e de dióxido de carbono são inversamente proporcionais aos de oxigênio, sendo que em pontos (principalmente os internos) em que os valores de O_2 são mais baixos, os valores de CO_2 e de metano são maiores, o que vai ao encontro dos dados citados em bibliografia. Pode-se observar que, mesmo em condições perfeitas (aerobiose) a produção de CO_2 é muito inferior a produção do mesmo sob condição de anaerobiose. Em relação ao metano, este é produzido apenas sob a segunda condição.
- Existe correlação inversa entre os níveis de O_2 e CH_4 , pois condições de anaerobiose só se configuram, obviamente na falta de oxigênio.
- Existem correlações entre os níveis de O_2 e de CO_2 , pois para haver degradação biológica pelos microorganismos, faz-se necessária a presença

do oxigênio, e esta degradação tem como um dos produtos finais o CO_2 , o que também vai ao encontro do que é colocado na literatura.

- Não existem correlações entre os níveis de O_2 e de temperatura, no meu entender devido ao tamanho e portanto complexibilidade da dinâmica de gases e calor dentro dela, sendo que um ponto interfere diretamente nos outros, principalmente no que diz respeito a temperatura e o poder tampão.
- Sugere-se que, existe um consumo de metano por microorganismos metanotróficos, que colaboram na diminuição de até 95% nas concentrações destes gases quando comparadas áreas internas na base da leira e no ar emitido pela mesma.



Figura 7 . Fluxo de ar na leira de compostagem

A figura 7 procura demonstrar visualmente os resultados obtidos na pesquisa, onde a entrada de ar pelas laterais se dá de forma muito semelhante nas 3 alturas analisadas, sendo que as três contribuem de forma semelhante na oxigenação da leira.

A degradação microbiológica,(influenciada pela presença ou ausência de oxigênio, pois estas situações coexistem) levou a produção de altas concentrações de CO₂ e de concentrações menores de metano, além da produção de vapor d'água, sendo todos esses gases liberados para o ar atmosférico pelo topo da leira.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compostagem é uma tecnologia que pode e deve ser utilizada no intuito de diminuir os impactos causados pelas emissões de metano em aterros sanitários, a partir dos dados de concentração de metano emitidos no ar proveniente de uma leira de compostagem fica evidente a representatividade da diminuição destes gases em relação a aterros, é verdade que a compostagem não anula esta emissão, mas os valores são muito próximos aos encontrado no ar atmosférico normal.

Em síntese, na busca de uma alternativa para as altas emissões de metano em aterros sanitários (valores que chegam próximos a 60% do ar emitido no mesmo e acarretam problemas ambientais sérios, destacando-se o aquecimento global), a compostagem se mostra uma tecnologia de alta viabilidade. Entretanto é imprescindível que seja feito um correto manejo da mesma, evitando-se principalmente sítios de anaerobiose, que, devido a sua população microbiológica particular gera emissão de metano.

Me pareceu claro ainda que, dentro de uma leira de compostagem existem os microorganismos metanotróficos, que ao se alimentarem de metano, e produzirem CO, contribuem benéficamente nas diminuições dos impactos da tecnologia da compostagem , fazendo com que, mesmo em situações de formação de pequenos sítios de anaerobiose dentro da leira o metano produzido pela mesma se transforme em moléculas menos danosas ao ambiente.

A pesquisa realizada permite sugerir a utilização de leiras mais estreitas, para intensificar o fluxo de ar, evitando-se condições de anaerobiose. Também são indicadas a realização de pesquisas em leiras cobertas uma vez que, em leiras abertas, quando ocorre chuvas intensas os poros da leira são preenchidos com água, diminuindo a circulação do ar e produzindo sítios de anaerobiose.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ANDERSSON J Performance of bedding material in affecting ammonia emission from pig manure. **Journal of Agricultural Engineering Reserch** 65 pag 213-222. 1996
- BAIRD, Colin. **Química Ambiental**. 2 ed. Editora Bookman, 2002
- BENDER, M.; CONRAD, R. Effect of CH₄ concentrations and soil conditions on the induction of CH₄ oxidation activity. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 27, n. 12, p. 1517-1527, dez. 1995
- BECK-FRIIS, B., Pell, M., SONESSON, U., JOHNSON, H., KIRCHMANN, H., 2000. Formation and emission of N₂O and CH₄ from compost heap of organic household waste. **Environmental Monitoring assessment** 62, 317-331.
- BOTKIN, D.B., Keller, E.A., 1998. **Environmental Science; Earth as a living planet**. John Wiley & sons, Canadá
- BRITO, F. S. **Detectação e avaliação *in vitro* do crescimento de *trichoderma spp* isolado decomposto frente a fitopatogeno**. Dissertação (Mestrado em Agroecossistema) 70p. Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009
- COSTA, E. G; A destinação final dos resíduos sólidos urbanos da região metropolitana de Fortaleza. **Revista econômica do nordeste**. Fortaleza. Junho de 1996
- DIAS, V.C.F; **Estudo das emissões de biogás nos aterros sanitários de Içara e Tijuquinha**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) 115p Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina Florianópolis. 2009
- DIAZ, L. F. Book review: *The Science of Composting By Eliot Epstein Laricester, Technomic Publishing Co.* **Waste Management & Research**, vol.17, nº. 2, p.66. 1999.]
- EL-AHRAF, A., Willis, W.V., 1996. Management of animal waste: environmental Health Problems and technological solutin. **Praeger Publisher**, wesrport, USA p.112-219
- EPSTEIN, E The science of composting ,Pennsylvania. **Technomic publishing**, 1997, 493p
- ESMAP. **The world bank handbook for the preparation of landfill gas to energy projects in Latin America and the Caribbean**. Waterloo, Ontario, 2004.

- FAVOINO, E & Hogg D. The potential role of compost in reducing greenhouse gases. **Wasre management e research**. 26:61-69.2008
- GOOGLE EARTH. Disponível em www.earth.google.com acesso em diversos dias.
- HAGA, K. ET AL. Constituents of the anaerobic portion occurring in the pile during composting of cattle wastes. **J. Soc. Agric.Struct.** Jp 29 125-130 –1998
- HAUG, R.T. **The practical handbook of composting engineering**.. Boca Raton, Lewis Publisher, Boca Raton, FL, 1993
- HOUGHTON, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J. **Climate change 2001: the scientific basis. Report of the IPCC working group 1**. 2001
- INÁCIO, C.T & Miller, P. R. M. **Compostagem: ciência e prática aplicadas a gestão de resíduos**. EMBRAPA. 2009
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de saneamento Básico 2000**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em 12/11/2004.
- INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Guidelines for national greenhouse inventories: Reference Manual. Volume 3 Disponível em www.ipcc.nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6 Acessado em 8 de fevereiro de 2009. 1996
- KIEHL, J. E. **Fertilizantes Orgânicos**. 1 ed. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres Ltda, 492p. 1985.
- MANIOS, T. ET all. **Methane and carbon dioxide emission in a two-phase olive oil mill sludge wintrow pile during composting**.. School of Agricultural Technology, Greece. 2006 Disponível em: www.sciencedirect.com
- MCBEAN, E. A.; ROVERS, F. A.; FARQUAR, G. J. Solid waste landfill engineering and design. Presentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ 07458, 1995. 521p.
- MILLER, F.C **composting as a process base on control f ecologically seletive factors in:Soil microbial ecology: application in agricultural and environmental management**. F.B Metting jr. ed 1993. p 515-541
- MILLER, P.R.M et al O manejo agroecológico como alternativa a desinfecção do solo **priemira reunião Brasileira sobre alternativas ao Brometo de Metila na agricultura**. Epagri Florianópolis, Brasil 1996. p 311-324

- PELMONT, J. *Bactéries et Environnement: adaptations physiologiques*. 1 ed. Grenoble, Presses Universitaires de Grenoble, 1993. Collection Grenoble Sciences.
- QIAN, X. ; KOERNER, R. M.; GRAY, D. H. Geotechnical aspects of landfill design and construction. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 717p.
- RANDLE & FLEGG; **Oxygen measurements in a Mushroom Compost Stack**. *Scientia horticulturae*. 8 315-323 1978
- RYNK. R., ET ALL., **ON-farm Composting handbook.NRAES. 1992**
- SHIRAIISHI, M et all. Patterns and quantities of NH₃, N₂O and CH₄ emission during swine manure composting without forced aeration-effect compost pile scale. **International congress series volume 1293** pag 303-306. zurique, suiça, 2005
- SOMMER, S.G., MOLLER, H.B., Emission of greenhouse gases during composting of deep litter from pig production effect of straw content. *Journal of agricultural science*, Cambridge, 2000
- STERN, D.I & KAUFMANN, R.K., Estimates of global anthropogenic methane emission 1860-1990. *Chemosphere* **33** pag 159-162
- SZANTO, G.L ET all. **NH₃, N₂O and CH₄ emission during passively aerated composting of straw-rich pig manure**. Departamento de Tecnologia Ambiental. Wageningen. Holanda.2006. Disponível em: www.Sciencedirect.com. Consultado em 4 de maio de 2009
- TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. A. **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues**. McGraw-Hill, Hightstown, NJ, 1993. 978p.
- WORKING GROUP ON AGRICULTURE OF THE EUROPEAN CLIMATE CHANGES
Programme. Annual Relatory. 2001 Disponível
<http://ew.eea.europa.eu/Agriculture/Agreports/climate.pdf>