

CÉSAR ADEMAR HERMES

**COMPOSTAGEM COMO FONTE TÉRMICA PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA
NA AQUICULTURA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola, do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Orientador: Prof. Samuel Nelson Melegari de Souza

CASCADEL

2005

César Ademar Hermes

“Compostagem como Fonte Térmica para Aquecimento de Água na Aqüicultura”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, pela comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof^a. Dr^a. Jane de Jesus da Silveira Moreira
FAG – Cascavel - PR

Prof. Dr. Ricardo Alves da Fonseca
UNICENTRO – Guarapuava - PR

Prof. Dr. Wilson Rogério Boscolo
UNIOESTE/CECE – Toledo – PR

Prof. Dr. Reinaldo Prandini Ricieri
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Cascavel, 27 de janeiro de 2005.

Dedico a:

Juliana,
Minha amada esposa

Bruna (*in memoriam*)
Nossa sempre amada filha

Waltemiro Luiz Ribeiro,
amigo e conselheiro

AGRADECIMENTOS:

Aos professores do Mestrado de Engenharia Agrícola, que propiciaram as condições necessárias para a minha formação e as valorosas sugestões na realização deste trabalho;

A CAPES/CNPq, pela manutenção do Mestrado em Engenharia Agrícola, da UNIOESTE/Cascavel;

A coordenação do Curso de Engenharia de Pesca, pelo auxílio;

Ao Profº Aldi Feiden, pelas informações e colaboração prestadas;

A equipe pedagógica do Colégio Agrícola Estadual de Toledo, pela compreensão e auxílio;

A todos aqueles, pais, colegas, professores, amigos, que estimularam e apoiaram a realização deste trabalho.

A fantasia de ontem
é a esperança de hoje
e a realidade de amanhã.

SUMARIO

LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
RESUMO.....	IX
ABSTRACT.....	X
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	03
2.1.Compostagem: bases gerais.....	03
2.1.1. Matéria prima a ser compostada.....	04
2.2.Alterações que ocorrem durante a compostagem.....	05
2.2.1. Temperatura.....	06
2.2.2. Umidade.....	06
2.2.3. pH.....	07
2.2.4. Relação carbono/nitrogênio.....	07
2.3.Efeitos do clima.....	07
2.3.1. O meio aquático e seus organismos vivos.....	08
2.3.2. Principais espécies cultivadas que sofrem o efeito do clima.....	09
2.3.2.1.Tilápia nilótica <i>Oreochromis niloticus</i>	09
2.3.2.2. Carpa comum <i>Cyprinus carpio</i>	10
2.3.2.3. Peixes ornamentais.....	10
2.3.2.4. Camarão de água doce <i>Macrobrachium rosenbergii</i>	10
2.4.Trocadores de calor.....	11
2.5.Utilização do calor gerado pela compostagem.....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1.Caracterização da região.....	13
3.2.Material experimental.....	13
3.3.Procedimento experimental.....	14
3.3.1. Procedimento experimental da primeira etapa.....	14
3.3.2. Procedimento experimental da segunda etapa.....	16
3.4.Analise dos dados.....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	18
4.1.Temperatura do ar e das medas de composto.....	18
4.2.Temperatura da água das caixas com aquecimento e sem aquecimento.....	19
4.3.Temperatura da água na saída dos tubos de alumínio.....	22
4.4.Variação nictimiral da temperatura.....	23
4.5.Crescimento dos peixes.....	25
5. CONCLUSÃO.....	27
6. REFERÊNCIAS.....	28
7. APÊNDICES.....	31
8. ANEXO.....	35

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DAS TEMPERATURAS DAS TRÊS MEDAS DE COMPOSTOS MONITORADOS	19
TABELA 02 – MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DAS TEMPERATURAS DAS TRÊS CAIXAS DE ÁGUA COM AQUECIMENTO PELA COMPOSTAGEM	20
TABELA 03 – TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS DO AR, DA CAIXA AMBIENTE E DAS CAIXAS 01 A 03, EM GRAUS CELSIUS, E SEUS RESPECTIVOS COEFICIENTES DE VARIAÇÃO E AMPLITUDE	22
TABELA 04 – MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DAS TEMPERATURAS DA ÁGUA APÓS ATRAVESSAR A COMPOSTAGEM PELOS TUBOS DE ALUMÍNIO.....	22
TABELA 05 – TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS DA AGUA COM AQUECIMENTO, DO COMPOSTO, DA ÁGUA SEM AQUECIMENTO E DO AR, E SUAS RESPECTIVAS MÉDIAS, DESVIOS PADRÃO E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO.....	25
TABELA 06 – PESO MÉDIO, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO INICIAL DOS ALEVINOS POVOADOS NAS CAIXAS COM E SEM AQUECIMENTO.	26

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – TEMPERATURAS DO AR E DAS TRÊS MEDAS DE COMPOSTO	18
FIGURA 02 – TEMPERATURAS DAS CAIXAS DE ÁGUA COM AQUECIMENTO, MONITORADAS AO LONGO DO EXPERIMENTO	20
FIGURA 03 – TEMPERATURA DAS CAIXAS DE ÁGUA SEM AQUECIMENTO E A TEMPERATURA DO AR, MONITORADA AO LONGO DO EXPERIMENTO	21
FIGURA 04 – DIFERENÇA ENTRE A TEMPERATURA MÉDIA DAS CAIXAS DE ÁGUA COM AQUECIMENTO E A TEMPERATURA DA ÁGUA APÓS ATRAVESSAR O COMPOSTO	22
FIGURA 05 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS VALORES DE TEMPERATURA DA ÁGUA APÓS ATRAVESSAR O COMPOSTO E A TEMPERATURA DO COMPOSTO .	23
FIGURA 06 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DO COMPOSTO DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS	24
FIGURA 07 – CRESCIMENTO DOS ALEVINOS DE TILÁPIA NO SISTEMA DE CULTIVO COM AQUECIMENTO UTILIZANDO COMPOSTAGEM E SISTEMA DE CULTIVO SEM AQUECIMENTO	26

RESUMO

HERMES, César Ademar. **Compostagem como fonte térmica para aquecimento de água na aquicultura**. Orientador: Samuel Nelson Melegari de Souza. Co-orientação: Aldi Feiden. Conselheiros: Ricardo Alves da Fonseca, Reinaldo Prandini Ricieri, Wilson Rogério Boscolo, Jane de Jesus da Silveira Moreira.

A compostagem pode ser considerada como um dos processos biotecnológicos mais antigos da humanidade e consiste na transformação de materiais grosseiros, como palha e esterco animais, em materiais orgânicos utilizáveis na agricultura. Esse processo envolve transformações extremamente complexas de natureza bioquímica, promovida por microorganismos do solo que têm na matéria orgânica *in natura* sua fonte de energia e nutrientes. Os produtos do processo de decomposição são: gás carbônico, calor, água e a matéria orgânica "compostada". O objetivo do trabalho foi verificar a possibilidade de utilizar o processo de compostagem como fonte de geração de calor de baixo custo, na aquicultura, principalmente na manutenção de reprodutores, larvicultura e alevinagem inicial de organismos aquáticos susceptíveis a *stress* ambiental em função das baixas temperaturas da água. A primeira etapa do trabalho aconteceu de setembro/outubro de 2003, na UNIOESTE/Campus de Toledo e a segunda etapa, no período de setembro/outubro de 2004, no Colégio Agrícola Estadual de Toledo. A metodologia consistiu em estruturar três medas de composto, constituídas de feno e excrementos de galinhas de postura, nas das quais foram arranjados dois grupos de tubos de alumínio, dentro dos quais circulava água proveniente de caixas de 310 litros de capacidade. A circulação era forçada com auxílio de um compressor de aquário. Cada meda de composto possui um sistema de caixa e tubos de alumínio. Outras três caixas de água ficaram sob efeito somente da temperatura ambiente. As medas de composto tinham 1,70 x 0,8 x 0,9 m. Foram monitoradas a temperatura do ar, do composto, da água (com aquecimento e sem aquecimento pela compostagem), e da água na saída do composto. A temperatura média do ar foi de $20,8 \pm 3,81^{\circ}\text{C}$. As medas do composto mantiveram média de temperatura de $31,5 \pm 6,3^{\circ}\text{C}$. Nas caixas de água com aquecimento, obtiveram-se médias de temperatura ao longo do experimento de $22,0 \pm 3,73^{\circ}\text{C}$, enquanto que na água sem aquecimento, a média de temperatura foi de $20,0 \pm 2,98^{\circ}\text{C}$. Houve uma diferença na média do peso entre os alevinos dos dois tratamentos de aproximadamente 24,0%. Os resultados do trabalho indicam que a compostagem pode ser considerada uma fonte de geração de calor de baixo custo, para aquecimento de pequenos módulos de água utilizados na aquicultura.

Palavra chave: temperatura, crescimento, reprodução, piscicultura.

ABSTRACT

HERMES, César Ademar. Composting as thermal source for heating of water in the aquaculture. Guiding: Samuel Nelson Melegari of Souza. Co-orientation: Aldi Feiden. Counselors: Ricardo Alves of Fonseca, Reinaldo Prandini Ricieri, Wilson Rogério Boscolo, Jane of Jesus of Silveira Moreira.

The composting can be considered as one of the humanity's older biotechnological processes and it consists of the transformation of rude materials, as straw and animal manures, in usable organic materials in the agriculture. This process involves extremely complex transformations of biochemical nature, promoted by microorganisms of the soil that have in the matter organic in his natura source of energy and nutritious. The products of the healthy decomposition process: carbon gas, heat, water and the matter organic compost. The objective of the work was to verify the possibility to use the compostagem process as source of generation of low cost heat, in the aquaculture, mainly in the maintenance of reproducers, larvicultura and initial alevinagem of organisms aquatic susceptible is the environmental stress in function of the low temperatures of the water. The first stage of the work happened of set/out of 2003, in UNIOESTE/Campus of Toledo, and the second stage, in the period of set/out of 2004, in the State Agricultural School of Toledo. The methodology consisted of structuring three composition stacks, constituted of hay and excrements of posture chickens, inside of which they were arranged two groups of tubes of aluminum, inside of which it circulated water originating from boxes of 310 liters of capacity. The circulation was forced with I aid of an aquarium compressor. Each composition stack possesses a box system and tubes of aluminum. Other three boxes of water were under effect only of the room temperature. The composition stacks had 1,70 x 0,8 x 0,9 m. they were monitored the temperature of the air, of the composition, of the water (with heating and without heating for the compostagem), and the temperature of the it longs for in the exit of the composition. The medium temperature of the air was of $20,8 \pm 3,81^{\circ}\text{C}$. The composition stacks maintained average of temperature of $31,5 \pm 6,3^{\circ}\text{C}$. In the boxes of water with heating, they were obtained temperature averages along the experiment of $22,0 \pm 3,73^{\circ}\text{C}$, while in the water without heating, the temperature average was of $20,0 \pm 2,98^{\circ}\text{C}$. There was a difference in the average of the weight among the fisherlings of the two treatments of approximately 24,0%. The results of the work indicate that the compostagem can be considered a source of generation of low cost heat, for heating of small modules of water used in the aquaculture.

Key word: temperature, growth, reproduction, fish farming.

COMPOSTAGEM COMO FONTE TÉRMICA PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA NA AQUICULTURA

1. INTRODUÇÃO

A região sul do Brasil responde por uma parte razoável da produção aquícola brasileira, gerando incremento na renda de muitas famílias, geralmente estabelecidos em pequenas propriedades. É uma atividade que, tanto do ponto de vista econômico, como social, ajuda a fixar o homem no campo, evitando o êxodo rural. Segundo dados da EMATER-PR, existem, no Paraná, 22.930 piscicultores, que produziram na safra 2003-2004 em torno de 16.597 toneladas (OSTRENSKY & VIANA, 2004)

A aquícultura, ou mais especificamente a piscicultura é uma interessante fonte de renda no município de Toledo, onde essa atividade é responsável por 2% do PIB bruto do município.

No entanto, muitos desafios ainda rondam a aquícultura paranaense, entre eles as intempéries do clima. Há alguns anos, devido a um rigoroso inverno, nos estados do Paraná e Santa Catarina houve uma quebra de sua safra, em função da mortalidade ocorrida devido à queda muito brusca da temperatura.

O clima na região sul do Brasil, caracteriza-se por períodos de verão e inverno definido, com temperaturas altas no verão e baixas no inverno e com chuvas bem distribuídas.

Durante o processo de compostagem de materiais orgânicos, há produção de calor, que pode ser recolhido e utilizado para aquecer a água de pequenos módulos de manutenção e reprodução de organismos aquáticos, ou até mesmo para manter a temperatura da água em sistemas de larvicultura intensiva de tilápias ou outros organismos aquáticos, estruturando um sistema de recirculação e de coleta de parte desse calor.

O produto da compostagem pode ser utilizado, também, como fertilizante em viveiros de cultivo de animais aquáticos. Utilizando compostos orgânicos oriundos de sete diferentes materiais compostados, SEDIYAMA *et al.* (2000) avaliaram a concentração de nutrientes e obtiveram concentrações disponíveis de N entre 3,4 e 4,4 g kg⁻¹. Portanto, esse material é uma alternativa, após a estabilização do processo de compostagem e a temperatura ter atingido níveis muito baixos para aquecer a água, para ser utilizado como fonte de nutrientes em sistemas de cultivo, onde se faz necessária a fertilização da água.

O presente trabalho teve por objetivo verificar a possibilidade de utilizar o processo de compostagem como fonte de geração de calor de baixo custo, para aquecimento de pequenos módulos de água utilizados na aquicultura, principalmente na manutenção de reprodutores, larvicultura e alevinagem inicial de organismos aquáticos susceptíveis a *stress* ambiental em função das baixas temperaturas da água durante os meses de inverno, nos estados do sul do Brasil.

Especificamente, pretende-se avaliar se existe incremento de temperatura em um corpo de água, sob efeito da temperatura ambiente e aquecido por parte do calor gerado durante a compostagem de um pequeno módulo de composto e observar se há diferença significativa em relação ao comportamento de outro corpo de água sob efeito unicamente da temperatura ambiente, além de verificar o reflexo deste incremento de calor sobre o crescimento de alevinos de tilápia *Oreochromis niloticus*.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Compostagem: bases gerais.

A compostagem pode ser considerada como um dos processos biotecnológicos mais antigos da humanidade e consiste na transformação de materiais grosseiros, como palha e esterco animais, em materiais orgânicos utilizáveis na agricultura. Ele envolve transformações extremamente complexas de natureza bioquímica, promovida por microorganismos do solo que têm na matéria orgânica *in natura* sua fonte de energia e nutrientes. Dessa forma, é possível afirmar que o composto é o resultado da degradação biológica da matéria orgânica, em presença de oxigênio do ar, sob condições controladas pelo homem. Os produtos do processo de decomposição são: gás carbônico, calor, água e a matéria orgânica "compostada" (GOTTSCHELL, 1990; KIEHL, 1998, VAN GINKEL et al., 2001; MIYASHITA et al., 2001).

Existem duas versões distintas para a origem da palavra composto: segundo KIEHL, (1998), o vocábulo '*compost*', da língua inglesa, deu origem à palavra composto, para indicar o fertilizante orgânico preparado a partir de restos vegetais e animais através de um processo denominado compostagem. No entanto, GOTTSCHELL (1990), afirma que a palavra composto deriva do latim e significa "mistura, assentado junto".

Basicamente a compostagem é um processo controlado de decomposição microbiana, oxidação e oxigenação de uma massa não homogenea (KIEHL, 1998), geralmente constituída de restos orgânicos, degradados por microrganismos, tais como bactérias, principalmente *Thermophilic streptomycetes*, *Thermophilic nocardioform-actinomycetes*, *Thermo-actinomyces sp* (HU et al., 1998), além de fungos actinomicetes do solo, originando como produto final matéria orgânica humificada. O método da compostagem é tipicamente

aeróbico, ou seja, na presença do oxigênio do ar, para melhor atividade microbiana (KIEHL, 1998; MIYASHITA et al., 2001).

O principal sintoma de que esta ocorrendo um processo de compostagem em um resíduo orgânico, é a elevação de temperatura do meio, atingindo temperaturas de aproximadamente 65° a 70°C no interior do composto (GOTTSCHALL, 1990; KIEHL, 1998; HU et al., 1998; MIYASHITA et al., 2001).

2.1.1. Matéria prima a ser compostada

Os resíduos orgânicos, utilizados para o processo de compostagem, são geralmente utilizados como fertilizantes orgânicos. No entanto, os resíduos orgânicos são na verdade excelentes fontes de matéria prima para produção de fertilizantes orgânicos humificados (KIEHL, 1998).

Segundo PERES & NAUMOFF (1998), “Os resíduos sólidos podem ser classificados de diversas formas: quanto a sua natureza física - seco ou molhado; por sua composição química - quantidade de matéria orgânica; pelos riscos potenciais ao meio ambiente, como perigosos (Classe 1), não perigosos, não inertes (Classe 2) e não perigosos, inertes (Classe 3), pela sua origem”.

Em função da origem, o lixo sólido foi classificado por PERES & NAUMOFF (1998), nas seguintes categorias: domiciliar (lixo gerado pelas residências, composto por restos de alimentos, papel, vidro, metal e outros itens); comercial (lixo gerado nos diversos estabelecimentos comerciais e de serviços, tais como, supermercados, bancos, lojas, bares, restaurantes, etc.); público (resíduos gerados na limpeza pública urbana); serviços de saúde (resíduos sépticos oriundos de hospitais, clínicas, laboratórios, farmácias, clínicas e hospitais veterinários); portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários (resíduos considerados

na sua maioria como sépticos, pois podem conter microrganismos patogênicos trazidos de outras regiões); industrial (resíduo originado nas atividades dos diversos ramos da indústria); agrícola/agropecuário (resíduos constituídos predominantemente por restos de colheita e esterco animais) e entulho (resíduos da construção civil, constituído geralmente de material inerte).

2.2. Alterações que ocorrem durante a compostagem

Durante o processo de compostagem, ocorre o processo de cura ou maturação, que pode ser classificado em três fases. A primeira fase é conhecida como fitotóxica, caracterizada pelo desprendimento de calor, vapor d'água e gás carbônico, porque nela desenvolvem-se diversos ácidos minerais, que possuem efeito danoso sobre as plantas, principalmente no concernente a germinação das sementes e crescimento das raízes. Nessa fase, a temperatura fica em torno de 25 a 40°C.

A segunda fase é conhecida como de semicura; após 10 a 20 dias o material entra no estado de bioestabilização, onde o composto atinge temperaturas de 50 a 55°C, mais elevadas, portanto, que na fase anterior.

Na terceira fase ou fase de maturação, ocorre a degradação da matéria orgânica, quando o composto adquire as propriedades físico químicas e biológicas de húmus, as principais alterações que ocorrem no composto durante o processo de compostagem referem-se à temperatura, umidade, pH e relação carbono/nitrogênio (C/N) (KIEHL,1998).

2.2.1.Temperatura

A compostagem inicia-se a partir do momento em que há uma elevação da temperatura do material a ser compostado. Em função da temperatura, podemos observar duas

fases distintas no processo de compostagem: mesófila, com temperaturas entre 25 a 40°C e termófila, com temperaturas entre 50 a 55°C (KIEHL, 1998; HU et al., 1998).

A evolução da temperatura durante a compostagem está relacionada a vários fatores responsáveis pela geração de calor, como a quantidade de microorganismos presentes, umidade, aeração, granulometria dos materiais, entre outros fatores. É possível afirmar que a temperatura é uma consequência desses fatores. Sob condições favoráveis, ela vai se elevar ao longo dos dias e entrar na fase mesófila, quando atingira, rapidamente, temperaturas características da fase termófila, mantendo-se constante por um período variável. Em seguida, se as condições favoráveis forem mantidas, a temperatura vai baixar e o composto entra novamente na fase mesófila, mantendo-se nessa fase até o final da compostagem (KIEHL, 1998; HU et al., 1998; MIYASHITA et al., 2001).

2.2.2.Umidade

Se faltar água durante a compostagem, o processo será interrompido e o composto perderá calor, igualando a sua temperatura com a do meio ambiente. Nesse caso, é necessário revolver a leira e irrigá-la durante o revolvimento. Em caso de excesso de água, o calor não se desenvolve pelo fato da água possuir um poder calorífico elevado, ou seja, o calor gerado pelos microorganismos é suficiente para aquecer a massa orgânica e o ar contido nos poros, mas não para aquecer a água em um composto encharcado (HOLMAN, 1983; KIEHL, 1998).

2.2.3.pH

A reação da matéria orgânica animal ou vegetal geralmente é ácida, uma vez que o suco celular dos vegetais, o sangue, as fezes e a urina dos animais são geralmente de natureza

ácida. Dessa forma, o composto possui no início uma reação ácida. Entretanto, esses ácidos reagem com bases liberadas da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina; em consequência, o pH do composto se eleva à medida que o processo se desenvolve (KIEHL, 1998).

2.2.4. Relação carbono/nitrogênio

Ao montar um composto com diferentes materiais, é possível misturá-los de forma a obter uma relação carbono/nitrogênio (C/N) adequada ao processo da compostagem. Essa relação deve ser de 25/1 a 35/1 no início do processo, pois os microorganismos absorvem carbono e nitrogênio sempre na relação de 30/1, independentemente da relação C/N no material a ser compostado (KIEHL, 1998).

2.3. Efeitos do clima

Quando a radiação solar atinge a superfície terrestre, uma parcela desta energia aquece o ar. A temperatura do ar pode ser definida em termos do movimento das moléculas do ar, pois a agitação das moléculas é tanto maior quanto maior for a temperatura, ou em termos relativos, é a quantidade de calor que o ar contém (VIANELLO, 1991).

Os processos biofísicos e bioquímicos que condicionam o metabolismo dos seres vivos e, portanto, os seus desenvolvimentos, são altamente afetados pelas condições energéticas do ambiente, mais especificamente pelo solo e pela atmosfera, podendo-se inclusive afirmar que praticamente todos os processos que condicionam o desenvolvimento e crescimento de plantas e animais possuem a temperatura como um dos fatores fundamentais. Cada espécie, animal ou vegetal, possui uma faixa ótima para que o seu potencial produtivo

seja expresso; acima ou abaixo deste limite, mesmo havendo um suprimento adequado de água e nutriente, a produtividade será comprometida (ODUM, 1983).

Sabe-se que a temperatura é um dos fatores que mais influencia o desenvolvimento gonadal (gametogênese) e a maturação final (ovulação/espermeação) de peixes teleósteos, podendo retardar, adiantar e até mesmo suprimir tais processos fisiológicos (LAM, 1983).

2.3.1.O meio aquático e seus organismos vivos

Os peixes e muitos crustáceos são formas de vida dominante no meio aquático. Esses organismos colonizam todos os tipos de habitat, sendo por isso submetidos às mais variadas condições ambientais. Além dessa ampla variedade de condições de habitat, mostram uma quantidade muito grande de formas, tamanhos e padrões de ciclo de vida (LAGLER et al., 1977).

Os peixes toleram grandes variações de temperatura. Algumas espécies sobrevivem em fontes de águas termais, onde a água pode atingir mais de 42°C. Outras podem viver a temperaturas muito próximas do congelamento. Contudo, numa mesma espécie, o limite de tolerância, geralmente, é muito restrito. Como outros pecilotermos, ou vertebrados de sangue frio, os peixes são ectotérmicos, ou seja, a temperatura do corpo depende da do ambiente e, conseqüentemente, é bem próxima da temperatura deste. Em razão disso, um peixe que vive num rio, onde a temperatura da água seja de 25°C, apresentará uma temperatura do corpo essencialmente igual à da água (ORR, 1986; VAZZOLER, 1996).

Os organismos aquáticos se encontram em conforto fisiológico, quando nenhum dos parâmetros ambientais atenta contra a sua fisiologia, ou seja, temperatura adequada, oxigênio dissolvido, nutrientes, entre outros. Porém, à medida que os parâmetros ambientais conferem algum tipo de *stress* aos organismos, estes interrompem a alimentação e, conseqüentemente, o

crescimento e possuem maior propensão a contrair doenças (ARANA, 1999; KUBITZA, 2000)

2.3.2.Principais espécies cultivadas que sofrem o efeito do clima

2.3.2.1.Tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*)

As tilápias são peixes tropicais, oriundos dos rios e lagos da África, Israel e Jordânia e devido a seu potencial para a aquicultura tiveram a sua distribuição mundial expandida nos últimos cinquenta anos (KUBITZA, 2000; BEUX et al., 2001).

Para estes animais, o apetite fica extremamente reduzido e aumentam os riscos de doenças em temperaturas abaixo de 20°C. É comum no inverno no sudeste e sul do Brasil, a temperatura da água atingir 18°C. Sob essas condições, os peixes ficam menos tolerantes ao estresse do manejo e transporte e mais susceptíveis as doenças. Assim, o manuseio e transporte destes peixes nos meses de inverno e início da primavera (mesmo se as temperaturas já ultrapassaram 22°C), invariavelmente resultam em grande mortalidade devido a infecções bacterianas e fúngicas. As temperaturas na faixa de 8 a 14°C geralmente são letais, dependendo da espécie, linhagem e condição dos peixes e do ambiente.

A temperatura é, também, um dos mais importantes fatores que determinam a reprodução em tilápias. Com a temperatura abaixo de 22°C geralmente a reprodução não é observada. Isso acontece pois, sob baixas temperaturas, a espermatogênese (síntese de espermatozoides) é desacelerada e a vitelogênese (produção do vitelo, material que nutre o embrião e a larva) é completamente inibida (KUBITZA, 2000).

2.3.2.2. Carpa comum (*Cyprinus carpio*)

De maneira geral, na região sul do Brasil, a denominação carpa refere-se ao grupo das carpas comuns, que inclui os mais variados fenótipos e/ou variedades, as quais possuem denominações próprias como carpa espelho, carpa escama, carpa húngara, etc. A reprodução da carpa comum está intimamente relacionada à temperatura da água, sendo que em regiões frias o período natural de reprodução ocorre logo após o término do inverno, quando ela supera a marca dos 18°C (TAMASSIA, 1996).

2.3.2.3. Peixes ornamentais

Diversas espécies de peixes ornamentais desovam naturalmente em tanques ou aquários. Uma técnica interessante é a separação dos lotes por sexo e o cultivo em temperatura entre 23 e 26 °C. Nessas condições, os animais farão diversas desovas durante o ano. Como é importante a utilização de cruzamentos específicos para produção de boas linhagens, aconselha-se o uso de tanques pequenos. Dessa forma, podem-se fazer cruzamentos dirigidos sem muito desperdício de espaço (VIDAL JUNIOR, 2003).

2.3.2.4. Camarão de água doce (*Macrobrachium rosenbergii*)

O camarão de água doce é um crustáceo da ordem Decápode, sendo natural de regiões tropicais e subtropicais do Indo-Pacífico, com ocorrências registradas em diversos países do sul e sudeste asiático e a introdução para cultivo no Brasil, ocorreu a partir da década de 70. A temperatura da água é um parâmetro de grande importância no cultivo de reprodutores, larvas e pós-larvas do camarão de água doce (CAVALCANTI et al., 1996; PINHEIRO & HEBLING, 1998).

Esses organismos possuem um ciclo de vida caracterizado por duas fases: uma em água marinha (larva) e outra em água doce (pós-larva e adulto) Em sistemas de cultivo, as fêmeas com ovos, as larvas e as pós-larvas são mantidas em tanques artificiais, com sistemas

de recirculação, permitindo um reaproveitamento da água doce, no caso de pós-larvas e adultos, e marinha, no caso das larvas, além de um maior controle sobre as variáveis físico-químicas da água, como a temperatura, o pH, entre outras (CAVALCANTI et al. 1986; PINHEIRO & HEBLING, 1998; CARVALHO FILHO & MATHIAS, 1998; VALENTI et al., 1998).

2.4. Trocadores de calor

Um trocador de calor é um dispositivo que efetua a transmissão de calor de um fluido para outro, sendo que um fluido é separado do outro por uma parede ou partição através da qual passa o calor. O tipo mais simples de trocador de calor consiste em que um fluido quente é misturado diretamente a um fluido frio. Em um sistema desse tipo, a transferência de calor é interrompida quando ambos os fluidos atingirem o equilíbrio térmico, ou seja, a mesma temperatura (KREITH, 1977; KERN, 1982; INCROPERA, 1998).

2.5. Utilização do calor gerado pela compostagem

Não foram encontradas referências, no Brasil, da utilização do calor gerado pela compostagem para processos de aquecimento. No entanto, em alguns países europeus, esta é uma prática bastante comum. Na Áustria, GRAEFE (1982), citado por GOTTSCHALL (1990), utilizou medas de composto de restos de videiras, com 1 m³ de composto, para aquecer água, mantendo a temperatura da água acima de 40°C por aproximadamente quatro semanas. No sul da França, utilizam-se restos de varredura e folhas em compostagem, em medas com aproximadamente 25 toneladas, para aquecer 4 l de água por minuto, elevando a sua temperatura de 10°C para 60°C durante 6 meses.

Segundo SCHULZ (1982), citado por GOTTSCHALL (1990), teoricamente, é possível aproveitar no máximo em torno de 50% da energia produzida. A utilização de maiores percentuais da energia térmica produzida implicaria em não aeração do composto, pois o ar do interior do composto não aqueceria o suficiente e o processo de convecção não mais aconteceria, impedindo a troca de ar e o gás carbônico se acumularia no interior da meda, eliminando os microorganismos aeróbicos responsáveis pela decomposição e liberação da energia térmica, interrompendo o processo de compostagem.

O autor acima ainda sugere a utilização de estruturas de madeira com 3,1 x 3,6 m, dentro das quais são colocados restos de cama de criação de suínos, até conseguir aproximadamente 3,9 m³ de material, que possui uma densidade de 600 a 700 kg/m³, totalizando um composto de aproximadamente 2,5 toneladas (ANEXO 01). Este material, durante 8 a 12 dias, manterá uma temperatura de aproximadamente 52,5°C. Após este período a temperatura diminuirá em torno de 1,5°C por dia. Quando a temperatura do composto atingir 40°C deve-se então colocar uma nova camada de material para ser compostado, mantendo a temperatura do material. Segundo o autor, o ganho com energia, em um ano, equivale ao correspondente a 981 l de óleo diesel, descontando os gastos de energia com o bombeamento da água.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em duas etapas: a primeira etapa, na UNIOESTE/Campus de Toledo, no período de 1º de setembro a 21 de outubro de 2003, e a segunda etapa, no Colégio Agrícola Estadual de Toledo, no período de 23 de setembro a 22 de outubro de 2004.

Na primeira etapa, os materiais necessários ao desenvolvimento do trabalho foram obtidos do comércio local, e os insumos, em propriedades agrícolas e empresas que comercializam resíduos e insumos agropecuários; na segunda etapa, o material experimental utilizado foi o mesmo da primeira etapa, e os insumos foram obtidos na Unidade Didática Produtiva (Fazenda) do Colégio Agrícola Estadual de Toledo.

3.1. Caracterização da região

A região de Toledo, no Oeste do Estado do Paraná, possui localização hipsométrica de +500 a +600 m, temperatura média anual do ar de 20 a 21°C, e média no trimestre mais quente de 26 a 28°C, e no trimestre mais frio 16 a 17°C, possuindo classificação climática de Cfa (Clima subtropical, sempre úmido com verões quentes), pelo método Köppen (IAPAR, 2000).

3.2. Material experimental

O material experimental da primeira etapa consistiu em seis caixas de água, de 310 l de capacidade, tubos de alumínio (1,5 m de comprimento, diâmetro interno de 0,5 mm), feno de gramíneas, esterco de galinhas de postura, três compressores de aquário, mangueiras

plásticas de 4,0 mm de diâmetro, tubos de P.V.C. de 25 mm de diâmetro, pedras porosas (utilizadas em aquários para peixes) e um termômetro de mercúrio com escala de 0 a 100°C. As medas de composto tinham 1,70 x 0,8 x 0,9 m de comprimento, largura e altura, respectivamente.

Na segunda etapa, foram utilizados duas caixa de água, de 310 l de capacidade, tubos de alumínio, cama de criação de suínos (constituída de uma mistura de raspa de madeira e esterco suíno, semi-curtido), esterco de bovinos, um compressor de aquário, mangueiras plásticas de 4,0 mm de diâmetro, tubos de P.V.C. de 25 mm de diâmetro, pedras porosas (utilizadas em aquários para peixes), gaiolas confeccionadas em tala plástica de malha 0,5mm e com 0,9 m de altura e 0,3 m de diâmetro, 64 alevinos de tilápia *Oreochromis niloticus* revertidos sexualmente, ração comercial para peixes com 32% de proteína, balança digital com precisão de 0,001 gramas, um termômetro de mercúrio com escala de 0 a 100°C. As medas de composto tinham as mesmas dimensões da primeira etapa.

3.3. Procedimento experimental

3.3.1.Procedimento experimental da primeira etapa

O experimento consistiu de um fator (temperatura), com dois níveis (efeito do composto e efeito do ambiente) e três repetições para cada nível. A variável reposta foi a temperatura da água.

O experimento possuía seis caixas de água de 310 l, sendo que a temperatura de água de três caixas estava sob influência da temperatura ambiente e a água das outras três caixas estava sob influência do calor gerado pelo processo de compostagem. A temperatura da água das seis caixas era monitorada diariamente, além da temperatura ambiente, da

temperatura interna da compostagem (próximo aos tubos de alumínio), da temperatura da água na entrada e na saída dos tubos de alumínio (Apêndice 01).

Os materiais orgânicos (feno e esterco de aves) foram arranjados em camadas sucessivas, iniciando com uma camada de feno, de aproximadamente 20 cm de altura, em seguida uma camada de esterco de aves, de aproximadamente 10 cm de altura. Essas camadas foram arranjadas, até atingirem uma altura de aproximadamente 0,9 m (altura da caixa de água). O material foi umedecido após a disposição de cada camada. Foram gastos aproximadamente 30 l de água, 30 kg de esterco de aves e 25 kg de feno (2,5 fardos de feno) por meda.

As medas foram mantidas úmidas durante todo experimento, para garantir a umidade mínima à atividade microbiana. Como as medas possuíam dimensões razoavelmente pequenas, nos dias de chuvas pesadas, elas eram cobertas com plástico para evitar o encharcamento dos compostos e conseqüente diminuição da atividade bacteriana.

Nas caixas que estavam ligadas ao composto, em sua parte interna, foram instalados dispositivos que visavam forçar o fluxo de água pelos tubos de alumínio. Esses dispositivos consistiam de uma garrafa P.E.T., de 2 l, acoplada a um tubo de P.V.C. de 25 milímetros em uma das extremidades e outro tubo de 25 milímetros colocado do lado externo, por dentro do qual passava uma mangueira de plástico de 4,0 mm (mangueira para compressor de aquário); em uma das extremidades dessa mangueira, estava acoplado um compressor de aquário e na outra extremidade havia uma pedra porosa, dentro do tubo de P.V.C. (Apêndice 02).

Esse dispositivo foi instalado de tal forma, que parte da garrafa P.E.T. estava 8 a 10 cm acima do nível da água da caixa, ficando o restante mergulhado na água. Quando o compressor de aquário era acionado, injetava ar no interior do tubo externo, formando um fluxo ascendente de bolhas de ar, que arrastavam a água até a outra extremidade do tubo. O

deslocamento de água provocado pelas bolhas era suficientemente forte para elevar a água por dentro do tubo externo a aproximadamente 8 a 10 cm acima do nível de água da caixa, descarregando a água dentro da garrafa P.E.T. Dessa forma, o nível dentro da garrafa P.E.T. ficava acima do nível da água da caixa, forçando a circulação da água por dentro dos tubos de alumínio e retornando a caixa.

O sistema para a captação do calor gerado pela compostagem consistia em tubos de alumínio, de 1,5 m de comprimento e 5,0 milímetros de diâmetro interno, com paredes de 0,05 mm de espessura, que estavam acomodados no meio do material a ser compostado. Em cada meda, havia dois grupos de tubos, com quatro tubos de alumínio em cada. Em uma das extremidades, esses tubos estavam ligados a um tubo de P.V.C. de 25 milímetros de diâmetro, que por sua vez estava acoplado a uma caixa de água de 310 l de capacidade.

Uma vez que os tubos de alumínio não são flexíveis, eles eram ligados nas suas extremidades, às mangueiras do tipo cristal, de 3 milímetros de diâmetro, que faziam a conexão com os tubos de P.V.C. e entre os tubos de alumínio.

As temperaturas do composto, do ar, da água da caixa sob efeito da temperatura ambiente, da água da caixa sob efeito da temperatura da compostagem e da água ao entrar no composto e logo após sair do composto foram medidas uma vez ao dia, entre 12 h e 13 h. A cada 8 a 10 dias, o composto era revolvido, para permitir uma boa oxigenação do material a ser compostado, umedecido e acrescentado uma nova porção de feno e esterco de aves.

3.3.2.Procedimento experimental da segunda etapa

Nesta etapa, o esquema experimental foi organizado da forma semelhante à primeira etapa, utilizando os mesmos dispositivos para movimentar a água por entre os tubos de alumínio.

Para montar a meda de composto, em torno de 45 kg de cama de criação de suínos e 28 kg esterco de bovinos fresco foram misturados e, após acomodar uma parte desse material no local do composto, o primeiro grupo de tubos de alumínio, acoplado a região inferior da caixa de água, foi disposto por cima desta camada e em seguida acrescentada mais uma camada de material previamente misturado e disposto o segundo grupo de tubos de alumínio, acoplado a região superior da caixa de água, e finalmente, mais uma camada de material a ser compostado, para não deixar os tubos de alumínio expostos às intempéries (ver Apêndice 03).

Os tubos de alumínio foram conectados a uma das caixas de água, da mesma forma que na primeira etapa. A outra caixa de água não possuía nenhuma conexão com o composto.

Foram acomodadas quatro gaiolas de tela plástica em cada caixa de água, e em cada gaiola, oito alevinos de tilápia, com peso médio de $0,8 \pm 0,16$ g, alimentadas *at libitum* com ração comercial duas vezes ao dia (às 09 h 40 min e às 15 h 30 min). Os alevinos eram pesados a cada sete dias em balança digital, com precisão de 0,001 g.

3.4. Análise dos dados

A análise dos dados obtidas na experimentação consistiu em avaliar a diferença estatística entre as temperaturas obtidas e o desempenho dos alevinos de tilápia, através da análise de variância ANOVA (BANZATO & KRONKA, 1992) e para verificar o crescimento de uma variável em função a outra variável, foi utilizado o coeficiente de correlação conforme VIEIRA & HOFFMANN (1986).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A coleta dos dados somente teve início após o terceiro dia, quando a temperatura do composto atingiu 35°C.

4.1. Temperatura do ar e das medas de composto

A temperatura do ar manteve médias de 20,5°C e 21,3°C durante os meses de setembro e outubro/2003, respectivamente. Estas médias estão de acordo com previsões do IAPAR (2000), para a região de Toledo, PR. No período de 04 a 09 de setembro/2004, houve um contínuo declínio na temperatura do ar, atingindo uma temperatura de 10°C; como as medas de composto possuíam um volume muito pequeno (aproximadamente 1,2 m³), o declínio da temperatura do ar induziu uma diminuição drástica das temperaturas neste período, das três medas de composto. Em medas de composto de maior volume, provavelmente, este declínio na temperatura seria menor. Observou-se temperaturas médias gerais de 20,8°C, 30,8°C, 31,4°C e 31,1°C para o ar e as medas 01, 02 e 03, respectivamente, durante todo período experimental (Figura 01 e Tabela 01).

FIGURA 01 – TEMPERATURAS DO AR E DAS TRÊS MEDAS DE COMPOSTO DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL

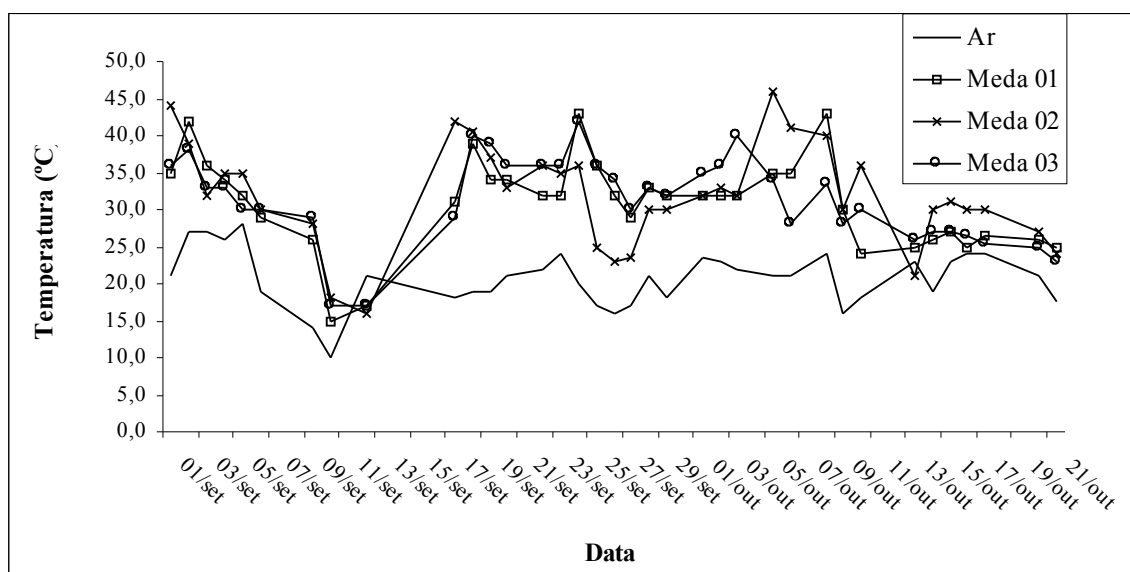


TABELA 01 – MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DAS TEMPERATURAS DAS TRÊS MEDAS DE COMPOSTOS MONITORADOS.

Grupo	Média(°C)	Desvio padrão	Coeficiente de variação
Ar	20,8	3,81	18,4%
Meda 01	31,0	6,19	19,9%
Meda 02	31,9	7,00	21,9%
Meda 03	31,4	5,91	18,8%

Pela ANOVA, não houve variação significativa entre as temperaturas das medas dos três compostos ($P\text{-value} > 0,05$; Apêndice 04). Entre a temperatura do ar e a média de temperatura das medas dos três compostos, houve diferença significativa ($P\text{-value} < 0,05$; Apêndice 05) e considerando que o coeficiente de correlação entre as duas médias foi igual a 0,393, pode-se concluir que houve pouca influência da temperatura do ar sobre a média de temperatura das medas dos compostos.

As temperaturas médias obtidas nas três medas de composto foram bem menores do que o esperado. KIEHL (1998) considera como faixa ótima de temperatura a que vai de 45 a 65°C. Os menores valores obtidos podem ser em função do pequeno volume do composto, uma vez que com um menor volume há maior perda de calor para o ambiente.

Outro aspecto a ser observado, é que parte do calor gerado estava sendo absorvido pelos tubos de alumínio para aquecer a água. Este aspecto é abordado por SCHULZ (1982), citado por GOTTSCHALL (1990), considerando que a retirada de energia térmica do sistema, implica em uma menor aeração, pois diminui a troca de ar por convecção.

4.2. Temperatura da água das caixas com aquecimento e sem aquecimento

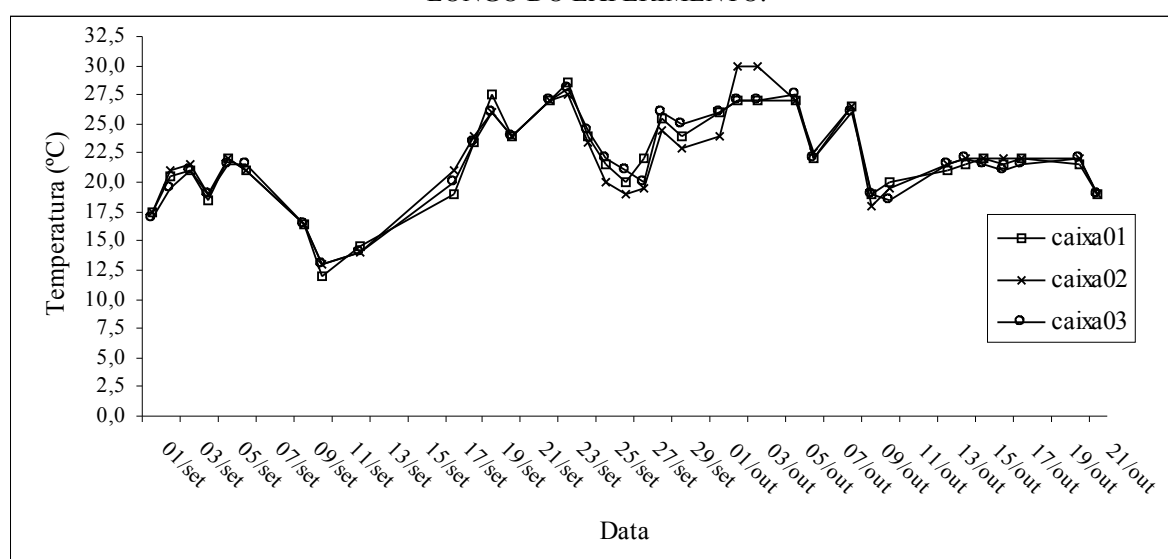
Nas caixas de água com aquecimento, obtiveram-se médias de temperatura ao longo do experimento de 22,0°C para a caixa 01, caixa 02 e caixa 03 (Tabela 02).

TABELA 02 – MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DAS TEMPERATURAS DAS TRÊS CAIXAS DE ÁGUA COM AQUECIMENTO PELA COMPOSTAGEM E DA ÁGUA SEM AQUECIMENTO.

Grupo	Média (°C)	Desvio Padrão	Coefficiente de variação
caixa01	22,0	3,76	17,1%
caixa02	22,0	3,87	17,6%
caixa03	22,0	3,72	16,9%
Água sem aquecimento	20,2	2,98	14,8%

Não houve diferença significativa na média entre as três caixas de água com aquecimento (P-value > 0,05; Apêndice 06; Figura 02).

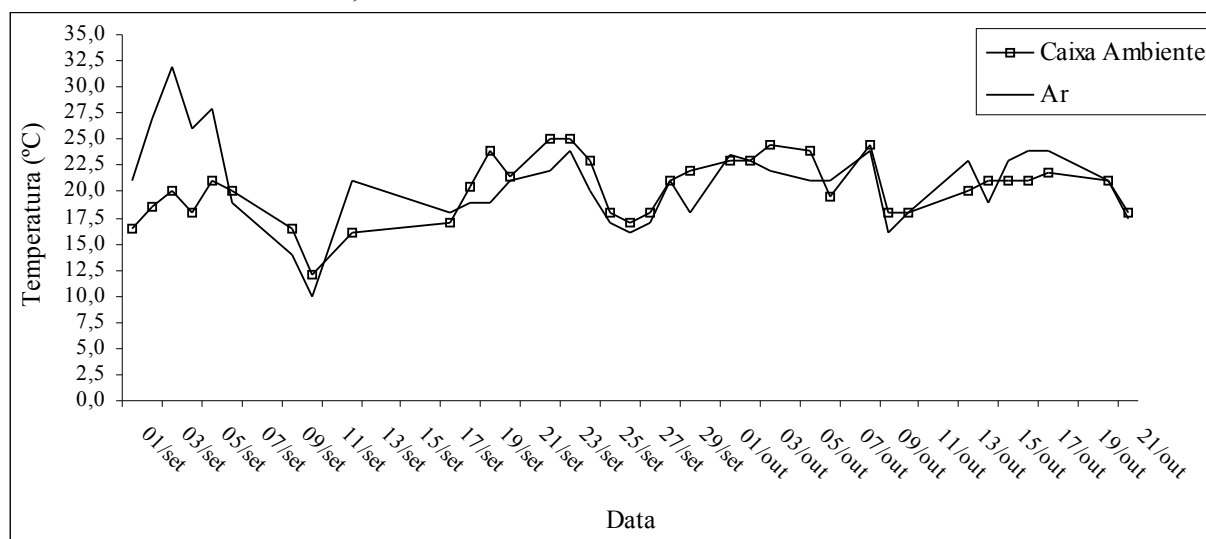
FIGURA 02 – TEMPERATURAS DAS CAIXAS DE ÁGUA COM AQUECIMENTO, MONITORADAS AO LONGO DO EXPERIMENTO.



Os coeficientes de correlação entre a caixa 01 e a meda 01, a caixa 02 e a meda 02 e a caixa 03 e a meda 03, foram de 0,560, 0,506 e 0,666, respectivamente. Não podem ser considerados valores muito expressivos de correlação, mas levando em consideração o pequeno volume das medas de composto e os resultados obtidos sobre o crescimento dos alevinos de tilápia, podem ser considerados aplicáveis.

Nas três caixas de água com água sem aquecimento, ou seja, sob efeito direto da temperatura atmosférica, as temperaturas obtidas foram praticamente iguais ao longo de todo o período de monitoramento, com variações de uma caixa para outra de menos de 0,5°C (Figura 03).

FIGURA 03 – TEMPERATURA DAS CAIXAS DE ÁGUA SEM AQUECIMENTO E A TEMPERATURA DO AR, MONITORADA AO LONGO DO EXPERIMENTO.



O coeficiente de correlação existente entre a temperatura do ar e as caixas sob efeito da temperatura ambiente foi de 0,480, menor que o coeficiente de correlação existente entre as caixas de água com aquecimento e seus respectivos compostos; ou seja, a compostagem foi mais significativa na determinação da temperatura da água do que a temperatura ambiente.

Não houve diferença significativa entre as três caixas de água sem aquecimento e a temperatura ambiente (P-value > 0,050; Apêndice 07).

Nas caixas de água sem aquecimento, as temperaturas variaram menos (coeficiente de variação de 14,98%) que a temperatura da água com aquecimento (coeficiente de variação médio de 17,2%); como o composto, após aquecer a água das caixas, em função do pequeno

volume, não conseguiu manter a temperatura da água aquecida, em alguns períodos de temperaturas mais frias, a amplitude foi maior para a água aquecida do que para a água sem aquecimento (Tabela 03), refletindo os respectivos valores do coeficiente de variação.

TABELA 03 – TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS DO AR, DA CAIXA AMBIENTE E DAS CAIXAS 01 A 03, EM GRAUS CELSIUS, E SEUS RESPECTIVOS COEFICIENTES DE VARIAÇÃO E AMPLITUDE.

	Ar	Caixa Ambiente	Caixa 01	Caixa 02	Caixa 03
Máximo	32,0	25,0	28,5	30,0	28,0
Mínimo	10,0	12,0	12,0	13,0	13,0
Amplitude	22,0	13,0	16,5	17,0	15,0
Coef. De variação	19,8%	14,8%	17,1%	17,6%	16,9%

4.3. Temperatura da água na saída dos tubos de alumínio

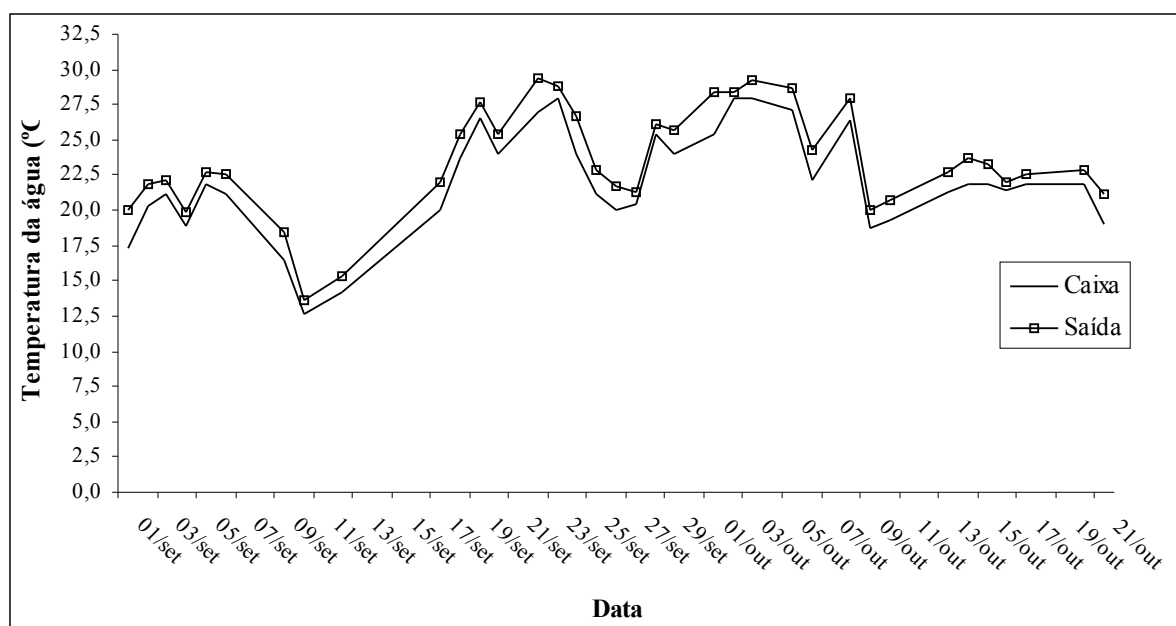
A média de temperatura da água após passar pelos tubos de alumínio foi de 23,3°C, 23,5°C e 23,7°C, para as saídas da meda 01, meda 02 e meda 03 (Tabela 04). Não houve diferença significativa entre as três saídas de água (P-value > 0,05; Apêndice 08).

TABELA 04 – MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DAS TEMPERATURAS DA ÁGUA APÓS ATRAVESSAR A COMPOSTAGEM PELOS TUBOS DE ALUMÍNIO.

Grupo	Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
Saída 01	23,3	3,748	16,1%
Saída 02	23,5	3,823	16,3%
Saída 03	23,7	4,043	17,1%

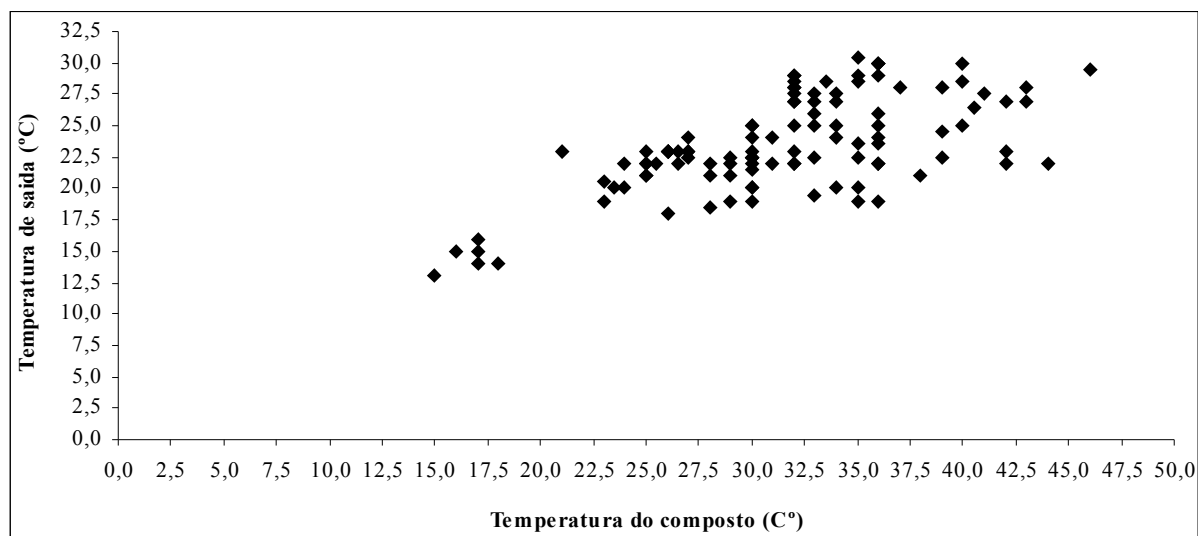
Entre a temperatura da água no instante de saída da compostagem e a temperatura das caixas de água com aquecimento houve uma diferença média de 1,5°C (Figura 04). Essa diferença se manteve praticamente constante ao longo de todo o experimento.

FIGURA 04 – DIFERENÇA ENTRE A TEMPERATURA MÉDIA DAS CAIXAS DE ÁGUA COM AQUECIMENTO E A TEMPERATURA DA ÁGUA APÓS ATRAVESSAR O COMPOSTO.



Considerando a relação entre a temperatura da água e a temperatura do composto, e aplicando a equação de correlação, obtém-se um coeficiente de 0,69, demonstrando haver uma correlação positiva (Figura 05), próxima de +1, indicando um alto grau de correlação entre os valores médios de temperatura obtidos da água no momento em que sai do sistema de tubos e a temperatura média do composto. É possível afirmar, portanto, que a temperatura do composto provocou um aumento na temperatura da água que passava pelos tubos, e um aumento na temperatura do composto será acompanhado por um aumento proporcional na temperatura da água que sai dos tubos de alumínio.

FIGURA 05 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DOS VALORES DE TEMPERATURA DA ÁGUA APÓS ATRAVESSAR O COMPOSTO E A TEMPERATURA DO COMPOSTO.



4.4. Variação nictimiral da temperatura

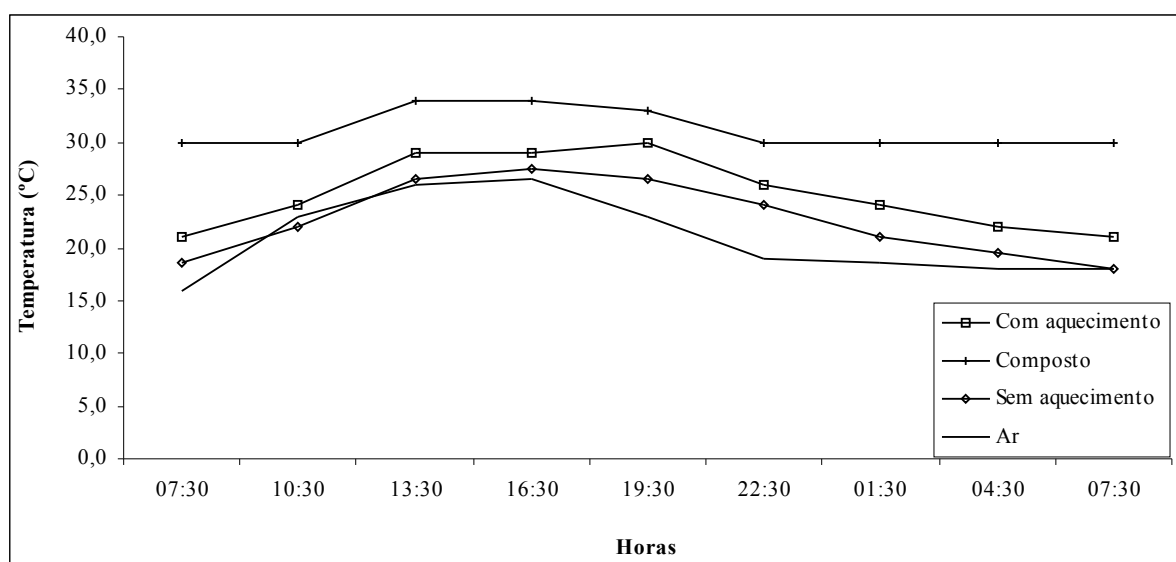
A temperatura do composto oscilou entre 30 e 34°C, com média de $31,2 \pm 1,85^\circ\text{C}$, durante o período de monitoramento nictimiral, apresentando o menor coeficiente de variação em relação aos outros parâmetros analisados. Durante a noite e nas primeiras horas da manhã, a temperatura do composto manteve-se em 30°C, aumentando gradativamente ao longo do dia e atingindo o máximo de 34°C, diminuindo a temperatura a partir das 16 h 30 min.

Essa variação de temperatura do composto deve-se ao fenômeno conhecido como inércia térmica. A inércia térmica mantém a temperatura no interior de um determinado

material bastante estável em relação às variações da temperatura externa, ou seja, durante o aquecimento o calor vai sendo transferido para o interior do material, causando um aumento progressivo da temperatura no interior do mesmo, em um processo de transferência de calor lento. Frequentemente este processo inverte o seu sentido após a diminuição da temperatura externa e inicia-se um processo de transferência de calor no sentido inverso, com o calor fluindo do interior do corpo para o exterior. Nesse momento, o tamanho do corpo é de grande importância no processo de perda de calor; quanto maior o corpo, mais lenta é a perda de calor (COSTA, 1982).

Devido à incidência da radiação solar, a superfície do composto sofreu um processo de aquecimento; considerando que o fluxo de calor acontece na direção do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura, o calor existente na superfície do composto foi progressivamente sendo conduzido ao interior do mesmo. Nesse momento, observou-se uma influência significativa da radiação solar sobre a temperatura do composto (Figura 06).

FIGURA 06 – EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DO COMPOSTO DURANTE UM PERÍODO DE 24 HORAS



A partir das 16 h 30 min, a temperatura do composto começa a diminuir, pois a incidência solar é bem menor e inicia-se um fluxo de calor do interior para o exterior, uma vez que a parte externa está mais fria que a parte interna.

A água da caixa com aquecimento pela compostagem manteve uma temperatura média de $25,1 \pm 3,55^{\circ}\text{C}$, com mínima de $21,0^{\circ}\text{C}$ e máxima de $30,0^{\circ}\text{C}$, enquanto que a água da caixa sem aquecimento pela compostagem manteve uma média de $22,6 \pm 3,66^{\circ}\text{C}$, com mínima de $18,0^{\circ}\text{C}$ e máxima de $27,5^{\circ}\text{C}$ (TABELA 05).

TABELA 05 – TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS DA ÁGUA COM AQUECIMENTO, DO COMPOSTO, DA ÁGUA SEM AQUECIMENTO E DO AR, E SUAS RESPECTIVAS MÉDIAS, DESVIOS PADRÃO E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO.

	Água com aquecimento	Composto	Água sem aquecimento	Ar
Mínimo ($^{\circ}\text{C}$)	21,0	30,0	18,0	16,0
Máximo ($^{\circ}\text{C}$)	30,0	34,0	27,5	26,5
Média ($^{\circ}\text{C}$)	25,1	31,2	22,6	20,9
Desvio Pd	3,55	1,86	3,66	3,81
CV (%)	14,1	5,9	16,2	18,3

Considerando os parâmetros ideais para cultivo e reprodução da maioria das espécies de animais aquáticos cultiváveis, a situação de temperatura da caixa com aquecimento da água pelo composto, é mais interessante, pois está mais próxima da zona de conforto desses animais (TAMASSIA, 1996; VALENTI, 1998; ARANA, 1999; KUBITZA, 2000)

4.5. Crescimento dos peixes

O peso inicial médio dos alevinos foi de $0,85 \pm 0,14$ gramas para o sistema com aquecimento e $0,82 \pm 0,18$ gramas para o sistema sem aquecimento (Tabela 06). Não houve diferença significativa de peso inicial entre os lotes de alevinos ($P\text{-value} > 0,05$; Apêndice 09).

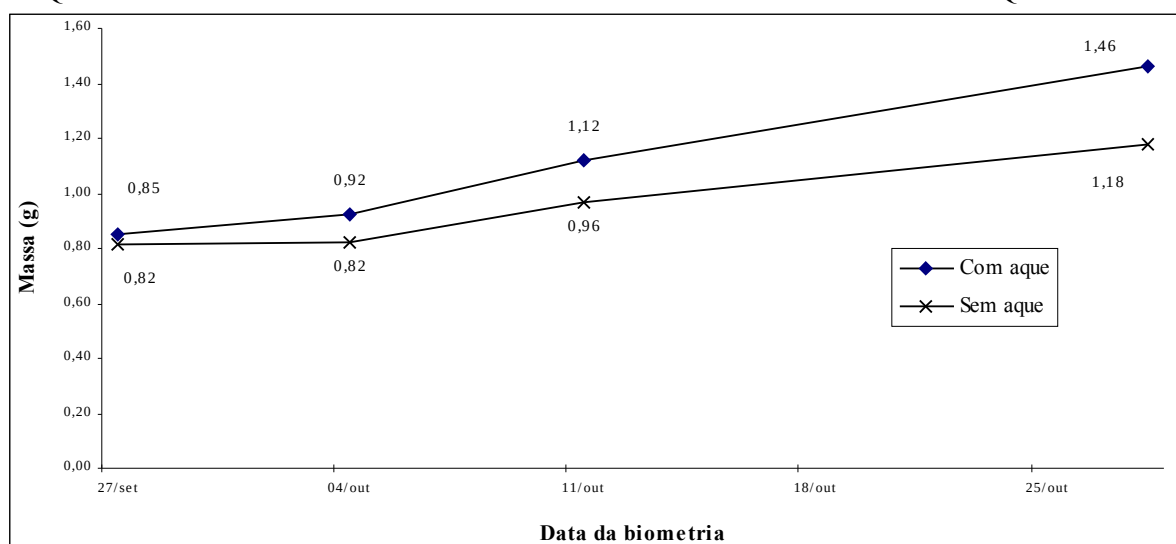
TABELA 06 – PESO MÉDIO, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO INICIAL DOS ALEVINOS POVOADOS NAS CAIXAS COM E SEM AQUECIMENTO.

Grupo	Média (g)	Desvio Padrão	Coeficiente de variação
Com Aquecimento	0,85	0,14	16,5%
Sem Aquecimento	0,82	0,18	21,6%

Houve diferença significativa entre o peso final dos lotes cultivados (P-value < 0,05; Apêndice 10), ou seja, os alevinos no ambiente aquecido obtiveram um melhor desempenho se comparado aos alevinos do ambiente sem aquecimento. O peso final médio dos indivíduos, no corrente trabalho, foi de $1,46 \pm 0,295$ para o sistema de cultivo com aquecimento pela compostagem e $1,18 \pm 0,256$ para o sistema de cultivo sem aquecimento, influenciados unicamente pela temperatura ambiente, resultando em uma diferença na média do peso entre os alevinos dos dois tratamentos de aproximadamente 24,0% (Figura 07).

Nesse sentido, Rocha, citado por Hamilton *et al.* (1998), afirma que a temperatura é um fator muito importante na aquicultura, pois influencia diretamente nos processos fisiológicos dos organismos aquáticos.

FIGURA 07 – CRESCIMENTO DOS ALEVINOS DE TILÁPIA NO SISTEMA DE CULTIVO COM AQUECIMENTO UTILIZANDO COMPOSTAGEM E SISTEMA DE CULTIVO SEM AQUECIMENTO



5. CONCLUSÕES

O presente estudo mostrou que a compostagem, dentro das condições deste trabalho, pode ser considerada uma fonte de geração de calor de baixo custo, para aquecimento de pequenos módulos de água utilizados na aquicultura, aproveitando resíduos da produção agropecuária disponíveis na maioria das propriedades rurais.

A temperatura da água sofreu influência da compostagem, permitindo um diferencial de 2,0°C. Em função do pequeno volume dos componentes do sistema, houve uma significativa variação de temperatura entre os períodos com e sem incidência de radiação solar.

O incremento em peso dos alevinos de tilápia cultivados neste sistema foi de aproximadamente 24,0%. Desta forma, pode-se concluir que o sistema com aquecimento de água pela compostagem possuía condições mais adequadas ao desenvolvimento dos animais, pois a temperatura da água encontrava-se em uma faixa mais apropriada ao seu desenvolvimento se comparada à faixa de temperatura da água sem aquecimento.

A partir da experiência acumulada com a presente pesquisa, propõe-se outros estudos que possam vir a colaborar no dimensionamento deste sistema. Dentre eles está: os relacionados ao tipo de insumo utilizado na montagem do composto, às dimensões das medas e ao volume de água utilizado no sistema.

6. REFERÊNCIAS

ARANA, Luis Vinatea. **Aqüicultura e desenvolvimento sustentável:** subsídios para a formulação de políticas de desenvolvimento da aqüicultura brasileira. Florianópolis, SC; Ed. da UFSC, 1999.

BANZATO, David Ariovaldo; KRONKA, Sérgio Nascimento. **Experimentação agrícola.** Jaboticabal, FUNEP. 1992

BEUX, Luiz Fernando; CAMPAGNOLO, Rodrigo; BOMBARDELLI, Robie Allan; HERMES, César Ademar; BOSCOLO, Wilson Rogério. **Característica de Carcaça da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em Diferentes Categorias de Peso.** In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PESCA, Foz do Iguaçu. 2001.

CARVALHO FILHO, Jomar; MATHIAS, Marco Antonio de Campos. **Larvicultura em sistema fechado estático.** Carcinicultura de água doce: Tecnologia para a produção de camarões/ editado por Wagner Cotroni Valenti – Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 1998

CAVALCANTI, Lourivaldo Barreto; CORREIA, Eudes de Souza; CORDEIRO, Elias Alves. **Camarão: manual de cultivo do *Macrobrachium rosenbergii* (pitu havaiano – gigante da Malásia).** Aquaconsult; Recife. 1986

COSTA, Enio Cruz de. **Arquitetura ecológica:** condicionamento térmico natural. São Paulo; Ed. Blücher, 1982.

GOSTTSCHALL, Ralf. **Kompostierung: optimale Aufbereitung und Verwendung organischer Materialien im ökologischen Landbau.** Ralf Gottschall. 4ª Aufl. Karlsruhe: Müller, 1990. 296 p.

HAMILTON, S.; PEREIRA, J. A.; SILVA, A. L. N. Cultivo de tilápia vermelha (híbrido de *Oreochromis* spp) em viveiros estuarinos: Estudo de caso. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE AQUICULTURA, 1, Recife, 1998. **Anais...**Recife, p. 727- 735.

HOLMAN, Jack Philip. **Transferência de calor.** Tradução Luiz Fernando Milanez. São Paulo: McGraw-Hill, 1983. 640 p.

HU, Dan; WANG, Rusong; YAN, Jingsong; XU, Cheng; WANG, Yinbing. A pilot ecological engineering project for municipal solid waste reduction, disinfection, regeneration and industrialization in Guanghai City, China. **Ecological Engineering** 11 (1998) 129–138

IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas Climáticas do Paraná.** CD room, Versão 1.0. não paginado. 2000.

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 4ª ed. Tradução: Sérgio Stamile Soares. Rio de Janeiro, Ed. LTC, 1998. 650 p.

KERN, Donald Q. **Processos de transmissão de calor**. Tradução: Adair M. Luiz. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1982. 671 p.

KIEHL, Edmar José. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**/Edmar José Kiehl, Piracicaba: E. J. Kiehl. 1998. 180 p.

KREITH, Frank. **Princípios de transmissão de calor**. 3ª ed. Tradução: Eitaro Yamane, Otavio de Mattos Silveiras e Virgílio Rodrigues Lopes de Oliveira. São Paulo, Ed. Bülcher, 1977. 550 p.

KUBITZA, Fernando. **Tilápia: Tecnologia e Planejamento na Produção Comercial**. Fernando Kubitz. Jundiaí, SP. 1ª edição. 2000

LAGLER, Karl F.; BARDACH, J. E.; MILLER, R. R. **Ichthyology**. Canadá. Quinn-Woodbine, Inc. 1977. 506 p.

LAM, T. J.: Environmental influences on gonadal activity in fish. In: **Fish Physiology**. Vol. IXB, p. 65-116, 1983.

MIYASHITA, Crisanto Mitsuo; ROSSINI, Eduardo; CUNHA, Euraim Queiroz; IWATA, Milton Kazuto; MALUF, Wilson Roberto. **Compostagem e sua aplicação**. Universidade Federal de Lavras. Boletim técnico de Hortaliças Nº 66; 1ª Edição, 2001.

ODUM, Eugene . **Ecologia**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Kogan, 1983.

ORR, Robert. **Biologia dos Vertebrados**. 5ª ed. Editora Roca Ltda São Paulo, SP. 1986. 508 p.

OSTRENSKY, Antonio; VIANA, Luis de Souza; VIDAL JUNIOR, Manuel Vasquez. A dança dos números da Piscicultura Paranaense. **Panorama da Aqüicultura**, Rio de Janeiro, v.14, n.84, p. 28-32, 2004.

PERES, Clarita Schwartz; NAUMOFF, Alexandre Ferraz. Destinação de Resíduos Sólidos Urbanos: O Processo de Compostagem. **II Reunião Nacional de Microbiologia aplicada**. anais... VOLUME II, Editado por Carlos Henrique Lemos Soares; Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis; 1998. Disponível em <http://www.ufsc.br/ccb/PDF/c7.PDF>

PINHEIRO, Antonio Amaro; HEBLING, Nilton Jose. **Biologia do *Macrobrachium rosenbergii* (De Mann, 1879)**. Carcinicultura de água doce: Tecnologia para a produção de camarões/ editado por Wagner Cotroni Valenti – Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 1998

SCHMIDT, Frank; HENDERSON, Robert E.; WOLGEMUTH, Carl H. **Introdução as Ciências Térmicas**: termodinâmica, mecânica dos fluidos e transferência de calor. Tradução José Roberto Simões Moreira. São Paulo: Blüchner, 1996. 466 p.

SEDIYAMA, Maria Aparecida Nogueira, GARCIA, Neusa Catarina Pinheiro, VIDIGAL, Sanzio Mollica. **Nutrientes em compostos orgânicos de resíduos vegetais e dejetos de suínos.** *Sci. agric.*, jan./mar. 2000, vol.57, no.1, p.185-189

TAMASSIA, S. T. J. **Carpa comum (*Cyprinus carpio*):** produção de alevinos. Florianópolis: EPAGRI, 1996. 75 p. (EPAGRI. Boletim Técnico, 76)

VALENTI, Wanger Cortroni; MALLASEN, Margarete; SILVA, Carlos Alberto da. **Larvicultura em sistema fechado dinâmico.** Carcinicultura de água doce: Tecnologia para a produção de camarões/ editado por Wagner Cortroni Valenti – Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 1998

VAN GINKEL, J. T.; VAN HANEGHEM, I. A.; RATAS, P. A. C. **Physical Properties of Composting Material:** Gas Permeability, Oxygen Diffusion Coefficient and Thermal Conductivity. *Biosystems Engineering* 81 (1), p.113 – 125, 2001.

VAZZOLER, A. E. A. de M. **Biologia da Reprodução de Peixes Teleósteos:** Teoria e Prática. Maringá, PR; EDUEM; São Paulo: SBI, 1996. 169 p.

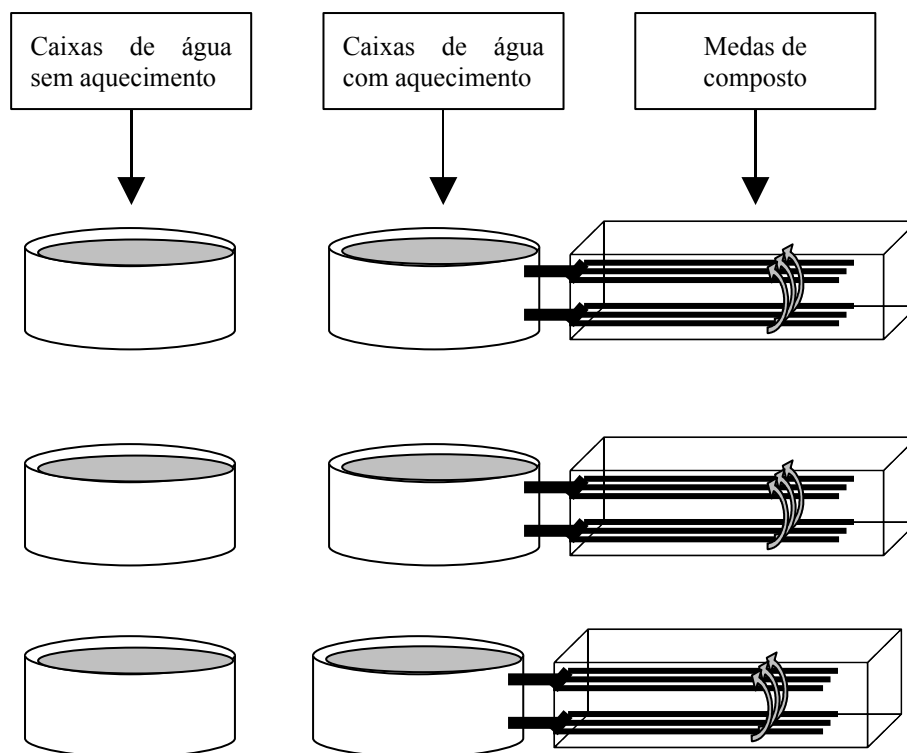
VIANELLO, Rubens Leite. **Meteorologia básica e aplicações.** Viçosa, UFV, Impr. Univ. 1991. 449p. Ilust.

VIDAL JUNIOR, Manuel Vasquez. Peixes ornamentais: reprodução em aquicultura. *Panorama da Aqüicultura*, Rio de Janeiro, v.13, n.79, p.22-27, 2003.

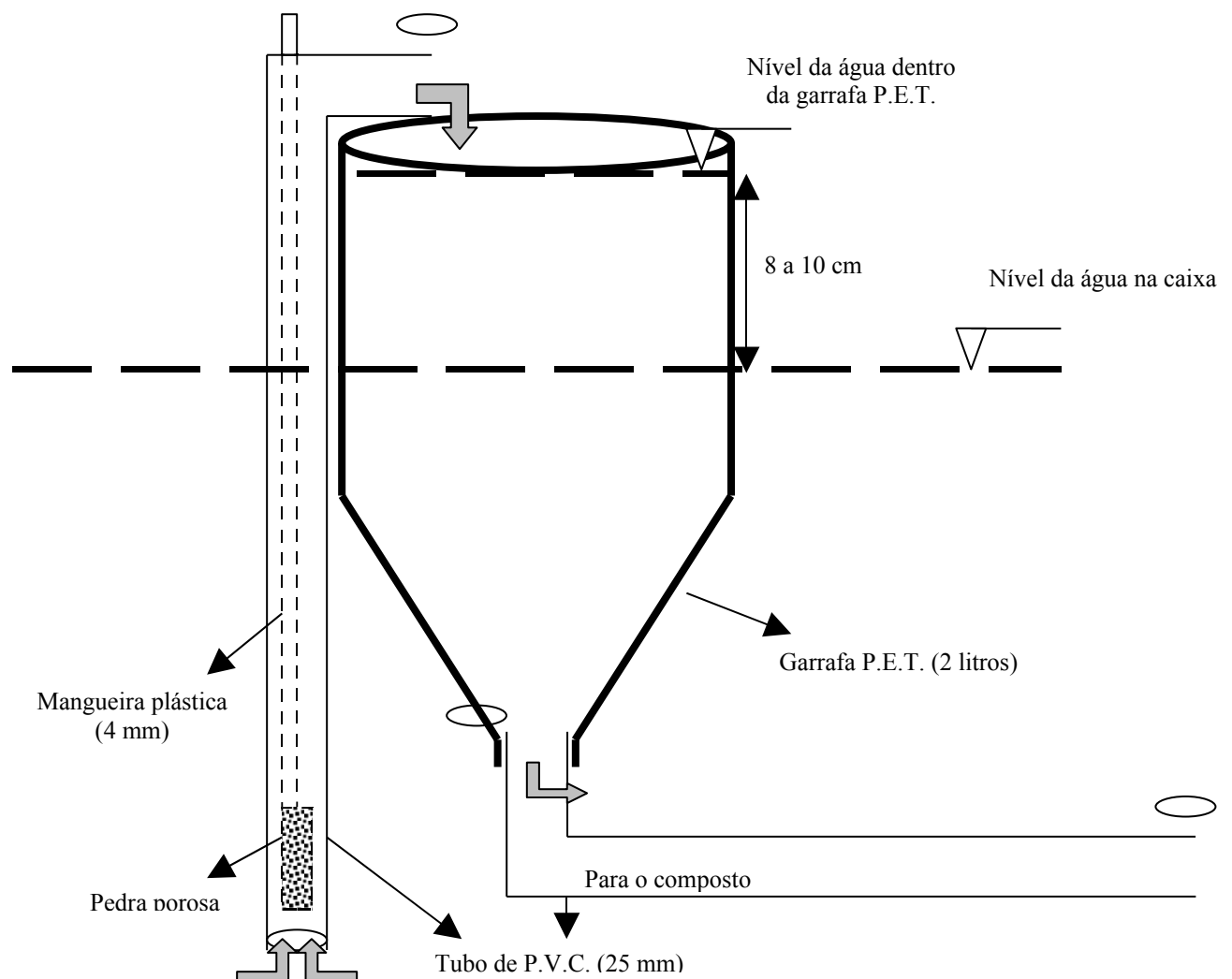
VIEIRA, Sonia; HOFFMANN, Rudolfo. **Elementos de Estatística.** São Paulo: Atlas, 1986.

7. APÊNDICES

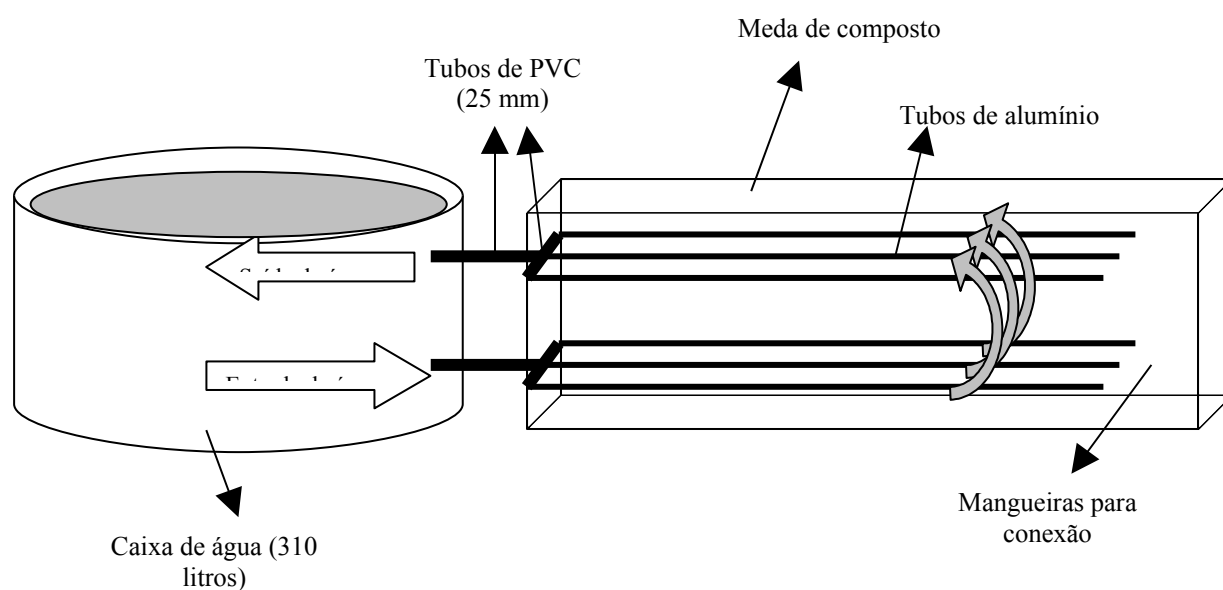
Apêndice 01 – Croqui demonstrativo do delineamento experimental.



Apêndice 02 – Croqui do dispositivo utilizado para forçar a circulação da água por entre os tubos de alumínio



Apêndice 03 - Croqui da disposição dos tubos de alumínio acomodados no meio das medas de composto e conectados a caixa de água.



Apêndice 04 – Tabela ANOVA para as temperaturas das três medas de composto ao longo da primeira etapa

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	16,726852	2	8,363425926	0,205195	0,814814	3,082846
Dentro dos grupos	4279,625	105	40,75833333			
Total	4296,3519	107				

Apêndice 05 – Tabela ANOVA para a temperatura do ar e das temperaturas das três medas de composto ao longo da primeira etapa do experimento

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	3147,674	3	1049,225	30,687	0,000000	2,669253
Dentro dos grupos	4786,764	140	34,19117			
Total	7934,438	143				

Apêndice 06– Tabela ANOVA para a temperatura da água nas três caixas sob efeito do calor gerado pela compostagem ao longo da primeira etapa

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,0324	2	0,0162	0,0011	0,9989	3,0828
Dentro dos grupos	1504,9583	105	14,3329			
Total	1504,9907	107				

Apêndice 07– Tabela ANOVA para a temperatura do ar e da água nas caixas sem aquecimento ao longo da primeira etapa

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	6,2422	1	6,2422	0,4820	0,4898	3,9778
Dentro dos grupos	906,5889	70	12,9513			
Total	912,8311	71				

Apêndice 08– Tabela ANOVA para a temperatura da água na saída dos tubos de alumínio ao longo da primeira etapa

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	3,792	2	1,896	0,126	0,881	3,083
Dentro dos grupos	1575,625	105	15,006			
Total	1579,417	107				

Apêndice 09– Tabela ANOVA para o peso inicial dos alevinos de tilápia

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,01724009	1	0,01724	0,684473	0,411174	3,993363862
Dentro dos grupos	1,58680606	63	0,025187			
Total	1,60404615	64				

Apêndice 10– Tabela ANOVA para o peso final dos alevinos de tilápia

ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,29967573	1	1,299676	16,99	0,000	3,99

Dentro dos grupos	4,81962273	63 0,076502
Total	6,11929846	64

8. ANEXO

Anexo 01 – Sistema sugerido por SCHULZ, e citado por GOTTSCHALL (1990) para coleta do calor gerado pela compostagem de resíduos de suínos, para aquecer água.

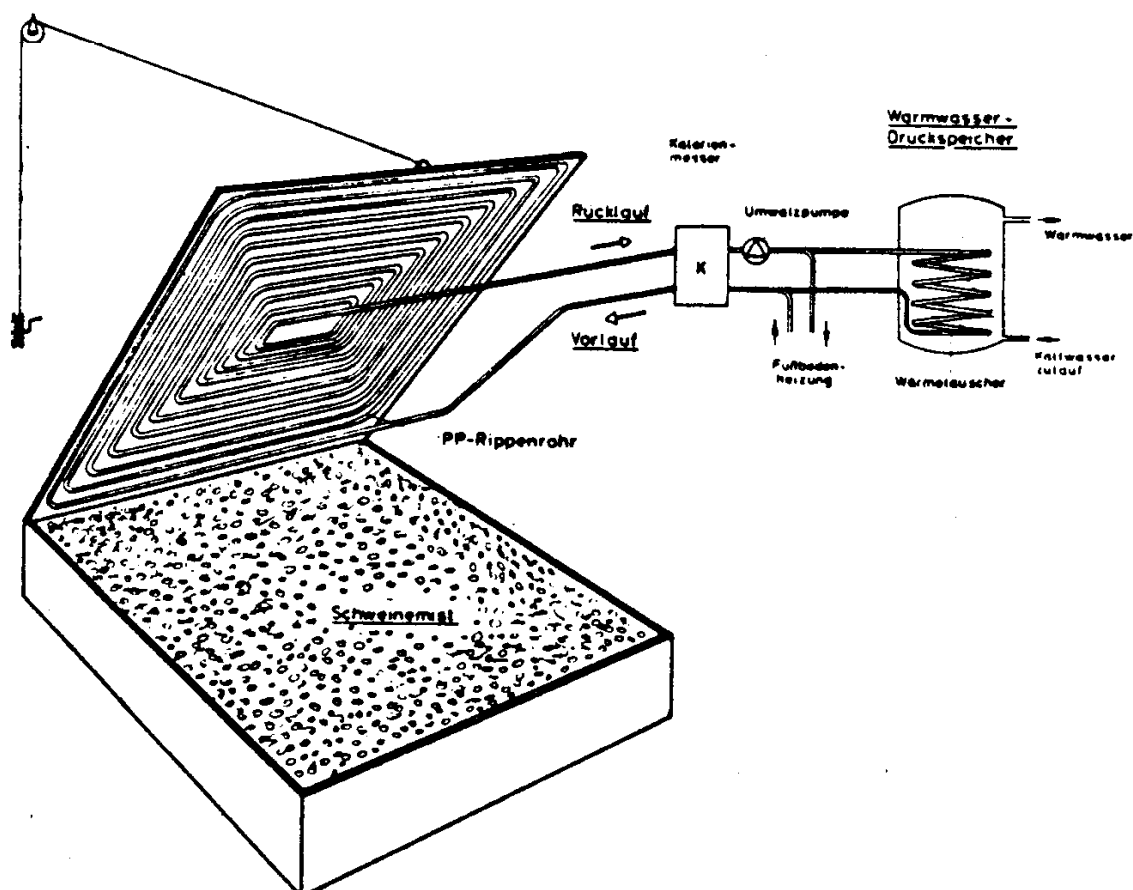


Abb. 51:

Mistkollektoranlage zum Entzug von Wärme bei der Kompostierung von Festmist auf dem Betrieb Koch (SCHULZ, 1982)