



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
QMC 5515 - Estágio Supervisionado

RENAN DA FONSECA BEZ
Supervisor: Philipe Medeiros da Costa
Orientador: Luciano Vitali, Dr.

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO DESENVOLVIDO NA EMPRESA
DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA
(EPAGRI) DE FLORIANÓPOLIS/SC**

Florianópolis
2020

Renan da Fonseca Bez

**AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE COMPOSTAGEM COMO UMA SOLUÇÃO
ALTERNATIVA PARA A RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS
DA MALACOCULTURA GERADOS EM FLORIANÓPOLIS**

Projeto de Estágio Supervisionado (QMC 5515) apresentado ao Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Catarina desenvolvido no Escritório Municipal de Florianópolis da EPAGRI, sob supervisão do Extensionista Rural e Engenheiro Agrônomo Philipe Medeiros da Costa.
Orientador: Luciano Vitali, Dr.

Florianópolis
2020

Renan da Fonseca Bez

**AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE COMPOSTAGEM COMO UMA SOLUÇÃO
ALTERNATIVA PARA A RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS
DA MALACOCULTURA GERADOS EM FLORIANÓPOLIS**

Relatório de Estágio Supervisionado desenvolvido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Química Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Renan da Fonseca Bez

Luciano Vitali, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2020.

SUMÁRIO

1	JUSTIFICATIVA	8
2	APRESENTAÇÃO DO LOCAL DE ESTÁGIO	9
3	REVISÃO DA LITERATURA	10
3.1	A aquicultura e a malacocultura	10
3.1.1	<i>A maricultura em Santa Catarina</i>	10
3.1.2	<i>A malacocultura em Florianópolis</i>	11
3.2	Os impactos da malacocultura	11
3.2.1	<i>Resíduos sólidos da malacocultura</i>	11
3.3	A técnica de compostagem	12
3.3.1	<i>Características de uma compostagem</i>	12
3.3.2	<i>Principais parâmetros da compostagem</i>	13
3.3.3	<i>Transformações químicas que ocorrem durante a compostagem</i>	14
3.3.4	<i>O composto orgânico</i>	16
3.3.5	<i>A compostagem aplicada aos resíduos da aquicultura</i>	18
3.4	Procedimentos analíticos empregados	18
3.4.1	<i>Nitrogênio e carbono orgânico</i>	18
3.4.2	<i>Ânions</i>	19
3.4.3	<i>Espectroscopia de absorção atômica</i>	20
4	OBJETIVOS	23
4.1	Objetivo Geral	23
4.2	Objetivos Específicos	23
5	METODOLOGIA DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ESTÁGIO	24
5.1	Montagem e acompanhamento das leiras de compostagem	24
5.1.1	<i>Amostras de resíduos marinhos</i>	24
5.1.2	<i>Leira de compostagem 1</i>	25
5.1.3	<i>Leira de compostagem 2</i>	26
5.1.4	<i>Acompanhamento das leiras e coleta das amostras do composto</i>	26
5.2	Caracterização do composto gerado	27
5.2.1	<i>Equipamentos e reagentes</i>	27
5.2.2	<i>Atividades nos laboratórios de ensino da UFSC</i>	27
5.2.2.1	<u>Preparo das amostras e do extrato de saturação</u>	27
5.2.2.2	<u>Análises diretas</u>	28
5.2.2.3	<u>Análises com o extrato de saturação</u>	28
5.2.3	<i>Atividades no Laboratório Experimental do Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar (CEPAF)</i>	29
5.2.4	<i>Segurança no laboratório e tratamento de resíduos</i>	29
6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ESTÁGIO	30

6.1	Monitoramento e detalhes do processo das compostagens	30
6.1.1	<i>Composição química dos resíduos orgânicos da malacocultura .</i>	30
6.1.2	<i>Estrutura das leiras</i>	32
6.1.3	<i>Temperatura das leiras</i>	33
6.1.4	<i>Término e tombamento das compostagens</i>	34
6.2	Avaliação dos compostos orgânicos	36
6.2.1	<i>Parâmetros físico-químicos e matéria orgânica</i>	36
6.2.2	<i>Análises dos minerais</i>	39
7	CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS	42
8	CONTRIBUIÇÃO DO ESTÁGIO À FORMAÇÃO PROFISSIONAL . .	43
9	REFERÊNCIAS	44
10	ANEXOS	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Moluscos mais populares em SC: a) mexilhão (<i>Perna perna</i>) e b) ostra (<i>Crassostrea gigas</i>).	10
Figura 2 – Exemplo de uma leira de compostagem estática de médio porte. . .	13
Figura 3 – Exemplo genérico da variação de temperatura em uma leira de compostagem termofílica.	14
Figura 4 – Resumo das transformações durante uma compostagem termofílica.	14
Figura 5 – Ciclo global do carbono.	15
Figura 6 – a) Precursores básicos e b) principais unidades aromáticas da molécula de lignina.	16
Figura 7 – Estrutura dos ácidos húmicos desenvolvida através do modelo macromolecular.	17
Figura 8 – Dispositivo utilizado no queimador por mistura prévia.	21
Figura 9 – Dispositivo utilizado no forno de grafite.	22
Figura 10 – Localização do CETRE com foco no terreno onde foram montadas as leiras.	24
Figura 11 – Localização da fazenda marinha Ostravagante, de onde foram retirados os resíduos.	25
Figura 12 – Fotos da leira 1 antes (esq.) e depois (dir.) da montagem de sua cobertura (dimensões: 0,70 m de altura, 1,00 m de largura e 2,00 m de comprimento).	25
Figura 13 – Fotos da leira 2 antes da montagem de sua cobertura (dimensões: 1,00 m de altura, 0,80 m de largura e 1,80 m de comprimento). . . .	26
Figura 14 – Resíduos sólidos orgânicos da malacocultura antes do tratamento. .	31
Figura 15 – a) Esquema ilustrativo da leira em camadas alternadas entre o material estruturante (M.E) e o resíduo orgânico (R.O) e b) camada de resíduos orgânicos durante a montagem das compostagens.	32
Figura 16 – a) Variação da temperatura registrada na leira 1 (em vermelho) e b) na leira 2 (em verde) em relação à temperatura ambiente (em azul).	33
Figura 17 – a) Leira 1 aberta no dia do tombamento constituída por uma mistura entre as conchas, o composto orgânico final e a palha sem mudanças visíveis e b) as conchas sem resíduos indesejáveis no final do processo.	35
Figura 18 – Compostos orgânicos finais da leira 1 (à esquerda) e da leira 2 (à direita).	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química (em %) de conchas de ostra encontrada na literatura.	31
Tabela 2 – Especificações dos parâmetros físico-químicos em fertilizantes orgânicos mistos e compostos classe A.	37
Tabela 3 – Resultado dos parâmetros físico-químicos obtidos nas amostras dos compostos orgânicos.	37
Tabela 4 – Composição de macronutrientes e alguns íons nas amostras dos compostos.	39

RESUMO

A malacocultura, ramo específico da aquicultura, envolve o cultivo de moluscos bivalves e possui grande importância em Santa Catarina com destaque para Florianópolis. Um dos desafios relatados por maricultores é a alta quantidade de resíduos sólidos orgânicos que não dispõem de destinação adequada, gerando inúmeros inconvenientes. Este trabalho visa desenvolver uma pesquisa interdisciplinar com o objetivo de reduzir os danos causados por esses resíduos, auxiliando os produtores locais. O estágio relatado possui caráter teórico-prático e foi realizado no Escritório Municipal da EPAGRI de Florianópolis e no Departamento de Química da UFSC. A pesquisa foi dividida em três partes, sendo a primeira um estudo teórico, a segunda correspondendo a montagem e o acompanhamento periódico de duas leiras de compostagem com dejetos da malacocultura de baixa temporada (junho e julho de 2019) e na última etapa os compostos orgânicos gerados no decorrer do processo foram submetidos à diversas análises químicas para averiguar eventuais propriedades fertilizantes. O estudo apontou que a técnica da compostagem termofílica pode ser uma alternativa viável para diminuir os problemas gerados pelos rejeitos sólidos da atividade, sendo capaz de ser efetuada pelos próprios produtores. Houve necessidade da utilização de outras fontes de matéria orgânica para maximizar a decomposição termofílica devido aos rejeitos de baixa temporada possuírem alto percentual de conchas. A média de duração das compostagens foi de 57 dias e os compostos orgânicos formados apresentaram bom potencial fertilizante por meio de suas composições químicas.

Palavras-chave: compostagem, malacocultura, resíduos sólidos.

1 JUSTIFICATIVA

O escritório municipal de Florianópolis da EPAGRI, localizado no bairro Itacorubi, tem como principal função difundir tecnologia e políticas públicas para produtores primários com característica familiar da cidade. A maricultura possui grande destaque em todo o estado de Santa Catarina, sendo este o local precursor da produção de forma comercial no Brasil. O grupo dos moluscos bivalves marinhos encontrou nas baías da Ilha de Santa Catarina o ambiente ideal para se desenvolverem, tornando a cidade a Capital Nacional da Ostra e trazendo, conseqüentemente, um grande potencial para geração de renda familiar. Buscando parcerias para realizar ações a fim de auxiliar a comunidade aquícola do município, o escritório municipal decidiu apoiar este projeto visando a interdisciplinaridade e a possibilidade de um estudo em conjunto com o Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Catarina.

Com o aumento progressivo do cultivo na região surgem alguns desafios. Um dos mais relevantes é que o crescimento aconteça de maneira social e ecologicamente sustentável. Uma preocupação que é cada vez maior no setor é a destinação para os resíduos indesejáveis gerados pela produção, dos quais grande parte é descartada de forma irregular acarretando em prejuízos ao meio ambiente. Muitos dos produtores têm interesse em métodos alternativos para minimizar os danos causados pelo descarte incorreto. Nesse sentido, avaliações químicas podem contribuir de maneira significativa com estudos relacionados a esses problemas, estimulando melhorias nas condições de trabalho dos produtores primários, aumentando a qualidade do alimento que está sendo produzido e colaborando para um crescimento cada vez mais sustentável da atividade.

O estágio aqui apresentado foi dividido em funções teóricas e práticas, desenvolvidas tanto na EPAGRI quanto nos laboratórios de ensino do Departamento de Química da UFSC com o objetivo de disseminar conhecimento e informações úteis para os maricultores não só da cidade de Florianópolis, mas de todo o estado de Santa Catarina.

2 APRESENTAÇÃO DO LOCAL DE ESTÁGIO

A EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina) é uma empresa pública, vinculada ao Governo do Estado de Santa Catarina por meio da Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca. Foi criada no ano de 1991 com o objetivo de unificar o órgão estadual de extensão rural (ACARESC), o órgão oficial de pesquisa agropecuária (EMPASC), a Associação de Crédito e Assistência Pesqueira de Santa Catarina (ACARPESC) e o Instituto de Apicultura de Santa Catarina (IASC).

Sua missão é transmitir conhecimento, tecnologia e extensão para o desenvolvimento sustentável do meio rural e pesqueiro, em benefício da sociedade e sua visão é ser reconhecida nos cenários estadual e nacional como modelo de excelência em pesquisa agropecuária, extensão rural e gestão. Tem como principais objetivos promover a preservação, recuperação, conservação e utilização sustentável dos recursos naturais, promover a melhoria da qualidade de vida do meio rural e pesqueiro, e buscar a competitividade da agricultura catarinense frente a mercados globalizados, adequando os produtos às exigências dos consumidores.

Conta com um total de 1731 colaboradores no ano de 2020 e encontra-se presente em praticamente todas as cidades de Santa Catarina, com uma estrutura dividida em dez Unidades de Gestão Técnica (UGTs) distribuídas em 23 gerências regionais localizadas em pontos estratégicos, 13 centros de treinamentos, 294 escritórios municipais, 4 centros especializados e 9 estações experimentais com 3 campos experimentais, além da sede que é responsável por planejar, supervisionar, coordenar e controlar as atividades relacionadas à execução de pesquisa agropecuária, assistência técnica e rural.

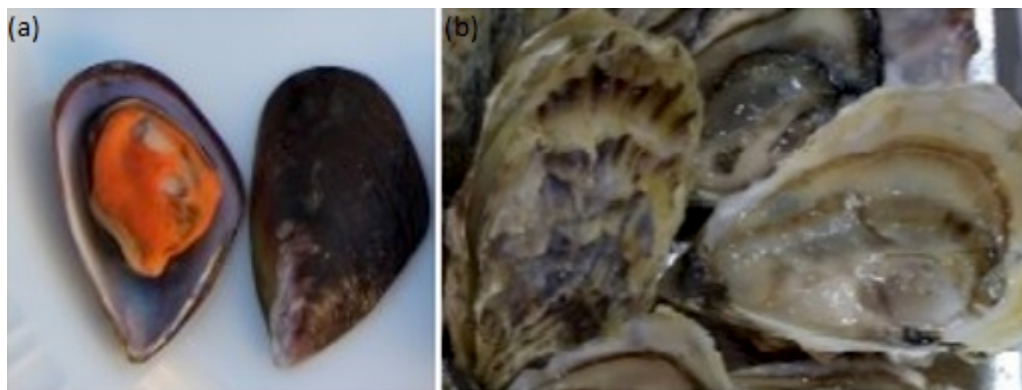
O trabalho da EPAGRI alcança de maneira eficiente todo o Estado de Santa Catarina distribuindo-se conforme características edafoclimáticas, atuando de forma relevante em favor da sociedade catarinense como um todo, da agricultura familiar e da pesca artesanal. Na cidade de Florianópolis localizam-se a sede, 1 gerência regional, 3 centros especializados, 1 centro de treinamento e 1 escritório municipal onde, entre outros projetos, são planejadas e executadas atividades que contribuem para o avanço da produção aquícola e pesqueira no estado e auxiliam pescadores artesanais.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 A aquicultura e a malacocultura

A aquicultura, ciência que estuda a produção de organismos aquáticos como algas, crustáceos e peixes, é o segmento de criação animal que mais cresce no mundo.¹ A atividade aquícola é dividida em diversos setores, sendo a maricultura denominada como a produção de organismos aquáticos em águas marinhas. A malacocultura é o nome específico dado à prática de cultivo de moluscos, entre eles os moluscos bivalves como mexilhões, ostras e vieiras. Esta é uma forma de maricultura onde não há entrada de alimento ou fertilizantes, causa impactos positivos ao meio ambiente e produz um alimento nutritivo. O cultivo de mexilhões (Figura 1a) ainda pode ser chamado de mitilicultura e o de ostras (Figura 1b), ostreicultura.^{2,3}

Figura 1 – Moluscos mais populares em SC: a) mexilhão (*Perna perna*) e b) ostra (*Crassostrea gigas*).



Fonte: EPAGRI e PMF, modificado (2019).

3.1.1 A maricultura em Santa Catarina

A maricultura foi introduzida em Santa Catarina no final da década de 1980 pela extinta ACARPESC em conjunto com a UFSC. Atualmente o estado é o maior produtor nacional de moluscos, contribuindo com cerca de 95% da produção brasileira de mexilhões e ostras.⁴ Segundo a Síntese Informativa da Maricultura de 2017 foram comercializadas 13.699 toneladas de moluscos em Santa Catarina, com 565 maricultores atuando diretamente e 1.935 trabalhadores envolvidos em toda a cadeia produtiva. Esta atividade proporcionou aproximadamente R\$ 67.348.739,69 de movimentação financeira bruta.⁵

3.1.2 A malacocultura em Florianópolis

O ambiente das baías da Ilha de Santa Catarina é ideal para a criação de ostras, mexilhões e até mesmo vieiras. Em 2017, Palhoça foi o município que mais contribuiu na produção de mexilhões (*Perna perna*) no estado (com 71,4% do total) e Florianópolis o que mais contribuiu no cultivo de vieiras (*Nodipecten nodosus*), produzindo quase a totalidade (99,1%). A capital catarinense ainda é responsável por 71,9% da criação de ostras (*Crassostrea gigas*), atingindo a marca de 97,6% quando considerados todos os cinco municípios que contemplam as baías norte e sul da ilha (Biguaçu, Governador Celso Ramos e São José, além dos já citados). Florianópolis é tida como um centro de excelência na produção de bivalves, sendo conhecida como “capital da ostra”.^{3,5}

O sucesso da atividade na cidade e em todo o estado não seria possível sem a parceria bem-sucedida entre UFSC e EPAGRI. Entre outros participantes, o trabalho coordenado de pesquisa e extensão destas duas instituições tem papel vital para o sucesso da maricultura em Santa Catarina. Diretamente relacionado a isso, deve-se citar que a produção de sementes de moluscos é mantida pelo Laboratório de Moluscos Marinhos – LMM/UFSC, sendo este o único laboratório nacional a produzir regularmente sementes de ostra do pacífico (*Crassostrea gigas*). Em 2017, o LMM comercializou 41 milhões de sementes, atendendo 80 produtores.²⁻⁴

3.2 Os impactos da malacocultura

Os reflexos na geração de empregos, no aumento da renda familiar e na condição social de milhares de catarinenses em consequência da malacocultura é evidente, porém o crescimento acelerado da atividade na região também carrega alguns impactos ambientais negativos. Várias fontes citam diversas problemáticas relacionadas a produção aquícola não sustentável, como intensas cargas orgânicas depositadas em cursos d'água, perda da biodiversidade local e a introdução de microrganismos patogênicos e parasitas no ambiente. Entre os problemas mais destacados pelos produtores estão o mau gerenciamento dos resíduos sólidos gerados e o acúmulo de restos de organismos cultivados, gerando inúmeras consequências prejudiciais, como por exemplo o forte mau odor exalado e a atração de vetores como ratos e baratas, além de atrapalhar o percurso de embarcações e até mesmo o próprio cultivo, quando jogados ao mar.^{3,5-8}

3.2.1 Resíduos sólidos da malacocultura

Os resíduos da maricultura como um todo podem ser divididos em orgânicos e inorgânicos. São considerados resíduos sólidos orgânicos do setor as conchas, as algas e outros organismo aquáticos. Já nos inorgânicos se encontram os cabos, as cordas, os pratos das lanternas, as redes, as bombonas, entre outros. Os rejeitos or-

gênicos causam grandes danos por serem gerados em quantidades elevadas e não possuírem um sistema de coletas ou destinação adequadas. Existem metas governamentais para o desenvolvimento sustentável da maricultura catarinense que indicam melhorias para esse problema, porém são necessárias mais ações que auxiliem os produtores.^{3,4,9,10}

3.3 A técnica de compostagem

A compostagem é uma técnica destinada ao tratamento de resíduos sólidos orgânicos com grande flexibilidade operacional amplamente usada em todo o mundo. Acredita-se que práticas similares tenham surgido junto com os primeiros cultivos agrícolas realizados pelo homem. A compostagem é um processo de decomposição e estabilização biológica de substratos orgânicos e ocorre em condições que favorecem o desenvolvimento de temperaturas termofílicas, resultantes da produção biológica de calor. É realizada quase que totalmente por processos aeróbios, transformando resíduos orgânicos sólidos em um material estabilizado, higienizado e benéfico para a agricultura. O termo “composto orgânico” pode ser aplicado ao produto final compostado.^{11–15}

3.3.1 Características de uma compostagem

Complexos grupos de microrganismos como bactérias e fungos se proliferam ao longo do processo de compostagem. De acordo com suas temperaturas ótimas, estes microrganismos podem ser classificados como: psicrófilos (0-20 °C), mesófilos (15-40 °C) e termófilos (40-85 °C). A compostagem pode ser dividida, resumidamente, em três fases: fase termofílica, quando microrganismos termófilos agem principalmente na quebra de compostos prontamente disponíveis e de fácil assimilação, fase mesofílica, quando diversos microrganismos mesófilos agem na decomposição de componentes mais resistentes e fase de estabilização, na qual a ação de bactérias e fungos específicos resulta na estabilização da matéria orgânica, produzindo substâncias húmicas. A compostagem termofílica é assim conhecida porque neste processo há a ação de microrganismos que geram grandes quantidades de energia na forma de calor.^{12–16}

Existem diversas maneiras de se realizar a compostagem termofílica. Os principais tipos são: a compostagem em leiras com revolvimentos periódicos, leiras estáticas com aeração forçada e sistemas fechados. O método mais prático e de menor custo inicial é o desenvolvimento de leiras estáticas (Figura 2) com revolvimentos periódicos. Neste procedimento as leiras são montadas em camadas compostas entre o resíduo orgânico, o qual se deseja dar o destino correto, e um material estruturante (palha, serragem, grama, entre outros). Deve-se montar as leiras em local com proteção contra chuvas para evitar a formação de chorume, e revolvê-las com alguma frequência para

oxigenar o ambiente microbiano já que um baixo valor de O_2 no meio pode anular a funcionalidade da técnica.^{13,16}

Figura 2 – Exemplo de uma leira de compostagem estática de médio porte.



Fonte: PMF (2012).

3.3.2 Principais parâmetros da compostagem

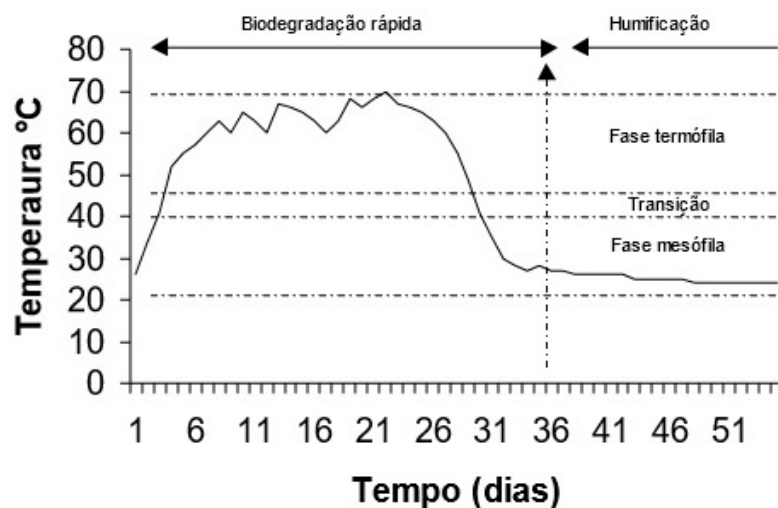
Alguns fatores físico-químicos são de exímia importância para que o desempenho desejado em uma compostagem seja atingido. Os parâmetros fundamentais a serem avaliados são: a umidade, o pH, a relação entre carbono e nitrogênio (C/N) e a temperatura.¹³

A umidade afeta diretamente a atividade microbológica e a estrutura física do processo, tendo seu valor considerado ideal entre 45% e 70%. Valores muito baixos de umidade podem limitar a taxa de biodegradação, enquanto altos demais afetam a agregação de partículas, a porosidade da estrutura e a permeabilidade dos gases, podendo limitar a quantidade de oxigênio disponível. O pH apresenta uma ampla faixa de desenvolvimento (entre 4,5 e 9,5), sendo muitas vezes naturalmente regulado pelos microrganismos. A relação C/N também afeta o sistema pois esta mistura fornece substrato energético e de formação de proteínas em proporções adequadas, possuindo valor ótimo entre 25/1 a 35/1 para o início da compostagem.^{13,15–18}

A temperatura é o parâmetro mais importante a ser controlado durante uma compostagem, sendo tanto consequência quanto determinante para a atividade microbiana, além de ser uma variável que pode ser utilizada como avaliação do seu funcionamento, por meio de medidas periódicas. O comportamento esperado para a temperatura em uma compostagem termofílica é descrito pela Figura 3. Nota-se um abrupto aumento nos primeiros dias, manutenção de altos valores durante algumas semanas e então uma queda brusca, finalizando a etapa chamada de fase termofila

e iniciando a fase mesófila. Quando a temperatura atinge este padrão, as leiras não atraem vetores e eliminam micróbios patogênicos.^{13,15,17}

Figura 3 – Exemplo genérico da variação de temperatura em uma leira de compostagem termofílica.

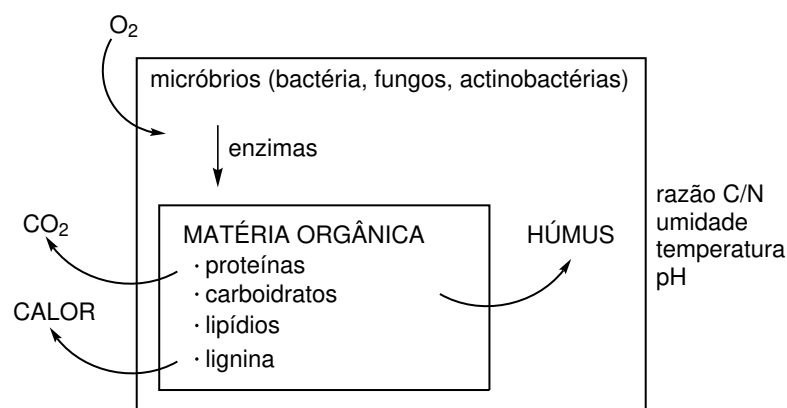


Fonte: FERNANDES, F. *et al.* (1999).¹⁷

3.3.3 Transformações químicas que ocorrem durante a compostagem

O processo biológico predominante na compostagem é a oxidação aeróbia e exotérmica, que produz CO_2 , H_2O , substâncias minerais e matéria orgânica estável, denominada húmus (Figura 4). A matéria orgânica passa por sucessivas etapas de transformação, sob a ação de variados grupos de microrganismos, que usam minerais, compostos orgânicos, água e oxigênio para o crescimento e suas atividades metabólicas, resultando num processo bioquímico altamente complexo.^{19,20}

Figura 4 – Resumo das transformações durante uma compostagem termofílica.

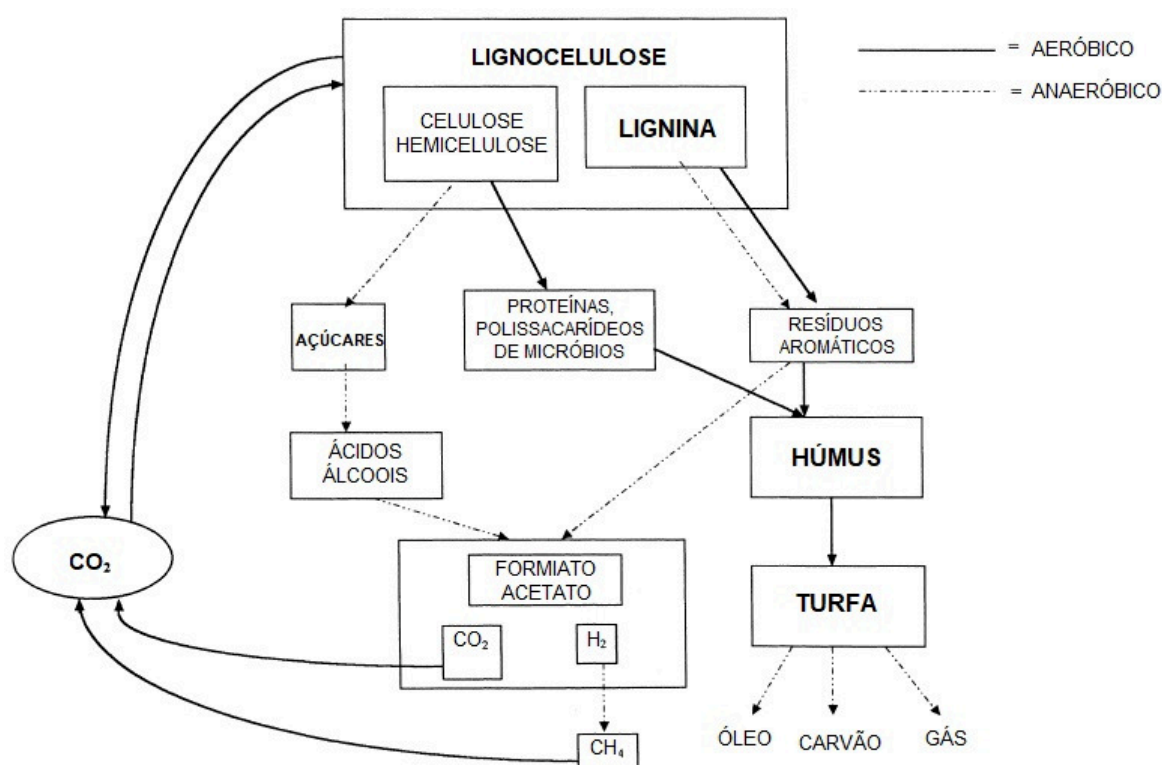


Fonte: Traduzido de TUOMELA, M. *et al.* (2000).²⁰

Na fase termofílica, algumas moléculas como os açúcares, hemicelulose, ácidos orgânicos, aminoácidos e algumas proteínas são inicialmente decompostas pelos microrganismos. É aceitável considerar que aproximadamente 50% da matéria orgânica torna-se completamente mineralizada devido à quebra desses compostos facilmente degradáveis, que são utilizados como fonte de carbono e nitrogênio. Substâncias de mais difícil assimilação, como as substâncias recalcitrantes e a celulose, são degradadas na fase mesofílica. A matéria orgânica residual no produto final contém macromoléculas recentemente formadas e substâncias não degradadas, que juntamente formam as substâncias húmicas, correspondente à fração mais estável do composto.^{19–21}

Hayes e colaboradores²² propõem quatro caminhos para a síntese de substâncias húmicas no ambiente, os quais podem também ocorrer durante a compostagem: i) amino compostos de síntese microbiana reagem com ligninas modificadas; ii) polifenóis oxidados a quinonas reagem com amino compostos; iii) reação de açúcares redutores com amino compostos e iv) polimerização de melaninas produzidas por fungos e por actinomicetos do solo. Todos os mecanismos e rotas de degradação sugeridos estão contempladas no ciclo global do carbono mostrado na Figura 5.²³

Figura 5 – Ciclo global do carbono.



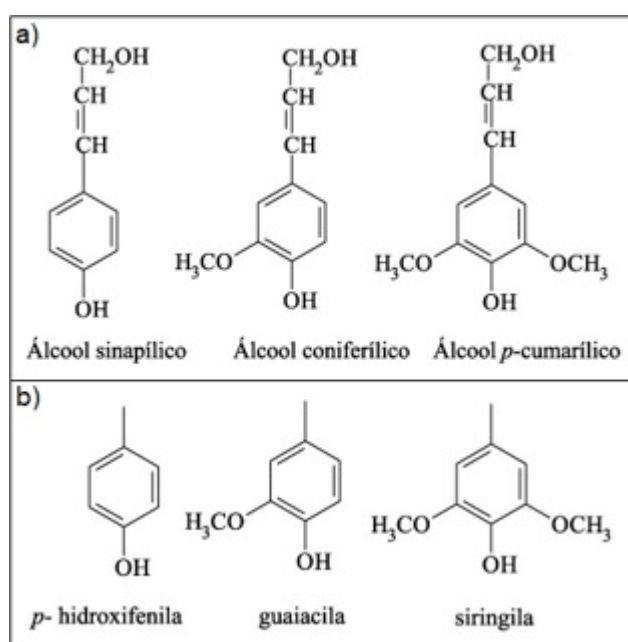
Fonte: Traduzido de TUOMELA, M. *et al.* (2000).²⁰

3.3.4 O composto orgânico

Ao fim do seu processo, a compostagem termofílica recicla os resíduos transformando-os em um composto orgânico com propriedades fertilizantes. Este composto possui diversas substâncias orgânicas responsáveis por variadas reações químicas que ocorrem no solo, como a complexação dos elementos tóxicos e a manutenção do pH, além de fornecer nutrientes às plantas. É característico por ter a composição homogênea, a coloração escura e textura similar à da turfa. Devido à sua semelhança com variados tipos de solo e a sua utilização, costuma-se usar os mesmos métodos de análise utilizados em fertilizantes e solos para caracterizá-lo.^{12,24–26}

A composição química do composto gerado é bastante particular já que cada compostagem utiliza um material orgânico inicial distinto. Alguns parâmetros como a relação C/N (entre 8/1 e 12/1) e o pH (acima de 6,0) dão bons indícios de que o composto está maturado, ou seja, contém húmus e sais minerais nutrientes para as plantas apresentando boas propriedades químicas para um fertilizante. Em alguns casos é possível analisar a maturação do composto pela degradação de estruturas mais complexas como a da lignina, gerando os seus precursores (Figura 6) como produtos. O aumento na concentração destas substâncias precursoras pode indicar que a massiva parte do rejeito orgânico já tenha sido degradada. Outro fator de extrema importância para a qualidade do produto final é a quantidade de metais não complexados na mistura, pois em concentrações elevadas estes podem causar severos danos às plantas.^{13,22,23,27}

Figura 6 – a) Precursores básicos e b) principais unidades aromáticas da molécula de lignina.

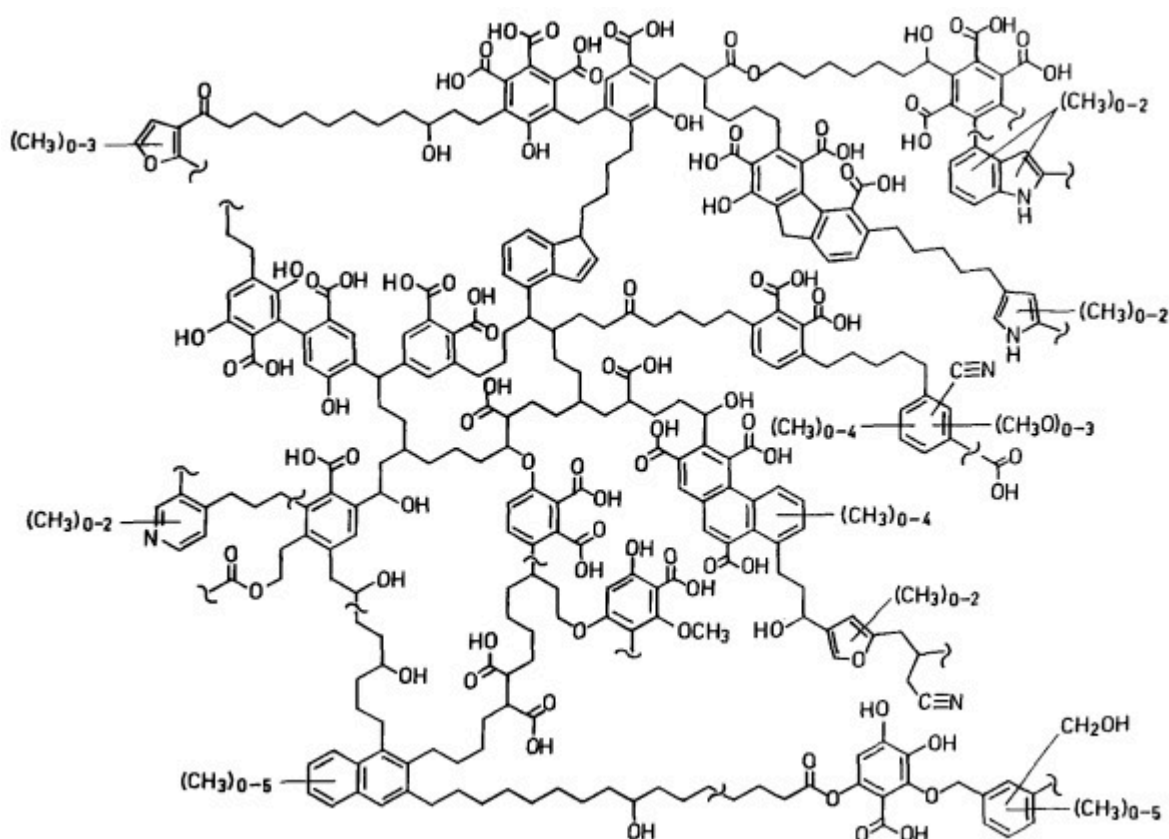


Fonte: BUDZIAK, C.R. *et al.* (2004).²³

O húmus, ou substâncias húmicas, representam grande parcela da composição do composto, sendo esta a sua fração mais estável. Resumidamente estas substâncias são divididas em dois grupos, ácido húmico (solúveis em pH básico e insolúveis em pH ácido) e fração fúlvica (solúvel em qualquer faixa de pH). Existem dois modelos propostos para tentar explicar as suas estruturas complexas: o supramolecular e o macromolecular.

O modelo supramolecular considera que a sua composição seja formada por pequenas moléculas originadas da degradação de matéria orgânica, que se auto-organizam em conformações supramoleculares através de ligações intermoleculares como van der Waals e ligações de hidrogênio. Estas estruturas crescem com a diminuição do valor de pH devido a protonação de moléculas e consequente aumento das ligações de hidrogênio, até a sua precipitação. O modelo macromolecular propõe as substâncias húmicas como macromoléculas orgânicas com características similares às macromoléculas biológicas. Através de várias análises químicas e espectroscópicas foi proposta uma estrutura para os ácidos húmicos, apresentando uma molécula com inúmeros grupos funcionais como carboxilas, éteres, ésteres e nitrilas (Figura 7).²⁸⁻³⁰

Figura 7 – Estrutura dos ácidos húmicos desenvolvida através do modelo macromolecular.



Fonte: SCHULTEN, H.R. *et al.* (1993).³¹

3.3.5 A compostagem aplicada aos resíduos da aquicultura

A compostagem com resíduos aquícolas foi estudada por diversos autores e comprovada como um método eficiente e promissor. O processo é descrito como simples, pois as altas concentrações de nitrogênio e a alta umidade nos resíduos auxiliam as temperaturas a subirem rapidamente, favorecendo a proliferação do microrganismos termófilos. Além disso, resíduos de animais aquáticos possuem quantidades significativas de nutrientes bons para as plantas como N, P, K, Ca e Mg, que podem elevar a capacidade fertilizante do composto final. A possível alta concentração de sais na matéria orgânica da maricultura pode ser facilmente reduzida com a adição controlada de água nas leiras. Apesar de bons resultados apresentados nos estudos sobre o tema, a especificação dos resíduos utilizados e os detalhes dos métodos aplicados não são bem descritos, dificultando o acesso aos produtores.^{32–35}

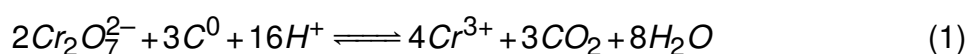
3.4 Procedimentos analíticos empregados

É comum se utilizar tanto métodos analíticos clássicos quanto instrumentais para determinar algumas espécies de interesse em solos e resíduos orgânicos, tendo diversos experimentos e manuais analíticos de órgãos governamentais que avaliam e descrevem essas técnicas. A salinidade e alguns íons específicos de solos e fertilizantes podem ser estimados por meio de um extrato de saturação da amostra (uma pasta aquosa composta pelas substâncias presentes na matéria analisada) aliado a métodos clássicos bastante conhecidos.^{24,36–38}

3.4.1 Nitrogênio e carbono orgânico

O carbono e o nitrogênio estão entre as espécies químicas mais importantes para solos e para o processo de compostagem. Ambos compostos são essenciais para qualquer ambiente orgânico, tornando necessária a quantificação destes para um melhor entendimento dos processos químicos no meio.

O carbono pode ser encontrado na forma inorgânica (CO_3^{2-} e HCO_3^-) e orgânica (húmus, microrganismos, entre outros). A oxidação dos compostos orgânicos por $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ em meio ácido (Equação 1) pode ser uma técnica utilizada para a determinação de carbono orgânico total em uma amostra. O teor de Cr^{3+} formado é posteriormente determinado titulando o dicromato em excesso ou por colorimetria. A oxidação dos compostos orgânicos do solo só é completa se a amostra é submetida a calor externo (aproximadamente 150 °C) por longo tempo. É possível estimar o teor de matéria orgânica do meio multiplicando o valor obtido para carbono total por um valor pré estabelecido empiricamente.^{24,38,39}

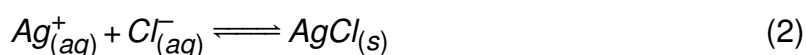


O nitrogênio também pode ser encontrado nas formas orgânicas (como proteínas, aminoácidos e outros) e inorgânicas (NO_3^- , NH_4^+ , entre outros). Para determinação do nitrogênio total, o método de Kjeldahl é o mais conhecido e utilizado. Esta técnica baseia-se na redução do N total da amostra para NH_4^+ por digestão com H_2SO_4 concentrado. A fim de aumentar a conversão de N em N-NH_4^+ , é comum se adicionar sais como K_2SO_4 ou Na_2SO_4 , para aumentar a temperatura de digestão, ou catalisadores para oxidar matéria orgânica, como Hg ou Cu. Após a digestão, adiciona-se uma base forte à solução para neutralizar o íon amônio gerando NH_3 , que deve ser coletado em um recipiente com quantidade conhecida de ácido. O ácido então é titulado para estimar o seu excesso e assim, a quantidade de amônia consumida. Alguns compostos com ligações N-N e N-O (como NO_3^- e N_2H_4) e heterocíclicos (como a piridina) podem não ser digeridos pelo ácido, porém estes compostos costumam constituir uma baixa porcentagem do N total em resíduos orgânicos.^{24,38,39}

3.4.2 Ânions

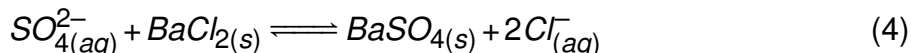
A determinação de íons em solos e fertilizantes é imprescindível para se avaliar a sua qualidade. A relevância para este estudo é ainda mais evidente quando os resíduos de interesse possuem alguma relação com águas marinhas. Entre os ânions que podem ser quantificados a partir do extrato de saturação, estão o cloreto (Cl^-), o sulfato (SO_4^{2-}), o carbonato (CO_3^{2-}) e o bicarbonato (HCO_3^-).^{32,37}

O Cl^- apresenta uma alta mobilidade e elevada concentração em águas marinhas. Existem diversas maneiras para se estimar a quantidade de cloreto em uma amostra, como a determinação direta por meio de eletrodos íon-seletivos, colorimetria e titulação com nitrato de prata (AgNO_3). A titulação com AgNO_3 (Equação 2) e K_2CrO_4 como indicador (Equação 3) é amplamente usada para determinar haletos (método de Mohr). O ponto final da titulação é alcançado com o excesso de Ag^+ , que precipita como cromato de prata, de cor vermelha. O ponto final ocorre um pouco além do ponto de equivalência, devido à necessidade do precipitado (Ag_2CrO_4) estar em quantidade suficiente para ser notado visualmente, necessitando de uma prova do branco para correção do valor.^{24,37-39}



O sulfato é outro íon presente em água do mar com concentrações apreciáveis. O método clássico para se determinar SO_4^{2-} é a gravimetria utilizando cloreto de bário (BaCl_2), fundamentando-se na precipitação do íon sulfato, na forma de BaSO_4 , com a presença de íons Ba^{2+} (Equação 4). Para que as partículas tenham um tamanho rela-

tivamente grande e conseqüentemente seja mais fácil a sua separação e purificação, a temperatura, o pH e a velocidade com que os reagentes são misturados devem ser controlados.³⁷⁻³⁹



Já a determinação do carbono inorgânico (CO_3^{2-} e HCO_3^-) do meio ocorre usualmente em titulação com um ácido forte (Equações 5 e 6), como H_2SO_4 , e fenolftaleína (ponto de inflexão pH = 8,3) como indicador para o carbonato e o alaranjado de metila (ponto de inflexão pH = 4,5) para o bicarbonato. Estas espécies indicam a alcalinidade da solução analisada e podem ser determinadas em uma mesma alíquota, primeiro avaliando CO_3^{2-} (em local bem iluminado para melhor visualização) e em seguida, o bicarbonato.^{24,37,39}



3.4.3 Espectroscopia de absorção atômica

A espectrometria de absorção atômica (AAS, do inglês, *Atomic Absorption Spectrometry*) é uma das técnicas analíticas mais utilizadas na determinação de elementos em baixas concentrações, possibilitando a análise de amostras em fases líquidas, sólidas e até mesmo gasosas. Esta técnica ganhou grande destaque a partir da década de 1950, revolucionando a determinação de elementos metálicos devido a sua versatilidade, baixo custo operacional e facilidade no manuseio.

O método se baseia na absorção de radiação eletromagnética dos átomos, no qual cada elemento químico tem seu conjunto de níveis de energia característico e, portanto, o seu próprio espectro de absorção. A amostra de interesse é decomposta produzindo “átomos livres” que absorvem radiação eletromagnética em determinados comprimentos de onda. As radiações usualmente utilizadas estão na faixa do ultravioleta/visível, sendo a intensidade de radiação medida após a incidência de luz. Para ajustar o comprimento de onda que alcançará o detector são utilizados monocromadores.⁴⁰⁻⁴²

A atomização, processo de decomposição do analito em átomos gasosos, pode ser realizada por chama ou por aquecimento eletrotérmico. A atomização por chama é geralmente realizada em um queimador por mistura prévia (Figura 8), onde o combustível, o oxidante e a amostra são misturados antes de serem introduzidos na chama. Quando o solvente evapora, o restante da amostra começa a se decompor em átomos. A combinação mais comum de combustível e oxidante é a de acetileno e ar atmosférico.

rico (temperatura de 2400 - 2700 K). Esta metodologia proporciona uma alta taxa de amostragem a baixo custo, limites de detecção da ordem de mg.L^{-1} , repetibilidade e reprodutibilidade apropriadas.

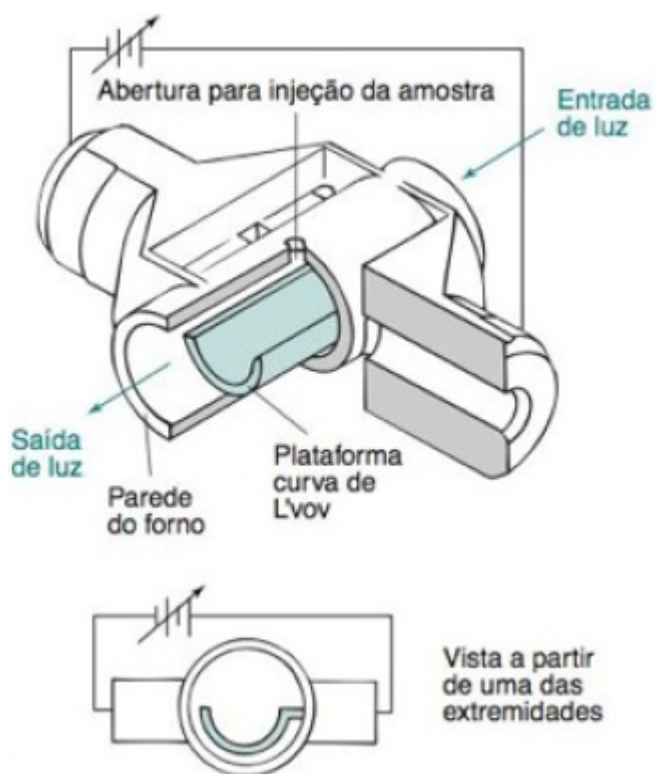
Figura 8 – Dispositivo utilizado no queimador por mistura prévia.



Fonte: Adaptado de HARRIS, D.C. (2012).³⁹

A atomização eletrotérmica possui melhores resultados que a por chama pois apresenta melhores limites de detecção (ordem de $\mu\text{g.L}^{-1}$), alta sensibilidade, boa seletividade e uso de pequenos volumes de amostra. Seu processo mais conhecido é realizado em forno de grafite (Figura 9), em que o aquecimento é gerado eletricamente e o feixe de luz se desloca através de janelas em cada extremidade de um tubo. A temperatura máxima recomendada no processo é de 2550 °C por até 7 segundos para evitar a oxidação do grafite. Esta variação apresenta alta sensibilidade porque confina os átomos no caminho óptico por vários segundos.³⁹⁻⁴²

Figura 9 – Dispositivo utilizado no forno de grafite.



Fonte: Adaptado de HARRIS, D.C. (2012).³⁹

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como principal objetivo auxiliar a comunidade aquícola da cidade de Florianópolis-SC, realizando um estudo que visa obter um método alternativo e eficaz para o descarte do resíduo sólido orgânico gerado na época de baixa temporada (março a novembro) pela atividade da malacocultura.

4.2 Objetivos Específicos

- Investigar a composição química dos resíduos sólidos orgânicos da malacocultura mediante revisão na literatura;
- preparar duas leiras de compostagem com rejeitos gerados pela malacocultura do bairro do Ribeirão da Ilha em Florianópolis;
- acompanhar e verificar a eficiência da compostagem na degradação de compostos indesejáveis;
- determinar elementos químicos relevantes nos compostos orgânicos gerados durante o processo;
- avaliar a utilização da técnica de compostagem como uma opção viável para a destinação adequada desses rejeitos.

5 METODOLOGIA DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NO ESTÁGIO

A primeira etapa do estágio foi a realização de um estudo teórico sobre a maricultura e a comunidade pesqueira de Florianópolis, além de uma consulta com os produtores da região para avaliar os problemas atuais no setor. Após esta etapa, decidiu-se utilizar o método de compostagem termofílica para avaliar a sua eficiência como alternativa para a destinação de resíduos sólidos gerados pela malacocultura.

5.1 Montagem e acompanhamento das leiras de compostagem

A segunda etapa consistiu na montagem e no acompanhamento de duas composteiras empregando o uso dos resíduos. As leiras de compostagem foram armadas simulando um processo que poderia ser realizado pelos próprios produtores. O experimento se iniciou no dia 12/06/2019 e se encerrou no dia 19/08/2019, totalizando 68 dias. As estruturas foram montadas aos fundos do centro de treinamento (CETRE) da EPAGRI de Florianópolis, no bairro Itacorubi, em um ambiente aberto com presença de vegetação rasteira (Figura 10).

Figura 10 – Localização do CETRE com foco no terreno onde foram montadas as leiras.



Fonte: Autor (2020).

5.1.1 Amostras de resíduos marinhos

Os resíduos da malacocultura empregados foram coletados na Fazenda Ostravagante, no bairro do Ribeirão da Ilha (Figura 11). As amostras foram adquiridas em caixas de plástico de tamanhos variados. Utilizou-se os dejetos gerados nos meses de junho e julho, época considerada como de baixa temporada. Estes resíduos possuem

como característica uma grande porcentagem em conchas, exalam um forte mau odor e atraem moscas, ratos e outros vetores indesejáveis.

Figura 11 – Localização da fazenda marinha Ostravagante, de onde foram retirados os resíduos.



Fonte: Google maps (2020).

5.1.2 *Leira de compostagem 1*

A primeira leira foi montada no dia 12/06/2019 com aproximadamente 140,0 kg de rejeito marinho. Inicialmente foi construída em camadas alternadas de palha e do substrato marinho (na proporção aproximada de 5:1 em volume, respectivamente). A palha foi utilizada como material estruturante, sendo colocada na primeira e na última camada, atuando assim como cobertura e como base da composteira. Ao término da montagem adicionou-se cerca de 60 L de água de torneira e o ambiente teve uma cobertura produzida com troncos de bambu e lona (Figura 12).

Figura 12 – Fotos da leira 1 antes (esq.) e depois (dir.) da montagem de sua cobertura (dimensões: 0,70 m de altura, 1,00 m de largura e 2,00 m de comprimento).



Fonte: Autor (2019).

Doze (12) dias após a construção da leira 1, adicionou-se em torno de 60 kg de matéria orgânica oriunda de restos alimentícios do restaurante do CETRE da EPAGRI de Florianópolis e mais um pouco de palha (apenas o suficiente para manter a leira estruturada). Em seguida a célula de compostagem foi revolvida, fechada e adicionou-se cerca de 40 L de água. Essa incorporação foi feita com o objetivo de estimular a composteira 1 ao processo termofílico, que ao cessar da adição de componentes, apresentou 9 camadas.

5.1.3 Leira de compostagem 2

A segunda leira (Figura 13) foi montada no dia 05/07/2019 com aproximadamente 110,0 kg de rejeito marinho. Também foi construída em camadas, porém se adicionou desde o início a matéria orgânica oriunda do restaurante do CETRE, além da palha e do substrato marinho (na proporção aproximada de 2:10:3 em volume, respectivamente). Após o término de sua estrutura, houve a construção de uma cobertura similar à do primeiro experimento. Ao fim adicionou-se 100 L de água de torneira neste sistema, que apresentou 7 camadas.

Figura 13 – Fotos da leira 2 antes da montagem de sua cobertura (dimensões: 1,00 m de altura, 0,80 m de largura e 1,80 m de comprimento).



Fonte: Autor (2019).

5.1.4 Acompanhamento das leiras e coleta das amostras do composto

Foi realizado acompanhamento periódico das leiras com o objetivo de verificar a sua funcionalidade. A análise qualitativa se baseou na observação da presença de moscas, larvas e na identificação de maus odores. O registro da temperatura nas leiras também ocorreu de maneira frequente, em dias intermitentes, através de um termômetro de mercúrio. Foi verificada a temperatura em três pontos à meia profundidade

das compostagens. A investigação destes parâmetros *in loco* auxiliou a avaliação da necessidade de alguma mudança estrutural no sistema.

Amostras dos compostos gerados durante o processo de compostagem foram coletados para futura caracterização. Retirou-se os materiais de três pontos aleatórios da superfície, do centro e do fundo da composteira, após as leiras serem completamente revolvidas. Os compostos foram retirados nos dias 26/07/2019 e 19/08/2019 (dia da desmontagem das composteiras), referindo-se aos dias 44 e 68 para a leira 1, e 22 e 46 para a leira 2. Todas as amostras coletadas possuíam coloração preta e aspecto muito semelhante à turfa, e foram armazenadas em recipiente transparente de vidro, permanecendo sob refrigeração até a realização das análises.

5.2 Caracterização do composto gerado

A terceira parte do estágio consistiu na caracterização dos compostos gerados nos processos de compostagem com o objetivo de apurar a sua utilização como fertilizante na agricultura. As amostras coletadas foram submetidas à diversas análises em laboratório. Visando obter os resultados mais robustos possíveis esta etapa foi delineada nos laboratórios de ensino do Departamento de Química da UFSC, em Florianópolis e no Laboratório Experimental do Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar (CEPAF) da EPAGRI do município de Chapecó, SC.

5.2.1 Equipamentos e reagentes

Balança analítica, bomba a vácuo, bureta, condutivímetro digital, dessecador, estufa, funil de Buchner, manta elétrica, mufla, peneiras de 20 mm e 2 mm e pHmetro digital. Alaranjado de metila (0,1%), ácido clorídrico concentrado, ácido sulfúrico (0,025 mol.L⁻¹), água destilada, cloreto de bário (10%), cromato de potássio (5%), cloreto de potássio (1,00 e 0,01 mol.L⁻¹), fenolftaleína (0,1%), hexametáfosfato de sódio (1%), hidróxido de sódio (1,00 e 0,10 mol.L⁻¹) e nitrato de prata (0,05 mol.L⁻¹).

5.2.2 Atividades nos laboratórios de ensino da UFSC

Nos laboratórios de ensino do Departamento de Química da UFSC foram analisados os seguintes parâmetros: acidez (H⁺ e Al²⁺), condutividade, pH e a concentração de alguns ânions (Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻ e SO₄²⁻). Os métodos empregados se basearam em Claessen *et al.*³⁶ com algumas modificações.

5.2.2.1 Preparo das amostras e do extrato de saturação

Cada amostra foi espalhada e os torrões maiores desfeitos. Em seguida ficaram em local ventilado e seco por 30 horas até completa dessecação ao ar. Então foram trituradas utilizando um pistilo e um almofariz, passadas por peneiras de 20 mm e

2 mm e colocadas em cápsula de porcelana com água e 10,0 mL de NaOH (1M), permanecendo assim por uma noite. Após secagem em estufa a 50 °C, as amostras foram resfriadas e novamente passadas por uma peneira de 2 mm, para então serem pesadas e armazenadas.

Para as análises dos ânions e de condutividade foram preparados extratos aquosos denominados como “extratos de saturação”. Para o preparo do extrato, as amostras foram pesadas e colocadas em béqueres de plástico, onde foram amassadas com espátula de aço enquanto se adicionava lentamente água destilada. Esta operação foi realizada até quando uma pequena quantidade de água adicionada não era mais absorvida pela massa e esta apresentava aspecto brilhante/espelhante. A quantidade de água utilizada foi anotada e as amostras ficaram em repouso por uma noite. Na manhã seguinte as amostras foram filtradas a vácuo e os extratos líquidos foram armazenados.

5.2.2.2 Análises diretas

As análises feitas sem o extrato de saturação foram acidez e pH. Para acidez foram pesados 10,0 g da amostra em um erlenmeyer, misturados com 50,0 mL de KCl (1M) e colocados sob repouso por 30 minutos. As amostras foram filtradas com papel filtro, a porção líquida colocada em um béquer contendo 20,0 mL de KCl (1M) e tituladas com NaOH (0,1M) até o aparecimento da cor rosa, utilizando fenolftaleína como indicador.

Para a medição do pH, deixou-se em repouso 10,0 g de amostra com 25,0 mL de KCl (1 M) por 1 hora. Em seguida as soluções foram agitadas e submetidas à leitura direta com um pHmetro digital previamente calibrado e testado em soluções tampão de pH 4,0 e 7,0.

5.2.2.3 Análises com o extrato de saturação

A primeira análise com o extrato de saturação foi a de condutividade, que foi medida através de um condutímetro digital. O condutímetro foi ligado com 30 minutos de antecedência e teve a leitura aferida com uma solução padrão de KCl (0,1 M). Cada amostra teve a temperatura e a condutividade medidas, com lavagem da célula com água destilada entre as medidas.

A quantidade de cloreto (Cl^-) foi medida por determinação volumétrica com AgNO_3 ($0,054 \text{ mol.L}^{-1}$) em presença de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$ como indicador. Foi pipetado 1,0 mL de extrato, diluiu-se com água destilada em um balão volumétrico de 25,0 mL e titulou-se até a formação de coloração vermelha persistente. Foi realizada prova do branco para correção dos valores obtidos.

As quantificações de carbonato (CO_3^{2-}) e de bicarbonato (HCO_3^-) foram realizadas por titulação com H_2SO_4 ($0,025 \text{ mol.L}^{-1}$) em uma mesma alíquota. Utilizou-se fe-

nolftaleína (para CO_3^{2-}) e alaranjado de metila (para HCO_3^-) como indicadores. Primeiro foi titulado o CO_3^{2-} até aparição de coloração vermelha. Na sequência foi adicionado alaranjado de metila à alíquota (o que a deixou rosada) e a mesma foi titulada até a mudança de cor rósea para alaranjada. Foi realizado uma prova em branco de H_2SO_4 apenas com os indicadores.

Para determinar a quantidade de sulfato (SO_4^{2-}) foram pipetadas alíquotas de 25,0 mL de extrato, colocadas em béqueres com a adição de 100,0 mL de água destilada, alaranjado de metila e 1,0 mL de HCl concentrado. Em seguida foram colocadas em uma manta elétrica até a ebulição, para então se adicionar BaCl_2 (10% em solução aquosa) sob agitação. As soluções com o precipitado formado foram levadas à banho-maria até redução de volume para aproximadamente 50 mL, resfriadas e por fim levadas a uma mufla à 700 °C, para no dia seguinte serem resfriadas e pesadas.

5.2.3 Atividades no Laboratório Experimental do Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar (CEPAF)

Para o CEPAF foram solicitadas análises complementares do composto. Solicitou-se os seguintes parâmetros: N/P/K, umidade, carbono orgânico e a determinação de alguns cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+). Estas análises foram conduzidas conforme descrito em Veras *et al.*³⁸ para as substâncias minerais e conforme descrito em Tedesco *et al.*²⁴ para a matéria orgânica. As análises foram conduzidas utilizando técnicas clássicas para C, N, P e K e absorção atômica para os cátions.

5.2.4 Segurança no laboratório e tratamento de resíduos

As atividades laboratoriais foram realizadas sempre com o uso de guarda-pó com mangas compridas e luvas, itens conhecidos como equipamentos de proteção individual (EPIs), além de roupas adequadas como calça e sapatos fechados. O manuseio de produtos químicos e equipamentos foi realizado sempre com cautela, evitando o contato com a pele, em vidrarias adequadas e dentro da capela, quando necessário. As saídas de emergência, os lavatórios e os extintores de incêndio se encontravam em lugares conhecidos e estratégicos.

As análises químicas foram efetuadas com a menor quantidade possível de reagentes. Separou-se os resíduos produzidos em galões específicos para cada tipo de rejeito. As substâncias foram divididas, de forma geral, em quatro grupos: sólidos inertes, resíduos inorgânicos, resíduos orgânicos halogenados e orgânicos não-halogenados. Esses galões são posteriormente retirados e tratados por empresas terceirizadas. Os ácidos e bases usados foram neutralizados e adicionados aos resíduos inorgânicos.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ESTÁGIO

O período inicial do estágio foi desenvolvido com o objetivo de se conhecer melhor os processos realizados, as espécies cultivadas e os resíduos gerados pela atividade da maricultura na cidade. Além do estudo teórico, este período se baseou em conversas com engenheiros agrônomos e aquícolas da EPAGRI de Florianópolis, químicos da EPAGRI de Itajaí e com os próprios produtores de moluscos do sul da Ilha de Santa Catarina. Esta etapa ainda evidenciou a importância do trabalho desempenhado em grupo e a relevância de um químico em uma equipe composta por profissionais de diferentes áreas, pela visão microscópica dos eventos e pelo conhecimento técnico de equipamentos e procedimentos que podem ser executados para diversificadas situações.

Encontrar uma alternativa para a destinação dos resíduos sólidos orgânicos da malacocultura foi escolhido principalmente devido a maneira como esses resíduos vêm sendo descartados, sendo que mais da metade é depositado no mar e outras grandes parcelas em praias ou terrenos abandonados. Tais rejeitos comprometem estas áreas visualmente e ambientalmente, exalando mau cheiro e atraindo animais indesejáveis. Vale destacar que apesar deles serem coletados em alto volume pela COMCAP (autarquia responsável pela coleta dos resíduos urbanos da cidade de Florianópolis) como um resíduo sólido urbano, eles são considerados resíduos industriais, sendo então de responsabilidade da empresa geradora, ou seja, dos próprios cultivadores.³

A compostagem termofílica foi uma técnica selecionada por seu baixo-custo, sua facilidade de manejo e por possuir características que permitem a sua execução pelos próprios produtores, sendo inclusive um estudo solicitado por eles. Outro fator importante foi a possibilidade de a EPAGRI, em parceria com o Departamento de Química da UFSC, desenvolver uma pesquisa mais abrangente, de caráter interdisciplinar e voltada diretamente aos maricultores regionais.

6.1 Monitoramento e detalhes do processo das compostagens

6.1.1 *Composição química dos resíduos orgânicos da malacocultura*

Os resíduos sólidos orgânicos da malacocultura da região de Florianópolis foram avaliados na etapa teórica do estágio, por intermédio de registros na literatura referentes a esse tipo de substrato e de verificações *in loco* com os produtores. Estes rejeitos são majoritariamente constituídos por conchas, restos de moluscos e matéria orgânica de organismos marinhos, principalmente de predadores das espécies cultivadas.

Na alta temporada (meses de temperatura mais alta) os resíduos costumam ser formados principalmente por conchas e restos de predadores, com destaque para as ascídias, gerando um volume muito alto de rejeitos. Na baixa temporada o número de

predadores é significativamente inferior devido a menor temperatura da água, fazendo com que os resíduos sejam constituídos predominantemente por conchas e uma pequena porção de material orgânico remanescente de moluscos, originando um volume diário de rejeitos muito menor.

É interessante ressaltar que a composição química dos moluscos é muito variável e depende de diversos fatores ambientais como o local, a temperatura da água e a estação do ano, sendo que a maior variação ocorre com o material orgânico (a parte nutritiva).⁴³

Figura 14 – Resíduos sólidos orgânicos da malacocultura antes do tratamento.



Fonte: Autor (2019).

Porém são as conchas que representam a maior porcentagem de peso dos mexilhões, sendo esse valor muito mais expressivo quando se trata dos rejeitos (Figura 14). Independente da região e do modo de cultivo, as conchas de moluscos bivalves são quimicamente similares e apresentam dois componentes, uma matriz orgânica de natureza proteica e um depósito inorgânico de carbonato de cálcio (CaCO_3). O CaCO_3 compõe mais de 95% do peso total da concha, em média. Os constituintes restantes apresentam carbonato de magnésio, sulfato de cálcio, sílica, sais de manganês, ferro, alumínio, traços de metais pesados e matéria orgânica.^{44–48} Existem inúmeros estudos com a composição química das conchas dessas espécies, alguns exemplos encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química (em %) de conchas de ostra encontrada na literatura.

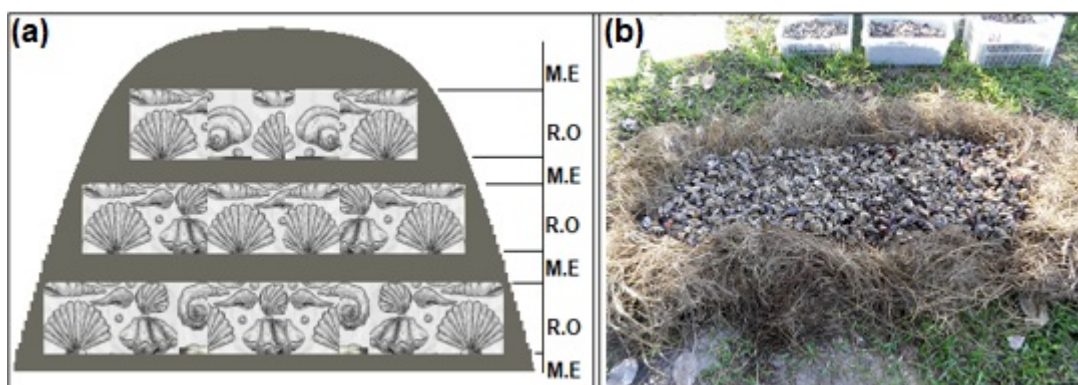
Autor	CaCO_3	Na_2O	MgO	SO_3	Al_2O_3	SiO_2	SrO	P_2O_5
HAMESTER, M.R.R. ⁴⁴	98,23	-	-	0,73	-	0,30	0,23	-
EO, S.H. <i>et al.</i> ⁴⁶	97,24	0,54	0,48	0,48	0,45	0,42	0,19	0,18
YOON, G.L. <i>et al.</i> ⁴⁷	95,99	0,98	0,65	0,72	0,42	0,69	0,33	0,20

Fonte: Autores (2020).^{44,46,47}

6.1.2 Estrutura das leiras

As leiras foram montadas em camadas alternadas conforme mostrado na Figura 15. A ideia inicial era buscar uma solução apenas com os resíduos da malacocultura e o material estruturante (a palha), porém durante os primeiros 14 dias da primeira leira verificou-se a presença de diversos organismos indesejáveis, como moscas, ratos e baratas, além de mau odor e baixa atividade termofílica. A leira 1 se manteve com temperaturas próximas a ambiente (por volta de 20 °C) nesse período, demonstrando ineficiência no processo de compostagem já que temperaturas dessa ordem no interior das leiras indicam que a decomposição está ocorrendo de modo muito lento ou que até mesmo cessará.⁴⁹

Figura 15 – a) Esquema ilustrativo da leira em camadas alternadas entre o material estruturante (M.E) e o resíduo orgânico (R.O) e b) camada de resíduos orgânicos durante a montagem das compostagens.



Fonte: Autor (2019).

A falta de atividade microbiana no meio não foi superada nem por meio de revolvimento. Este fato pode ser explicado devido aos resíduos orgânicos da malacocultura dessa época do ano (de março a novembro) possuírem quantidade insuficiente de matéria orgânica para ativar a compostagem e, conseqüentemente, uma relação C/N muito baixa. A fim de corrigir esses problemas foram adicionados materiais ricos em carbono no sistema. A maioria dos manuais consideram fundamental a adição desse tipo de substâncias no meio para corrigir a razão C/N.⁵⁰

Após o acréscimo de matéria orgânica, rapidamente a temperatura atingiu níveis termofílicos e não foram mais vistos vetores indesejáveis ao redor da compostagem. A leira dois foi montada em seguida a estabilização das altas temperaturas da compostagem 1 e teve desde o início as camadas de matéria orgânica extra. Essas ocorrências sugerem que, para se obter o processo de compostagem termofílica com os resíduos de baixa temporada da malacocultura da região de Florianópolis, é necessária a adição de algum outro material rico em carbono orgânico.

Outro aspecto estrutural de muita importância é que as leiras necessitam de

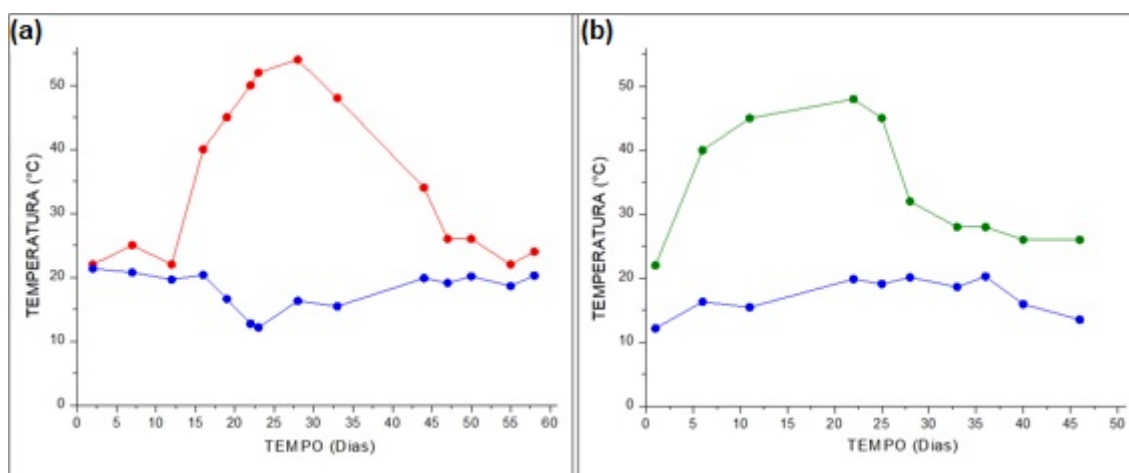
proteção contra possíveis chuvas. Isso se deve a produção de chorume que ocorre ao se molhar em excesso as compostagens, produzindo mau cheiro e poluição do solo, além da chuva resfriar o ambiente microbiótico, desfavorecendo a fase termofílica. Por outro lado a adição de água na quantidade correta é um fator preponderante para a técnica ser bem sucedida, isso porque a água ajuda no deslocamento e na homogeneização das colônias de microrganismos na leira.^{12,13,18} A água se torna mais importante nesse tipo de compostagem devido ao processo ser realizado com resíduos marinhos, sendo necessário a lavagem para consequente lixiviação de sais presentes nos rejeitos, visando um produto final sem excesso de íons salinos.³²

6.1.3 Temperatura das leiras

Tanto a temperatura quanto a umidade servem como indicadores do progresso da compostagem. Porém devido à falta de equipamentos necessários para o acompanhamento da umidade, apenas a temperatura das leiras foi medida periodicamente. De forma geral, o comportamento das temperaturas foi similar ao observado na literatura com a utilização de variados tipos de resíduos orgânicos, com exceção dos primeiros dias da leira 1.

Foram avaliados pontos distintos das leiras, porém os valores registrados na Figura 16 são do centro da estrutura, isto porque o centro das leiras é onde melhor representa a atividade e a proliferação dos microrganismos.¹³⁻¹⁶ As temperaturas ambiente durante os dias do experimento foram fornecidas pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e Hidrometeorologia da EPAGRI (CIRAM), que coletam os dados no mesmo local em que se realizaram as compostagens.

Figura 16 – a) Variação da temperatura registrada na leira 1 (em vermelho) e b) na leira 2 (em verde) em relação à temperatura ambiente (em azul).



Fonte: Autor (2020).

A temperatura dos primeiros dias da leira 1 foi a principal indicação de que

sem a adição de outra fonte de matéria orgânica a compostagem não entraria em atividade termofílica. Com a configuração envolvendo a tríade material estruturante, matéria rica em carbono orgânico e resíduos orgânicos da malacocultura se notou um comportamento semelhante nos dois experimentos. As duas leiras tiveram fases mesófilas curtas nos dias que antecederam a fase termofílica, verificado pelo repentino aumento de temperatura nos sistemas. A fase termofílica durou em média 3 semanas e meia, sendo a temperatura mais alta registrada de 54 °C, na compostagem 1 (na compostagem 2 foi de 48 °C). As altas temperaturas dos experimentos entraram em contraste com as baixas temperaturas da estação de inverno do ambiente, sendo que os valores obtidos foram considerados ótimos pois temperaturas acima de 60 °C também tornam o processo lento, já que reduzem a atividade microbiana.⁴⁹

A queda nas temperaturas ocorreu após aproximadamente 28 dias do início da fase termofílica para a leira 1 e 22 dias para a leira 2. Essa queda não assegurava que a atividade microbiana termofílica havia cessado, mas dava indícios de que não havia mais resíduos para serem decompostos por estes microrganismos. A posterior manutenção da temperatura mesmo após o revolvimento dos materiais sugeriu que os microrganismos ativos naquele momento estavam agindo na mineralização dos compostos, modificando macro e micro nutrientes.^{13-16,32}

Apesar de não se ter adicionado nenhum material após o processo de compostagem ter de fato se iniciado, haveria a possibilidade da montagem de estruturas maiores com alimentações periódicas de componentes. Se houvessem essas adições, as variações de temperatura poderiam ser mais frequentes porque haveria maior aeração e manutenção de umidade, levando conseqüentemente ao aumento de microrganismos termofílicos. Um maior ciclo na fase termofílica é desejável visando uma degradação mais rápida da matéria orgânica, podendo resultar em um processo acelerado.^{13,15,32}

6.1.4 Término e tombamento das compostagens

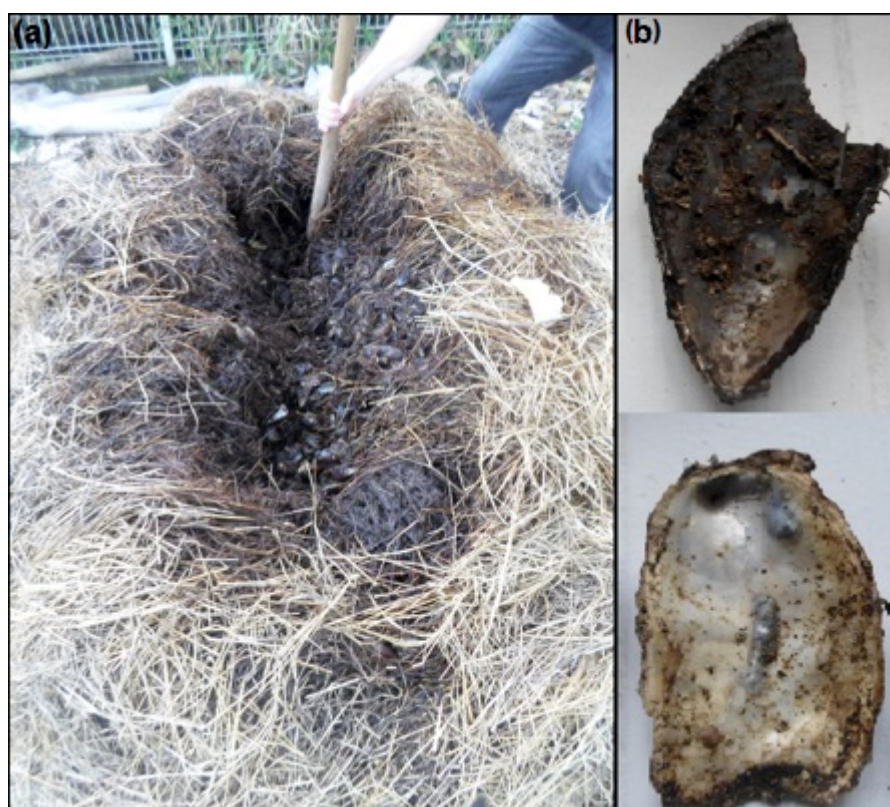
Com a estabilização das temperaturas em níveis inferiores a 30 °C, as leiras foram encerradas e tombadas (Figura 17a). A leira 2 permaneceu montada por 46 dias e a leira 1 por 68 dias incluindo a fase inicial em que não houve o aumento de temperatura. No dia do tombamento o material estruturante não havia sofrido mudanças visíveis e as compostagens apresentavam produtos finais com todo o material orgânico inserido completamente modificado e decomposto, com exceção das conchas que sofreram pouca alteração. Apesar das mesmas não terem sido degradadas, elas se apresentavam isentas de matéria orgânica, limpas e sem mau odor.

O tempo total de uma compostagem e de maturação do composto orgânico varia muito devido à grande diversidade de material que pode ser utilizado e da proporção dos macros e micros nutrientes que se deseja obter. Levando-se em conta apenas a degradação da matéria orgânica, a duração do ciclo termofílico pode ser usada como

base, já que os organismos patogênicos são praticamente zerados e a massiva parte da matéria orgânica é decomposta nessa etapa. O tempo de atividade termofílica esteve na média de estudos encontrados na literatura^{13,15} referentes a leiras estáticas sem adição de resíduos. Já o tempo total de processo foi abaixo do descrito em compostagens com processos semelhantes que utilizaram variados tipos de resíduos orgânicos.^{16,32,33}

A estabilidade das conchas não favorece a decomposição completa de maneira rápida por meios biológicos. Apesar desse fato, ao final do processo toda a matéria orgânica depositada nas mesmas havia sido decomposta (Figura 17b). Isso sugere que esse método pode ser utilizado como um meio alternativo para destinação desses rejeitos, visto que as substâncias depositadas nas conchas são os maiores poluidores da atividade, responsáveis por atrair ratos e insetos, gerar o mau odor característico e contaminar terrenos.

Figura 17 – a) Leira 1 aberta no dia do tombamento constituída por uma mistura entre as conchas, o composto orgânico final e a palha sem mudanças visíveis e b) as conchas sem resíduos indesejáveis no final do processo.



Fonte: Autor (2019).

6.2 Avaliação dos compostos orgânicos

Os compostos orgânicos gerados nas leiras exibiram características físicas muito parecidas com a turfa como a maleabilidade, a cor preta e o odor, além de alta umidade (Figura 18). As amostras foram divididas em 1.1 e 1.2 (retiradas nos dias 44 e 68, respectivamente) para a compostagem 1 e em amostras 2.1 e 2.2 (retiradas nos dias 22 e 46, respectivamente) para a leira 2, todas elas com aspectos visuais e sensoriais muito semelhantes. As amostras dos produtos finais (1.2 e 2.2) foram avaliadas quanto a sua qualidade como fertilizante e as amostras removidas durante o processo (1.1 e 2.1), foram avaliadas para monitorar o desenvolvimento das compostagens. Não foram retiradas amostras em outros períodos devido à falta de estrutura para armazenamento e posterior análise a curto prazo destas.

Figura 18 – Compostos orgânicos finais da leira 1 (à esquerda) e da leira 2 (à direita).



Fonte: Autor (2019).

6.2.1 Parâmetros físico-químicos e matéria orgânica

Os parâmetros físico-químicos são fundamentais para se verificar a qualidade fertilizante do composto e também para se ter conhecimento em qual fase da maturação ele se encontra durante o processo. Além da umidade, já citada anteriormente, os parâmetros de maior relevância são: as quantidades de carbono orgânico (C) e nitrogênio total (N), a relação C/N e o pH. Os limites para estes são estabelecidos na Instrução Normativa nº 25 pelo MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Tabela 2).

De acordo com a Normativa, o composto orgânico produzido nesse trabalho se enquadra na classe A:

Fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados, no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura.⁵¹

Tabela 2 – Especificações dos parâmetros físico-químicos em fertilizantes orgânicos mistos e compostos classe A.

Parâmetros	Valor
Umidade (máx.)	50 %
Carbono orgânico total (min.)	150 g.kg ⁻¹
Nitrogênio total (min.)	5 g.kg ⁻¹
Relação C/N (máx.)	20
pH (mín.)	6,0

Fonte: Instrução Normativa nº25 pelo MAPA (2009).⁵¹

Outro valor fundamental para o estudo que não é especificado na normativa é a condutividade elétrica. Apesar da condutividade não ter um valor estipulado, se o composto for usado como substrato, recomenda-se que a salinidade não deve ultrapassar 0,65 mS.cm⁻¹.³² Todos os parâmetros citados foram analisados nas amostras e estão disponíveis na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado dos parâmetros físico-químicos obtidos nas amostras dos compostos orgânicos.

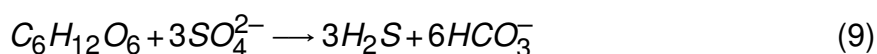
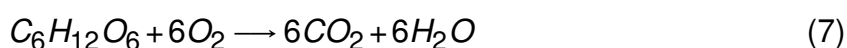
Amostra	pH	Condutividade (mS/cm)	Umidade (% a 65° C)	Carbono (g/kg)	Nitrogênio (g/kg)	Relação C/N
1.1	8,26	15,30	76,43	536,1	63,0	8,50
1.2	8,12	10,95	70,80	477,8	50,8	9,40
2.1	8,30	8,10	75,80	546,6	31,5	17,35
2.2	8,00	12,48	78,84	548,3	63,0	8,70

Fonte: Autor (2020).

Relacionando os valores obtidos para os produtos finais com os estabelecidos na Tabela 2 nota-se que, com exceção da umidade, os parâmetros estão dentro do padrão. Observando as amostras 1.1 e 2.1 verificou-se que a umidade também esteve alta durante a compostagem, com valores acima de 70%, limite da faixa considerada ideal para o decorrer do processo. Para níveis mais altos de umidade recomenda-se um maior número de revolvimentos nas leiras, ferramenta que poderia ter ajudado a regular esse parâmetro. Também espera-se que a umidade diminua ao longo do processo em virtude da geração de calor característica do processo de fermentação aeróbia, suposição que não é vista nos resultados para a leira 2. No entanto há de se destacar que esse fato pode estar relacionado com tempestades ocorridas no local durante a fase final do experimento, chegando a danificar a estrutura de cobertura da leira 2. Além disso a falta de equipamentos para medir esse parâmetro dificultou o seu controle durante o processo. Contudo, a umidade não interferiu de forma negativa na decomposição do material orgânico de principal interesse e não representa um problema prático para o composto final.^{13,16,18,52}

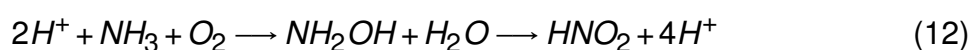
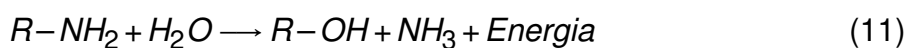
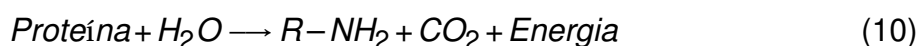
Tanto a disponibilidade de carbono orgânico e de nitrogênio total quanto a razão C/N estão em bons percentuais nos compostos finais. Normalmente, a relação C/N diminui com o grau de maturação do composto, uma vez que há perda de C orgânico no meio à medida que o carbono vai se transformando em CO₂, conforme decorrido na leira 2. Na amostra 1.1, a baixa razão de C/N indica que é possível que naquele momento do experimento o composto orgânico da leira 1 já estava em grau avançado de maturação.

A relação C/N também pode prever se a decomposição será aeróbia (Equação 7) ou anaeróbia (Equação 8). Razões baixas no início ou no meio do processo podem levar à decomposição sem a utilização de O₂ do ambiente, gerando CH₄, ou até mesmo utilizando o oxigênio de compostos com enxofre como SO₄²⁻ e transformando-os em H₂S (Equação 9), uma das espécies responsáveis por atrair vetores e exalar mau cheiro.^{3,13,15,53}



O pH esteve dentro do esperado em todas as amostras. Na decomposição da matéria orgânica atuam inicialmente microrganismos que utilizam o nitrogênio orgânico, transformando-o em nitrogênio amoniacal (Equações 10 e 11), o que resulta no aumento do pH. Porém no decorrer da decomposição, a amônia pode ser volatilizada ou nitrificada (Equações 12 e 13), fazendo com que o composto final apresente pH menor. Essa variação de pH dá indícios de que ocorreu o processo enzimático de conversão de formas orgânicas para formas inorgânicas de N (NH₃, NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻).

Quando o processo inverso ocorre, ou seja, o N inorgânico é transformado em orgânico, ocorre o fenômeno conhecido como imobilização do nitrogênio, sendo o N orgânico indisponível para as plantas.⁵⁴⁻⁵⁷ No entanto outras substâncias como o cálcio, em alta concentração no resíduo inicial, podem interferir e elevar o pH dos compostos finais.





As quantidades de carbono e nitrogênio nas amostras 1.2 e 2.2 valorizam a capacidade fertilizante do composto final. O nitrogênio é importantíssimo pois a sua deficiência limita a produção primária de substâncias essenciais como proteínas, uma vez que a molécula de N_2 , abundante na atmosfera, não pode ser utilizada pela maioria dos organismos, em decorrência da ligação tripla entre os átomos de nitrogênio, demandando uma alta quantidade de energia para essa quebra.⁵⁴

A condutividade apresentou números relativamente altos, porém esperados devido ao substrato utilizado. Salinidades muito altas podem reduzir a absorção de nutrientes essenciais às plantas. Mas apesar dos resultados apontarem números acima do desejado para a utilização do composto final como substrato, os valores obtidos não atingem níveis que causam grande preocupação se o composto for utilizado apenas como fertilizante de solo.³²

6.2.2 Análises dos minerais

Os macronutrientes minerais (N, P, K, Ca, Mg e S) também são fundamentais para a qualidade do fertilizante. A deficiência desses elementos pode causar grandes transtornos para o plantio, chegando até mesmo à morte de espécies cultivadas.⁵⁵ Porém valores muito altos de nutrientes também são prejudiciais e podem desqualificar o fertilizante. Os valores de macronutrientes encontrados nas amostras dos compostos orgânicos estão descritos na Tabela 4. Ainda são apresentados os valores dos íons analisados, a fim de se avaliar a quantidade de sais presentes nos produtos finais, levando em conta que os substratos iniciais são de origem marinha.

Tabela 4 – Composição de macronutrientes e alguns íons nas amostras dos compostos.

Espécie	1.1	1.2	2.1	2.2
Ca (%)	2,16	5,97	7,20	6,20
Mg (%)	0,44	0,55	0,31	0,37
P ₂ O ₅ (%)	0,70	0,62	0,77	0,89
K ₂ O (%)	1,39	1,19	1,91	1,72
Na ⁺ (mg.L ⁻¹)	10,0	5,0	5,0	5,0
Cl ⁻ (mg.L ⁻¹)	20,60	16,10	25,05	14,94
SO ₃ ²⁻ (mol.L ⁻¹)	4,50	3,24	4,20	3,69
CO ₃ ²⁻ (mol.L ⁻¹)	8,10	4,93	9,95	5,50
HCO ₃ ⁻ (mol.L ⁻¹)	4,22	3,73	6,50	5,00

Fonte: Autor (2020).

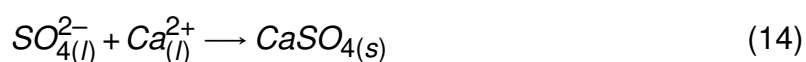
A normativa nº 25⁵¹ também contempla os macronutrientes e estipula valores mínimos de 1% para Ca, Mg e S, na composição total para fertilizantes de todas as

classes descritas. O enxofre foi medido apenas na forma de sulfato, não sendo possível indicar a sua real porcentagem no meio. O magnésio se encontra abaixo do ideal nas amostras do produto final, enquanto o cálcio está presente em alta quantidade, como o esperado devido a utilização das conchas. Esses teores não configuram por si só uma deficiência para a atividade fertilizante dos compostos, mas solos com relações Ca:Mg muito altas podem afetar a absorção do magnésio pelas plantas. Relações entre cálcio e magnésio parecidas são vistas em diversos compostos orgânicos fertilizantes na literatura.^{27,32,57}

Os valores para fósforo e potássio, tanto quanto para N-P-K, não são estipulados, porém alguns padrões são exigidos. O fósforo deve ser quantificado no seu teor total em porcentagem mássica de P_2O_5 , já o potássio pelo seu teor solúvel em água na forma de óxido de potássio (K_2O). Muitos fertilizantes atribuem sua qualidade por meio desses componentes, pois a deficiência de algum deles pode ser muito grave para as plantas. Levando isso em conta, pode-se dizer que os compostos finais apresentam bom potencial fertilizante ao se relacionar as porcentagens de N, P e K obtidas com a de compostos orgânicos desenvolvidos a partir de diferentes tipos de substratos.^{18,32,35}

A quantidade de íons em geral não é especificada pela normativa n° 25, com exceção do cloro (por ser considerado um micro nutriente) que requer teor mínimo de 0,1% em fertilizantes orgânicos. A proporção de Cl^- (espécie que representa a ampla maioria de cloro no meio) na água salina é maior que a de Na^+ em relação semelhante ao encontrado nas amostras 1.2 e 2.2. A concentração de cloreto é relativamente alta e pode afetar solos que já possuam concentrações elevadas dessa substância, principalmente quando a proporção de cloro for muito elevada quando relacionada com os macronutrientes, ocasionando redução no crescimento dos vegetais.^{58,59}

As quantidades de sulfato, carbonato e bicarbonato registraram níveis abaixo do esperado. Concentrações baixas de sulfato são consideradas boas para fertilizantes já que este ânion pode se ligar a outros íons, como o Ca^{2+} (Equação 14) e diminuir a quantidade disponível dessas espécies no solo.



A acidez trocável, que representa a soma das concentrações de H^+ e Al^{2+} , apresentou valores de $8,00 \text{ mol.L}^{-1}$ para a amostra 1.2 e $8,15 \text{ mol.L}^{-1}$ para a amostra 2.2. Este parâmetro em concentrações altas, prejudica muito o desenvolvimento de plantas, principalmente devido ao alumínio. O valor da acidez pode ser comparado com a soma entre CO_3^{2-} e HCO_3^- (também conhecida como alcalinidade do solo) para uma possível neutralização. A alcalinidade para o composto final 1 foi de $8,66 \text{ mol.L}^{-1}$ e para o 2 foi de $10,50 \text{ mol.L}^{-1}$ possuindo, portanto, quantidade superior ao da acidez e contribuindo para o caráter básico dos pHs finais.

Os compostos orgânicos finais apresentaram grande potencial fertilizante apesar de algumas falhas, como a concentração levemente elevada de cloreto e a baixa percentagem de magnésio. Algumas variações no composto da leira 1, como a relação C/N e a diminuição de P e K, sugerem que a maturação do composto possa ter ocorrido antes e que o processo de compostagem poderia ter sido cessado no período em que foi retirada a amostra 1.1 (dia 44). Ao fim do estudo, conclui-se que a compostagem pode ser utilizada como uma técnica auxiliar para destinação dos resíduos sólidos orgânicos da malacocultura, ainda que não solucione o problema por completo. O método testado pode ser aplicado pelos próprios maricultores e reduz o dano ambiental causado por esses dejetos.

As conchas remanescentes do processo, isentas de impurezas, possuem uma drástica redução na sua capacidade poluidora. Além disso a coleta e a separação das conchas sem material orgânico pode ser realizada por outros órgãos, visto que vários pesquisadores vêm estudando com sucesso destinações viáveis que agregam valor às conchas de moluscos, como por exemplo o uso na construção civil (na produção de tijolos e cimento), no tratamento de efluentes e na regulação de pH de solos agrícolas, com prévio tratamento e maceração.^{3,60,61}

O trabalho realizado fortaleceu o entendimento de como a pesquisa profissional pode auxiliar as comunidades locais e a sociedade como um todo, além de como o trabalho em equipe pode amplificar o aprendizado e agregar mais valor a partir do conhecimento individual de cada contribuinte.

7 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

Pode-se afirmar que as principais metas do estágio supervisionado foram atingidas. O trabalho expôs o dia-a-dia em uma empresa de pesquisa e as atividades que o químico tecnológico pode exercer em uma equipe profissional. O estudo realizado demonstrou que a compostagem termofílica pode ser uma opção viável para reduzir os impactos dos resíduos sólidos orgânicos gerados pela malacocultura em baixa temporada da região de Florianópolis, sendo capaz de auxiliar os maricultores.

As leiras de compostagem foram montadas com tamanhos e condições de modo que os produtores possam reproduzir o método. A decomposição termofílica não ocorreu apenas com a matéria orgânica da atividade devido a sua alta proporção de conchas, havendo a necessidade de se adicionar resíduos ricos em carbono orgânico de outra fonte. Após a adição, a técnica se fez eficaz decompondo todo o rejeito orgânico presente no meio em uma média de 57 dias, com a fase termofílica durando 3 semanas e meia. As conchas não apresentaram mudanças estruturais significativas, mas se encontraram isentas de impurezas, o que reduz de maneira considerável o seu impacto ambiental. Este fato, porém, exige uma melhor organização para futuras coletas e apropriada destinação para o sólido residual.

Os compostos orgânicos gerados no processo indicaram alto potencial fertilizante, valorizando a técnica testada. A sua composição química possui boas concentrações de nutrientes essenciais como N, P e K e boa relação entre carbono e nitrogênio. Algumas insuficiências dos compostos que podem ser citadas são os altos valores de condutividade (com elevada presença de Cl^-) e umidade, problemas que podem ser relacionados com a origem do resíduo tratado, e a baixa concentração de Mg^{2+} em relação a Ca^{2+} . A avaliação final dos compostos orgânicos obtidos sugere o seu uso preferencialmente em solos ácidos, sendo possível uma ação reguladora de pH.

Para conclusão do trabalho, será proposto um meio informativo para divulgar as informações relevantes obtidas no estudo e disseminar as ações feitas, com o objetivo de contribuir com a comunidade aquícola do estado. Também deverão ocorrer novos estudos para aprimorar a técnica e se obter um maior conhecimento sobre os resíduos orgânicos gerados pelos maricultores de Florianópolis, as variações químicas durante o processo e um estudo utilizando os resíduos gerados pela atividade na época de alta temporada (dezembro a março).

8 CONTRIBUIÇÃO DO ESTÁGIO À FORMAÇÃO PROFISSIONAL

Desempenhar o estágio supervisionado em uma empresa com a estrutura e a importância da EPAGRI proporcionou um grande desenvolvimento não só profissional, mas também pessoal e cultural. A oportunidade de realizar um trabalho voltado diretamente para o produtor primário catarinense foi muito gratificante.

A relação com profissionais de diferentes áreas enriqueceu o conhecimento e contribuiu muito para uma compreensão diferente de trabalho em grupo, destacando a importância de um químico não só para uma equipe, mas também para a sociedade como um todo. O estudo multidisciplinar propiciou amplo aprendizado sobre variados temas e experiência para atuar com especialistas de variadas áreas.

Sendo assim, o estágio supervisionado se mostrou fundamental para a minha formação, não apenas por possibilitar o primeiro contato com o mercado de trabalho e a primeira experiência profissional na área, mas igualmente por mostrar a importância de uma parceria entre empresa, sociedade e universidade, além de como é possível utilizar os conceitos adquiridos durante o curso de Bacharelado em Química Tecnológica para promover pesquisas de forma descentralizada.

9 REFERÊNCIAS

- ¹FAO (2018). **The state of world fisheries and aquaculture 2018 - meeting the sustainable development goals**. Roma, 224p., 2018.
- ²ANDRADE, G.J.P.O. **Maricultura em Santa Catarina: a cadeia produtiva gerada pelo esforço coordenado de pesquisa, extensão e desenvolvimento tecnológico**. Florianópolis: Rev. Eletr. de Extensão, UFSC. 13, 24, 204-217, 2016.
- ³BROGNOLI, F.F.; NOVAES, A.L.T.; JUNIOR, A.B.C.; FILHO, P.B.; RESTREPO, J.J.B.; STRELAU, J.R.M. **Valorização dos resíduos da malacocultura catarinense: utilização de conchas de ostra (*Crassostrea gigas*) e mexilhões (*Perna perna*), descartadas em Santa Catarina**. Florianópolis: EPAGRI, ENS/UFSC e PMF, 14 f., 2017.
- ⁴SUPLICY, F.M. **Plano estratégico para o desenvolvimento sustentável da maricultura catarinense (2018-2028)**. Florianópolis: EPAGRI, (Epagri. documentos, 290), 76p., 2019.
- ⁵DOS SANTOS, A.A.; GIUSTINA, E.G.D. **Síntese informativa da maricultura 2017**. Florianópolis: EPAGRI (CEDAP), 8p., 2018.
- ⁶ERONDU, E.S.; ANYANWU, P.E. **Potential hazards and risks associated with the aquaculture industry**. Afr. J. Biotechnol., 4, 13, 1622-1627, 2005.
- ⁷MARTINEZ-PORCHAS, M.; MARTINEZ-CORDOVA, L.R. **World aquaculture: environmental impacts and troubleshooting alternatives**. The Scientific World Journal, 9p., 2012.
- ⁸FREITAS, R.R.; COSTA, K.G.; SILVESTRI, F. **Maricultura e meio ambiente: tecnologias, impactos e sustentabilidade**. Rev. Bras. de Agroecologia, 4, 3, 107-113, 2009.
- ⁹NUNES, F.F. **Resíduos da maricultura potencial, iniciativas e desafios**. Florianópolis: Projeto de Cooperação Técnica Internacional. "Por um Desenvolvimento Sustentável da Aquicultura", SEAP/S.G/PR, 2018.
- ¹⁰CHAKRABORTI, T.; GHOSH, T.K.; TRIPATHI, G. **Biotechnology in environmental management**. APH Publishers, 1, 339-350, 2005.
- ¹¹LIM, S.L.; LEE, L.H.; WU, T.Y. **Sustainability of using composting and vermicom-**

posting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. Bandar Sunway. Journal of Cleaner Production, 111, 262-278, 2016.

¹²RUSSO, M.A.T. **Tratamento de resíduos sólidos.** (Departamento de Engenharia Civil) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, 57 f., Universidade de Coimbra. 2003.

¹³INÁCIO, C.T.; MILLER, P.R.M. **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2 ed., 156p., 2009.

¹⁴ZUCCONI, F.; BERTOLDI, M. **Composts specifications for the production and characterization of composts from municipal solid waste.** In Compost: production, quality and use, Elsevier Ap. Sci., 30-50, 1987.

¹⁵PEREIRA-NETO, J.T.; STENTIFORD, E.I.; MARA, D.D. **Low cost controlled composting of refuse and sewage sludge.** Wat. Sci. Tech., 19, 839-845, 1987.

¹⁶GAVILANES-TERÁN, I.; JARA-SAMANIEGO J.; IDROVO-NOVILLO, J.; BUSTAMANTE, M.A.; MORAL, R.; PAREDES, C. **Windrow composting as horticultural waste management strategy - a case study in Ecuador.** Waste Management, 48, 127-134, 2016.

¹⁷FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. **Manual prático para a compostagem de biosólidos.** Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 84p., 1999.

¹⁸SCHERER, E.E.; CORTINA, N.; MASSOTTI, Z.; PARIZOTTO, C.; PANDOLFO, C.M. **Avaliações agrônômica e econômica de uma plataforma de compostagem e do composto produzido.** Florianópolis: Boletim Técnico, 150, EPAGRI, 49p., 2009.

¹⁹BERNAL, M.P.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A.; PAREDES, C.; ROIG, A. **Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil.** Agriculture Ecosystems & Environment., 69, 175-189, 1998.

²⁰TUOMELA, M.; VIKMAN, M.; HATAKKA, A.; ITAVAARA, M. **Biodegradation of lignin in a compost environment: a review.** Bioresource Technology, 72, 169-183, 2000.

²¹CHEFETZ, B.; HATCHER, P.G.; HADAR, Y.; CHEN, Y. **Characterization of dissolved organic matter extracted from composted municipal solid waste.** Soil Science

Society of America, 62, 326-332, 1998.

²²HAYES, M.H.B.; CLAPP, C.E. **Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences.** Soil Sci., 166, 11. 723-737, 2001.

²³BUDZIAK, C.R.; MAIA, C.M.B.F.; MANGRICH, A.S. **Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira.** Quím. Nova, 27, 3, 399-403, 2004.

²⁴TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outro materiais.** 2 ed., Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS: Boletim Técnico, 174p., 1995.

²⁵ROSA, R.C.C.; SANTOS, J.S.S.; SOUZA, L.S. **Caracterização química de compostos orgânicos para aplicação em cultivos de bananeiras no sistema orgânico.** Florianópolis: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 3p., 2013.

²⁶SHIMAMOTO, G.F.; WANGEN, D.R.B.; SANTOS.M.S.; PEREIRA, H.S.; SANTOS, G.A.; RAIMUNDO, M.A.P. **Caracterização química de composto orgânico produzido com resíduos sólidos gerados pelo Restaurante Universitário da Universidade Federal de Uberlândia.** Natal: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 4p., 2015.

²⁷TEIXEIRA, L.B.; OLIVEIRA, R.F.; JÚNIOR, J.F.; GERMANO, V.L.C. **Características químicas de composto orgânico produzido com lixo orgânico, caroço de açaí, capim e serragem.** Belém: Embrapa. Comunicado técnico, 4p., 2004.

²⁸SCHULTEN, H.R.; SCHNITZER, M. **Chemical model structures for soil organic matter and soils.** Soil Science, 162, 2, 115-130, 1997.

²⁹PICCOLO, A.; CONTE, P. **Molecular size of humic substances: supramolecular associations versus macromolecular polymers.** Advances in Environmental Research, 3, 4, 508-521, 2000.

³⁰PICCOLO, A. **The supramolecular structure of humic substances.** Soil Science, 166, 11, 810-832, 2001.

³¹SCHULTEN, H.R.; SCHNITZER, M. **A state of the art structural concept for hu-**

mic substances. *Naturwissenschaften*, 80, 1, 29-30, 1993.

³²LÓPEZ-MOSQUERA, M.E.; FERNÁNDEZ-LEMA, E.; VILLARES, R.; CORRAL, R.; ALONSO, B.; BLANCO, C. **Composting fish waste and seaweed to produce a fertilizer for use in organic agriculture.** *Proced. Environmental Sci.*, 9, 113-117, 2011.

³³MENGISTU T.; GEBREKIDAN H.; KIBRET K.; WOLDETSADIK K.; SHIMELIS B.; YADAV H. **Comparative effectiveness of different composting methods on the stabilization, maturation and sanitization of municipal organic solid wastes and dried faecal sludge mixtures.** *Environmental Sys. Research*, 6, 1-16, 2017.

³⁴ILLERA-VIVES, M.; LÓPEZ-FABAL, A.; LÓPEZ-MOSQUERA, M.E.; RIBEIRO, H.M. **Mineralization Dynamics in soil fertilized with seaweed-fish waste compost.** *Journal of the Sci. of Food and Agriculture*, 95, 3047-3054, 2015.

³⁵RADZIEMSKA, M.; VAVERKOVÁ, M.D.; ADAMCOVÁ, D.; BRTNICKÝ, M.; MAZUR, Z. **Valorization of fish waste compost as a fertilizer for agricultural use.** *Waste and Biomass Valorization*, 10, 2537-2545, 2019.

³⁶LEE, R.; BLAKEMORE, L.C.; GIBSON, E.J.; DALY, B.K. **Effect of extraction time and charcoal treatment on the adsorbed sulphate values of several New Zealand Topsoils.** *Communic. Soil Sci. and Plant Anal.*, 12, 12, 1981.

³⁷CLAESSEN, M.E.C.; BARRETO, W.O.; DE PAULA, J.L.; DUARTE, M.N. **Manual de métodos de análise de solo.** 2 ed., Rio de Janeiro: rev. atual. EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212p., 1997.

³⁸VERAS, M.C.M. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos.** MAPA. Brasília: Secretária de Defesa Agropecuária, MAPA/SDA/CGAL, 220p., 2014.

³⁹HARRIS, D.C. **Análise química quantitativa.** 8 ed., Rio e Janeiro: LTC, 898p., 2012.

⁴⁰AMORIM, F.A.C.; LOBO, I.P.; SANTOS, V.L.C.S.; FERREIRA, S.L.C. **Espectrometria de absorção atômica: o caminho para determinações multielementares.** São Paulo: Quim. Nova, 31, 7, 2018.

⁴¹WELZ, B.; SPERLING, M. **Atomic absorption spectrometry.** 3 ed., Weinheim: Wiley-VCH, 941p., 1999.

- ⁴²WELZ, B.; BECKER-ROSS, H.; FLOREK, S.; HEITMENN, U. **High - resolution continuum source AAS - the better way to do atomic absorption spectrometry**. Weinheim: Wiley-VCH, 296p., 2005.
- ⁴³PARISENTI, J.; TRAMONTE, V.L.C.G.; ARELLANO, D.B. **Composição de esteróis e ácidos graxos de ostras (*Crassostrea gigas*) cultivadas em Florianópolis - SC, em duas estações do ano**. Campinas: Ciênc. Tecnol. Aliment., 30, 1, 73-76, 2010.
- ⁴⁴HAMESTER, M.R.R. **Caracterização do carbonato de cálcio obtido de cascas de mariscos e incorporação em polipropileno**. 2010. 52 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Sociedade Educacional de Santa Catarina, Joinville, SC.
- ⁴⁵SILVA D. **Resíduo sólido da malacocultura: caracterização e potencialidade de utilização de conchas de ostras (*Crassostrea gigas*) e mexilhão (*Perna perna*)**. 2007. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, SC.
- ⁴⁶EO, S.H.; YI, S.T. **Effect of oyster shell as an aggregate replacement on the characteristics of concrete**. Magazine of Concrete Research, 67, 15, 833-842, 2015.
- ⁴⁷YOON, G.L.; KIM, B.T.; KIM, B.O.; HAN, S.H. **Chemical–mechanical characteristics of crushed oyster-shell**. Waste Management, 23, 9, 825-834, 2003.
- ⁴⁸WANG, H.W.; KUO, W.T.; LIN, C.C.; YO, C.P. **Study of the material properties of fly ash added to oyster cement mortar**. Construction and Building Materials, 41, 532-537, 2013.
- ⁴⁹LIANG, C.; DAS, K.C.; McCLENDON, R.W. **The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend**. Bioresource Technology, 86, 131-137, 2003.
- ⁵⁰KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4 ed. Piracicaba: E.J. Kiehl, 173p., 2004.
- ⁵¹BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009**. Diário Oficial da União, Brasília, DF.
- ⁵²ALCARDE, J.C.; MALAVOLTA, E.; BORGES, A.L.; MUNIZ, A.S.; VELOSO, C.A.;

FABRÍCIO, A.C.; VIEGAS, I.J.M. **Avaliação da higroscopicidade de fertilizantes e corretivos**. *Scientia agr.* 49, 1, 137-144, 1992.

⁵³MAINIER, F.B.; VIOLA, E.D.M. **O sulfeto de hidrogênio (H₂S) e o meio ambiente**. 2º Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGeT, 612-618, 2005.

⁵⁴VIEIRA, R.F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. Brasília: Embrapa, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 163p., 2017.

⁵⁵PEREIRA-NETO, J.T. **Monitoramento da eliminação de organismos patogênicos durante a compostagem de resíduos urbanos e lodo de esgoto pelo sistema de pilhas estáticas aeradas**. Rio de Janeiro: Engenharia Sanitária, 27, 148-152, 1988.

⁵⁶ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. 2 ed., New York: John Willey, 467p., 1977.

⁵⁷MEDEIROS, J.C.; ALBUQUERQUE J.A.; MAFRA, A.L.; ROSA, J.D.; GATIBONI, L.C. **Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico**. Londrina: Seminário de Ciências Agrárias, 29, 4, 799-806, 2008.

⁵⁸CRUZ, J.L.; PELACANI, C.R.; COELHO, E.F.; CALDAS, R.C.; ALMEIDA, A.Q.; QUEIROZ, J.R. **Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo**. Campinas: *Bragantia*, 65, 2, 275-284, 2006.

⁵⁹SILVA, J.B.C.; GIORDANO, L.B.; FURUMOTO, O.; BOITEUX, L.S.; FRANÇA, F.H.; BÔAS, G.L.V.; BRANCO, M.C.; MEDEIROS, M.A.; MAROUELLI, W.; SILVA, W.L.C.; LOPES, C.A.; ÁVILA, A.C.; NASCIMENTO, W.M.; PEREIRA, W. **Cultivo de tomate para industrialização**. Embrapa: hortaliças, Sistemas de Produção. 2, 2006.

⁶⁰KWON, H.; LEE, C.; JUN, B.; YUN, J.; WEON, S.; KOOPMAN, B. **Recycling waste oyster shells for eutrophication control**. *Resources, conservation & recycling*, 41, 75-82, 2004.

⁶¹ YANG, E.; YI, S.; LEEM, Y. **Effect of oyster shell substituted for fine aggregate on concrete characteristics: part I. fundamental properties**. *Cement and concrete research*, 35, 11, 2175-2182, 2005.

10 ANEXOS

**Declaração de estágio obrigatório**

O escritório municipal de Florianópolis da EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA – EPAGRI inscrito no CNPJ da SSP/SC nº83.052.191/0001-62, localizada na Rodovia Ademar Gonzaga nº1188 no bairro Itacurubi na cidade de Florianópolis/SC, declara que o aluno RENAN DA FONSECA BEZ, CPF 394.401.488-02, número de matrícula da UFSC14204247, realizou estágio OBRIGATÓRIO referente a disciplina Estágio Supervisionado (QMC5515) no Escritório municipal de Florianópolis da EPAGRI, entre o período de 03/06/2019 a 06/09/2019, totalizando 450 horas. A Instituição de Ensino UFSC em que o aluno estuda possui vínculo com esta empresa ou órgão e o aluno tem seu projeto de estágio de conclusão de curso supervisionado pelo Extensionista rural Philipe Medeiros da Costa, CPF 048.237.179-02.

Atenciosamente,

Philipe Medeiros da Costa

Engenheiro Agrônomo e Extensionista rural

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA – EPAGRI

Philipe Medeiros da Costa
Engenheiro Agrônomo
CREA: 125327-7
Matrícula EPAGRI: 05671-5
Extensionista rural