

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

LÍGIA MARIA TROLEZI

**AVALIAÇÃO DO DESTINO FINAL DA BIOMASSA DE *LANDOLTIA PUNCTATA*
PARA COMPOSTAGEM POR AERAÇÃO NATURAL COM RESÍDUOS DE PODAS
DE ÁRVORES**

Ilha Solteira
2019

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA

LÍGIA MARIA TROLEZI

AVALIAÇÃO DO DESTINO FINAL DA BIOMASSA DE *LANDOLTIA PUNCTATA*
PARA COMPOSTAGEM POR AERAÇÃO NATURAL COM RESÍDUOS DE PODAS
DE ÁRVORES

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos
Orientadora: Dr^a Liliane Lazzari Albertin

Ilha Solteira

2019

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

T846a Trolezi, Lígia Maria.
Avaliação do destino final da biomassa de *Landoltia punctata* para compostagem por aeração natural com resíduos de podas de árvores / Lígia Maria Trolezi. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2019
118 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, 2019

Orientadora: Liliane Lazzari Albertin
Inclui bibliografia

1. Lemna. 2. Compostagem. 3. Fitorremediação. 4. Polimento de esgoto. 5. Esgoto sanitário.


Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Seção



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Avaliação do destino final da biomassa de *Landoltia punctata* para compostagem por aeração natural com resíduos de podas de árvore

AUTORA: LÍGIA MARIA TROLEZI

ORIENTADORA: LILIANE LAZZARI ALBERTIN

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, área: Regulação e Governança de Recursos Hídricos pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. LILIANE LAZZARI ALBERTIN
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. JEFFERSON NASCIMENTO DE OLIVEIRA
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. ÉRICA PUGLIESI
Departamento de Ciências Ambientais / Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

Ilha Solteira, 22 de fevereiro de 2019

Dedico este trabalho a todos os educadores e profissionais que se empenham no despertar da consciência do homem para o valor da vida e preservação do meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a equipe de professores e funcionários do Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – Prof. Água, em especial ao Coordenador Geral Prof. Dr. Jefferson Nascimento de Oliveira por todo incentivo, apoio e dedicação incansável ao Programa.

A minha orientadora, Prof. Dra. Lilians Lazzari Albertin, pela confiança, paciência e generosidade, pelo acompanhamento e orientações insubstituíveis durante a realização deste trabalho, e por contribuir para minha vida profissional.

A José Antônio Zanetoni Filho, responsável pela produção de biomassa na estação experimental, minha gratidão pela caminhada, pela parceria generosa e pela amizade construída.

Aos professores que gentilmente, na condição de banca de defesa, contribuíram na construção deste trabalho de forma valiosa.

À Escola Técnica ETEC “Frei Arnaldo Maria de Itaporanga”, em especial o Diretor Luciano Paulo Salício, a equipe de Diretoria de Serviços, Luciana Venturini e Kaynan Ferreira, coordenadores, professores e alunos pelo apoio e incentivo.

Aos meus queridos amigos de mestrado, por todo companheirismo, amizade, alegria e sentimento fraterno compartilhados nesta caminhada.

Aos meus pais, Alzira e José, minha irmã Vanessa, meus sobrinhos Davi e Cecília, pela base de amor na minha vida.

Ao Vagner, meu companheiro de todos os momentos, por todo amor, paciência e compreensão, pelo apoio e força ao longo do trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Prof. Água, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

“O planeta não vai ser salvo por quem tira notas altas nas provas, mas por aqueles que se importam com ele.”

(Howard Gardner, 2009)

RESUMO

A degradação da qualidade da água é principalmente resultado de contaminantes de fontes difusas e da variabilidade espaço-temporal associada a essas fontes, além da falta de sistemas de coleta e tratamento de esgoto. Esse problema, de poluição pontual, pode ser amenizado em estações de tratamento de esgoto, pela implementação de tecnologias novas e eficientes, ou modificação do convencional em direção ao conceito de sustentabilidade. Neste contexto, o uso de macrófitas é uma alternativa de tecnologia de complexidade baixa, eficiente e econômica. As macrófitas têm uma alta taxa de reprodução e alta produção de biomassa, resultando em uma grande capacidade de remover compostos contaminantes dos esgotos. Além disso, as plantas aquáticas cultivadas em esgoto isento de metais pesados também podem ser utilizadas como fertilizantes na agricultura. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o uso potencial da biomassa da macrófita, *Landoltia punctata*, como material nitrogenado associado a resíduos de podas de árvores, e outros materiais carbonáceos, em compostagem para produção de composto orgânico, bem como avaliar a composição físico-química do composto. O uso da *Landoltia punctata* em tratamento de polimento de efluentes apresenta a melhora da qualidade da água dos corpos de crescimento d'água e contribui para minimizar o problema da eutrofização no meio aquático. Porém sua alta taxa de crescimento e produção dificulta sua aplicação em larga escala, levantando questões para sua destinação segura, uma vez que sua biomassa é caracterizada como resíduos oriundos estação de tratamento de esgoto.

Palavras-chave: Lemna. Compostagem. Fitorremediação. Polimento de esgoto. Esgoto sanitário.

ABSTRACT

The degradation of water quality is mainly a result of contaminants from diffuse sources and the spatiotemporal variability associated to these sources, as well as the lack of sewage collection and treatment systems. This problem of punctual pollution can be mitigated in sewage treatment plants, through the implementation of new and efficient technologies, or modification of the conventional towards the concept of sustainability. In this context, the use of macrophytes is a technology alternative of low complexity, efficient and economical. Macrophytes have a high reproductive rate and high biomass production, resulting in a large capacity to remove contaminating compounds from sewage. In addition, aquatic plants grown in sewage free of heavy metals can also be used as fertilizers in agriculture. Thus, the objective of this research was to evaluate the potential use of macrophyte biomass, *Landoltia punctata*, as nitrogenous material associated with tree pruning residues and other carbonaceous materials, in composting for organic compost production, as well as to evaluate the physical composition. -chemical of the compound. The use of *Landoltia punctata* in effluent polishing treatment improves the water quality of water bodies and contributes to minimize the problem of eutrophication in the aquatic environment. However, its high rate of growth and production hampers its application on a large scale, raising questions for its safe disposal, since its biomass is characterized as waste from sewage treatment plant.

Keywords: Lemnaceae. Composting. Phytoremediation. Polishing treatment. Sanitary sewer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Sistemas de Tratamento de Esgotos por Lagoas	25
Figura 2	- Relação do número de municípios, população atendida e eficiência (remoção de DBO) que compõe a Região Hidrográfica da Bacia do Paraná, Brasil	26
Figura 3	- Relação do número de ETEs e a eficiência (remoção de DBO)	27
Figura 4	- Comparação dos Pontos de Monitoramento	29
Figura 5	- Investimento na Bacia Paraná: Contempla cidades mais populosas (D.F, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina)	31
Figura 6	- Diagrama dos sistemas de Fitorremediação aplicada às estações de tratamento de águas residuárias	36
Figura 7	- Tipos biológicos das Macrófitas Aquáticas	38
Figura 8	- Processos de fitorremediação	39
Figura 9	- Mecanismos que constituem a fitorremediação	40
Figura 10	- Representação de processos que ocorrem durante o tratamento de efluentes, em lagoas com lemnáceas flutuantes	41
Figura 11	- Árvore simplificada da família Araceae, mostrando as subfamílias Aroideae e Lemnoideae	48
Figura 12	- Espécie <i>Landoltia punctata</i>	49
Figura 13	- Detalhes da <i>Landoltia punctata</i>	49
Figura 14	- Layout do sistema de tratamento – Tanque de Lemnas	51
Figura 15	- Vista do tanque de lemnas com recirculação do efluente	51
Figura 16	- Tanque de lemnas com as seções, entrada e saída do efluente	52
Figura 17	- Produção da Biomassa, no Laboratório de Saneamento do Departamento de Engenharia Civil, da UNESP- Ilha Solteira e Compostagem na Escola Técnica “Frei Arnaldo Maria de Itaporanga” – ETEC, Votuporanga	71

Figura 18	- Vista aérea da Estação de tratamento de Esgoto de Ilha Solteira-SP	73
Figura 19	- Resíduos de arborização da limpeza urbana do Município de Votuporanga – Ecotudo Norte	75
Figura 20	- Recebimento, trituração e armazenamento de resíduos de arborização	76
Figura 21	- Recebimento, trituração e armazenamento de outros resíduos de madeira	76
Figura 22	- Escola Técnica – ETEC “Frei Arnaldo Maria de Itaporanga”, na Unidade Rural no Município de Votuporanga	77
Figura 23	- Tanques de transferência de lemnas para compostagem	78
Figura 24	- Coleta de biomassa de lemnas no tanque de transferência	79
Figura 25	- Etapas da metodologia	81
Figura 26	- Amostra da massa de Lemnas incorporada à compostagem	82
Figura 27	- Preparo das canaletas para deposição da mistura	82
Figura 28	- Mistura de podas de árvores e lemnas disposta no solo preparado	83
Figura 29	- Elaboração da pilha na forma trapezoidal	83
Figura 30	- Aferição da Temperatura na Pilha de Lemnas e Podas de Árvores para compostagem	84
Figura 31	Composto após a estabilização	86
Figura 32	Variação da temperatura do ar e do composto em função dos dias	91
Figura 33	Variação da temperatura ambiente e das amostras nas fases termófila e mesófila	92
Figura 34	Variação da temperatura ambiente e das amostras na fase de maturação	93
Figura 35	Variação da umidade das amostras durante processo compostagem	94
Figura 36	Teores de carbono orgânico dos compostos -segundo processo de compostagem	98
Figura 37	Teores de nitrogênio total dos compostos -segundo processo de compostagem	99

Figura 38 Relação de C/N dos compostos -segundo processo de compostagem

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Estimativa da eficiência esperada nos diversos níveis de tratamento incorporados numa ETE	21
Tabela 2	- Eficiências de remoção de DBO, Nitrogênio e Fósforo, frequentes no tratamento de esgotos domésticos	21
Tabela 3	- Relação da remoção de DBO em função dos tipos de tratamentos e população atendida no Brasil	23
Tabela 4	- Relação de trabalhos realizados abordando espécies, tempo de detenção, concentração e eficiência do polimento de efluentes	43
Tabela 5	- Eficiência média na Remoção com uso de Lemnas: Estação experimental da UNESP, Campus Ilha Solteira	44
Tabela 6	- Composição da <i>Landoltia punctata</i> em matéria seca	46
Tabela 7	- Relação da espécie <i>Landoltia punctata</i> com produtividade em massa e temperatura	54
Tabela 8	- Caracterização das espécies de macrófitas aquáticas no início da compostagem	57
Tabela 9	- Presença de Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos (PERS) e a forma de abordar a compostagem por estados brasileiros, nas regiões Sul e Sudeste	64
Tabela 10	- Composição de alguns materiais para composto (matéria seca -110°C)	67
Tabela 11	- Resultados Analíticos das Amostras de Podas de Árvore com e sem esterco	70
Tabela 12	- Médias mensais e totais no período entre 1967 e 31 de julho de 2007 em Ilha Solteira - SP	72
Tabela 13	- Modelo de Ficha de Acompanhamento da Compostagem	85
Tabela 14	- Ficha de Acompanhamento da Compostagem	90
Tabela 15	- Resultados IAC - Parâmetros físico-químicos dos compostos estabilizados primeiro e segundo processo de compostagem	96
Tabela 16	- Resultados IAC- pH, Nitrogênio; Carbono orgânico, Relação	

C/N

97

Tabela 17 - Resultados IAC- Macronutrientes

100

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	JUSTIFICATIVA	18
3	OBJETIVOS	19
3.1	OBJETIVOS GERAIS	19
3.2	Objetivos Específicos	19
4	REVISÃO DE LITERATURA	20
4.1	SITUAÇÃO DO SANEAMENTO NO BRASIL: ATENDIMENTO E ADEQUAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO	20
4.2	FITORREMEDIAÇÃO COMO ALTERNATIVA DE TRATAMENTOS AVANÇADOS	28
4.2.1	Mecanismos de Fitorremediação	37
4.2.2	Mecanismo de Fitorremediação nas macrófitas flutuantes: Lemnas	40
4.2.3	Remoção de Nitrogênio, Fósforo e Patógenos por Lemnas	41
4.2.4	Eficiência no polimento do efluente com Lemnas	42
4.3	COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DAS LEMNAS	45
4.4	CRESCIMENTO DAS LEMNAS E PRODUÇÃO DE BIOMASSA	47
4.5	LEMNAS: caracterização da espécie <i>landoltia punctata</i>	47
4.5.1	Produção de biomassa da espécie <i>Landoltia Punctata</i> e caracterização da composição de nutrientes na Estação Experimental da UNESP, Campus Ilha Solteira	50
4.5.2	Variáveis que interferem no crescimento das Lemnas e Produção de biomassa	52
4.5.3	Possíveis aplicações para a Biomassa de Lemnas	55
4.5.4	Compostagem de Lemnas	57
4.6	COMPOSTAGEM NO BRASIL	58
4.6.1	Fatores que influenciam no processo de compostagem	65
4.6.2	Compostagem de Resíduos Urbanos: Podas de Árvores no Município de Votuporanga	68
5	MATERIAIS E MÉTODOS	71
5.1	ÁREA DO ESTUDO	71

5.2	FASE EXPERIMENTAL	78
5.2.1	Aquisição da biomassa de macrófitas da espécie <i>Landoltia Punctata</i>	78
5.2.2	Obtenção da massa de resíduos de podas de arborização do Município de Votuporanga	79
5.2.3	Compostagem dos resíduos de podas de arborização e biomassa de macrófitas	80
5.2.3.1	<i>Metodologia de análises microbiológica para determinação de Coliformes Totais e Termotolerantes</i>	88
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	90
6.1	ANÁLISE DO PROCESSO DA COMPOSTAGEM E DA COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO COMPOSTO ORGÂNICO PRODUZIDO mimicrobiologicaarvores	90
6.2	ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DO COMPOSTO ORGÂNICO PRODUZIDO MIMICROBIOLOGICAARVORES	101
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
7.1	CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA E QUESTÕES ABERTAS	103
	REFERÊNCIAS	105

1 INTRODUÇÃO

Nas bacias hidrográficas, a qualidade das águas superficiais está se deteriorando rapidamente devido ao uso de produtos químicos em solos, sob a forma de fertilizantes e agrotóxicos, e à exposição a outros resíduos industriais e aos esgotos sanitários. A demanda pela água compreende o abastecimento de água potável e também abrange as necessidades da indústria, agricultura e outras atividades, o que gera um grande volume de águas servidas, residuais e esgotos sanitários, que após tratamento são lançados na sua maioria em corpos hídricos.

No Brasil, 2.969 municípios são atendidos com tratamento de esgoto, a grande maioria da população do País está concentrada nos grandes centros urbanos, e demandam a implantação de soluções complementares, ou soluções conjuntas para atendimento satisfatório do esgotamento sanitário. Uma das causas dos problemas com a qualidade da água dos corpos receptores com relação ao aporte de nutrientes é proveniente do lançamento de efluente com carga orgânica remanescente (BURIN, 2011; COSTA, 2013; GARCIA 2016).

Dos reservatórios do País, 29% apresentam concentração de fósforo acima do desejado (até 0,025 mg/L) e 5% das captações apresentam concentração de nitrogênio acima do padrão de potabilidade (até 10 mg/L), (CONAMA, 2005; FRANÇA, 2016). Segundo Barreto *et al.* (2013), em meio aquático esses elementos e suas formas exercem papel de nutrientes importantes para o desenvolvimento dos organismos. Em grandes concentrações ou em concentrações incompatíveis com a capacidade de diluição dos corpos hídricos, provoca eutrofização, que é um crescimento excessivo de plantas aquáticas e algas, comprometendo a qualidade da água do corpo hídrico.

Sauer (2006), Ruiz *et al.*, (2012), Cunha *et al.* (2013), Cetesb (2016) e Costa (2013) destacam que o processo de eutrofização é comum nos corpos hídricos no Estado de São Paulo, nos rios como em reservatórios. Suas causas estão relacionadas com as concentrações de fósforo e nitrogênio presentes na água, destacando a necessidade de adoção de medidas para controle das fontes desses nutrientes como por exemplo a implantação de sistemas de tratamento terciário, com o uso de lagoas de polimento, uma vez que elevadas concentrações de fósforo e nitrogênio são detectadas em ambientes próximos a lançamentos de esgotos domésticos.

A biorremediação ou a fitorremediação, com a aplicação de plantas, em destaque as macrófitas, é uma das alternativas complementares de baixo custo e grande eficácia que envolvem a construção de zonas úmidas, lagoas ou tanques de polimento no final do tratamento, onde as plantas aquáticas encontrarão um habitat propício para seu desenvolvimento, aumentando substancialmente a eficiência do tratamento do efluente, na remoção dos compostos indesejáveis conforme apontam Almeida (2010), Leoneti (2011), Pena (2014) e Pinheiro (2015).

Como aponta Anjos (2017), o uso da espécie *Landoltia punctata*, oriunda no polimento do esgoto sanitário, apresenta eficiência na remoção de poluentes emergentes e de nutrientes, que promovem a eutrofização dos corpos receptores.

Este projeto teve por finalidade dar continuidade às pesquisas desenvolvidas na estação experimental, localizada no Laboratório de Saneamento do Departamento de Engenharia Civil da UNESP, Campus de Ilha Solteira. As pesquisas da estação direcionam - se ao polimento do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto da cidade de Ilha Solteira com a utilização de Lemnas, da espécie *Landoltia punctata*, para remoção de poluentes, nutrientes e produção de biomassa das plantas. A alta taxa de reprodução das lemnas e de produção de biomassa gera nova problemática ambiental na questão da destinação segura e de baixo custo.

A avaliação da composição da biomassa, com teores de nitrogênio significativos, demonstrou potencial como uso de matéria prima nitrogenada, podendo ser associada a outros materiais compostáveis, ricos em carbono como as podas de resíduos de limpeza de arborização urbana. Estes resíduos são compatíveis como fonte carbonácea, e foram utilizadas em conjunto na compostagem, resultando na produção de composto orgânico, através do método de "Windows", que consiste em leiras com revolvimento e aeração natural, foi desenvolvida na Escola Técnica – ETEC de Votuporanga-SP.

O composto produzido apresentou teores promissores de nitrogênio (1,07-2,34%) e matéria orgânica (22,9 - 31,85%), analisados para caracterização, pela metodologia de análises em solo e substratos do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), referência em pesquisa e análise de solo e fertilizantes orgânicos e minerais no Brasil.

Esta pesquisa foi desenvolvida sob a hipótese de que a destinação da biomassa para compostagem se apresenta como alternativa sustentável complementar aos sistemas de polimento com macrófitas.

2 JUSTIFICATIVA

A pesquisa apresenta grande relevância na avaliação do manejo e destino adequado e econômico de resíduos oriundos de tratamento de efluentes, que hoje representa grande problemática ambiental, atender a necessidade de tratamento avançados para melhoria dos efluentes e adequar a destinação dos resíduos gerados durante o processo.

As análises deste estudo apontam a viabilidade técnica de processos de compostagem de gestão acessível para órgãos públicos como prefeituras e cooperativas, no emprego de tratamentos de polimento com lemnas, com baixo custo e implantação, operação e com destinação da biomassa de forma correta, uma vez que o composto produzido apresenta teores de nitrogênio de 1,12% com uso de podas de arborização urbana e 2,34% para compostos com lemnas puras, valores compatíveis com a legislação vigente para fertilizantes e adubos orgânicos, Instrução Normativa SDA/MAPA 25/2009, que exigem teores mínimos Nitrogênio de 0,5%.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GERAIS

O objetivo deste trabalho consiste em avaliar o destino final da biomassa produzida em um sistema de tratamento de esgoto para produção de composto orgânico por compostagem, pelo método de aeração natural.

3.2 Objetivos Específicos

- a) Verificar a viabilidade técnica da destinação da biomassa de *Landoltia punctata* em compostagem por método de aeração natural com resíduos de podas de árvores e outros materiais como esterco bovino, serragem.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 SITUAÇÃO DO SANEAMENTO NO BRASIL: ATENDIMENTO E ADEQUAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO

No Brasil e no estado de São Paulo, o tratamento de esgoto sanitário de forma geral inclui um tratamento preliminar ou prévio para remoção de sólidos grosseiros e areia. Na sequência, o esgoto passa por um tratamento primário visando à remoção dos sólidos que sedimentam pela própria densidade e finalmente por um tratamento secundário ou tratamento biológico (anaeróbio, aeróbio e/ou facultativo) para remoção da matéria orgânica biodegradável contida nos sólidos dissolvidos ou coloidais, podendo remover coliformes em níveis satisfatórios e nutrientes na proporção de 10 a 50%. Se necessário, pode-se incluir tratamento terciário ou avançado, sempre considerando a relação custo/benefício (NUVOLARI; COSTA, 2007).

O pós-tratamento biológico, tratamento terciário, ou também chamado de polimento, pode ser realizado por diversos processos químicos como precipitação, coagulação, adsorção, ultrafiltração, ozonização, osmose reversa, nanofiltração, fotocatalise, que são tecnologias de alto custo de implantação e manutenção. (SAUER, 2006).

Cavalcanti *et al.* (2001) ressaltaram o uso de tratamentos biológicos com lagoas de polimento devido aos custos elevados em relação aos processos químicos. Lagoa de polimento, segundo esses autores, se refere ao pós-tratamento de efluentes, distinguindo-se de lagoas de estabilização, que compreende ao tratamento de esgoto bruto.

Os processos terciários ou avançados (polimentos) removem nutrientes e agentes potencialmente poluidores como fármacos, metais, compostos orgânicos sintéticos, pesticidas, entre outros, conforme mostra a Tabela 1, juntamente com a estimativa de eficiência dos processos.

Tabela 1 - Estimativa da eficiência esperada nos diversos níveis de tratamento incorporados numa ETE

Tipo de tratamento	Matéria orgânica (% remoção de DBO)	Sólidos em suspensão (% remoção SS)	Nutrientes (% remoção)	Bactérias (% remoção)
Preliminar	5 – 10	5 –20	Não remove	10 – 20
Primário	25 –50	40 –70	Não remove	25 –75
Secundário	80 –95	65 –95	Pode remover	70 – 99
Terciário	40 - 99	80 – 99	Até 99	Até 99,999

Fonte: Cetesb (1988).

A situação não é promissora quando se analisa profundamente as condições de saneamento no Brasil, em atendimento e eficiência em remoção da carga poluidora. Em média, os sistemas de lagoas apresentam eficiência de 60 a 90% da carga orgânica e índices relativamente baixos para remoção de fósforo e nitrogênio (Tabela 2). Considera-se que uma grande quantidade de matéria orgânica e nutrientes chega aos corpos hídricos.

Tabela 2 - Eficiências de remoção de DBO, Nitrogênio e Fósforo, frequentes no tratamento de esgotos domésticos (continua)

Sistema de tratamento	Eficiência de Remoção (%)		
	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	Nitrogênio (N)	Fósforo (P)
Tratamento preliminar	0-5	~0	~0
Tratamento primário	35-40	10-25	10-20
Lagoa anaeróbia/facultativa	70-90	30-50	20-60
Lagoa aerada/facultativa			
Lagoa aerada mista/lagoa decantação			
Lodo ativado convencional	85-93	30-40	30-45
Lodos ativados (aeração prolongada)	93-98	15-30	12-20
Lodos ativados (fluxo intermitente)	85-95	30-40	30-45

Tabela 2 - Eficiências de remoção de DBO, Nitrogênio e Fósforo, frequentes no tratamento de esgotos domésticos (conclusão)

Fossa séptica	70-90	10-25	10-20
Infiltração lenta	94-99	65-95	75-99
Infiltração rápida	86-98	10-80	30-99
Infiltração superficial	90-98	10-40	85-95
Escoamento superficial	85-95	10-80	20-50

Fonte: Von Sperling (1996).

De acordo com Atlas Esgotos da Agência Nacional de Águas (ANA,2017), os serviços de esgotamento sanitário no Brasil podem ser caracterizados em:

- a) Sistema coletivo com rede coletora e estação de tratamento de esgotos (ETEs), com atendimento de 43% da população;
- b) Fossa séptica, 12% da população possui esta solução individual;
- c) Coleta sem tratamento, 18% da população se enquadra na situação em que os esgotos são coletados, mas não são tratados;
- d) Sem atendimento, 27% da população, ainda permanece desprovida de atendimento, ou seja, não há coleta nem tratamento de esgotos.

Dessa forma, quase a metade da população não está atendida pela coleta e tratamento de efluentes domésticos. Pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (2014) que considera como atendimento adequado de esgotamento sanitário a solução individual com fossa séptica ou os esgotos coletados e tratados de forma coletiva, 55% da população brasileira possui atendimento adequado. Nesse contexto não se avalia a eficiência dos sistemas de tratamento disponíveis.

Segundo Conama (2005) a remoção da carga poluidora na forma de redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) deve ser de no mínimo 60% para lançamento de efluentes nos corpos hídricos.

Ao se analisar os principais tratamentos de esgoto no Brasil com relação à remoção de carga orgânica, a população atendida e número de municípios, observa-se que o índice de remoção ainda merece destaque, principalmente em relação à remoção superior a 80%, com remoção de nutrientes (Tabela 3).

Tabela 3 - Relação da remoção de DBO em função dos tipos de tratamentos e população atendida no Brasil

Remoção de DBO	Principais Tipos de Tratamento (Maiores números de unidades)	Nº em Unida de	Eficiência Média (%)	População atendida (Mil hab.)	% População atendida
Até 60%	Fossa filtro/Fossa Séptica + Filtro Anaeróbio/ Tanque Imnhoff + Filtro biológico	215	49	340,1	76,86%
60% - 80%	Reator anaeróbio	328	69	3.876	14,77%
	Reator anaeróbio +Filtro biológico	177	75	1.300	
	Lagoa Facultativa	203	76	1.421	
	Lagoa Anaeróbia + Facultativa	364	77	5.533,8	
>80%	Reator Anaeróbio + Filtro Anaeróbio +Decantador	121	80	4.436,9	8,37%
	Lagoa Anaeróbia + Facultativa + Maturação	134	81	1930,4	
	Lagoa Aerada + Decantador/Facultativa/Maturação	119	81	1212,5	
	Lodos Ativados (Convencional)	110	84	16.538,8	
>80% N e P	Lodo batelada. + Filtro biológico. + Filtro Aeróbio. + Decantador (remove N)	80	88	1.431,8	
	Reator Anaeróbio. + Decantação/Flotação (remove P)	33	88	2.401,4	
	Lodo ativado+ Remoção Físico-química (remove N e P)	5	91	95,3	
	Lodo ativado+ Remoção Biológica (remove N)	3	93	153,5	
	Lodo ativado+ Remoção Biológica (remove N e P)	2	95	46,6	

Fonte: Adaptado de ANA (2017).

Destaca-se também, na faixa de 60 a 80%, e acima de 80% de remoção, o uso de lagoas anaeróbias, facultativas e aeradas. Por apresentarem facilidade operacional e baixo custo de manutenção, esses sistemas são amplamente adotados. O número de lagoas, ao se analisar todos os sistemas compostos por lagoas (anaeróbia, facultativa, aerada, maturação), chega a 820 unidades, que corresponde a 43,3% das unidades de tratamento no Brasil, destacando 19,23 % em relação somente ao sistema de lagoas aeróbia /facultativa muito adotado no país. Sistemas complementares de fitorremediação como os sistemas com macrófitas poderiam ser implantados nestes processos de tratamento, uma vez que o sistema de lagoas é muito aplicado no país, refletindo assim na diminuição do aporte de nutrientes aos corpos receptores.

Em análise a outras tecnologias de tratamento, referente à remoção de nutrientes como fósforo e nitrogênio, correspondente a 6,97% apenas, ressaltando a

necessidade de tecnologias para diminuir o impacto do aporte dos nutrientes nos corpos hídricos receptores.

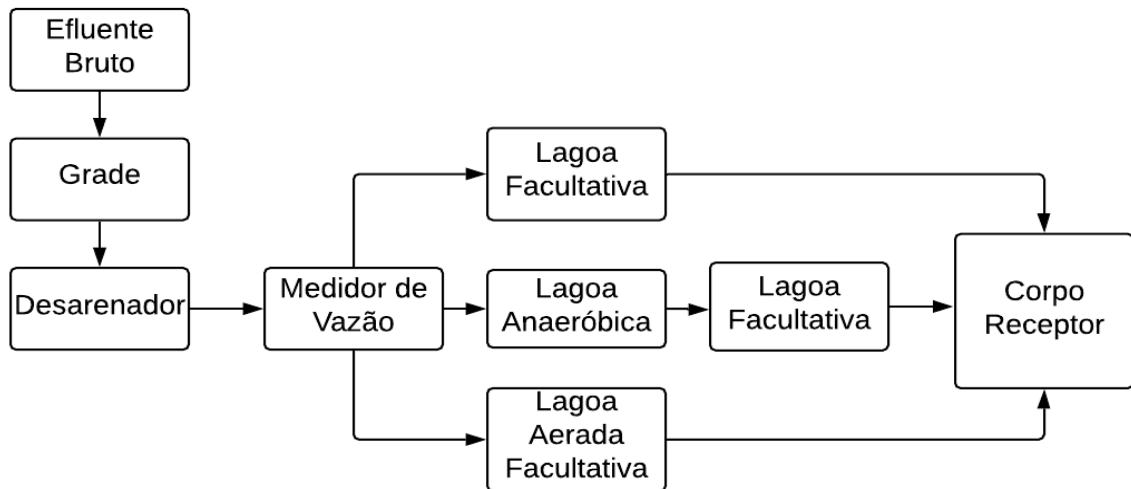
Observa-se um valor significativo também em relação a eficiência de remoção na faixa de 60% com o uso de fossas sépticas (seguidas ou não de filtros biológicos), com 11,36% em relação a total de unidades, este sistema é bastante difundido em áreas rurais ou em locais de pequenas comunidades ou de difícil instalações de ETEs na forma convencional de lagoas.

No Brasil de forma comum, as Estações de Tratamentos de Esgotos (ETEs) seguem um padrão estrutural composto normalmente:

A primeira etapa com sistema preliminar utilizando grade e desarenador para remoção dos sólidos sedimentáveis e grosseiros.

As etapas seguintes podem variar de acordo com a área disponível, carga e vazão a ser atendida. Os sistemas mais adotados são constituídos de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa (sistema australiano) em um número de 364 ETEs, os sistemas australianos são de baixo custo operacional e não exigem capacidade técnica de muitos profissionais para sua operação (Figura 1). Por ocupar uma área menor em relação aos outros sistemas de lagoas, são muito utilizados (VON SPERLING, 1996).

Figura 1 - Sistemas de Tratamento de Esgotos por Lagoas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os outros sistemas de tratamento em maiores números são: reator anaeróbio (328 unidades), tanque séptico com filtro anaeróbio (215 unidades), lagoas facultativas (267 unidades) e reator anaeróbio seguido de filtro biológico (177 unidades).

Os reatores anaeróbios estão presentes nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e Sul do País. Na região Sudeste a representatividade é maior com lagoas em sistema australiano. Esse sistema com reatores requer operação e manutenção mais sofisticada, o que significa também maior consumo de energia, o que eleva o custo em relação às lagoas.

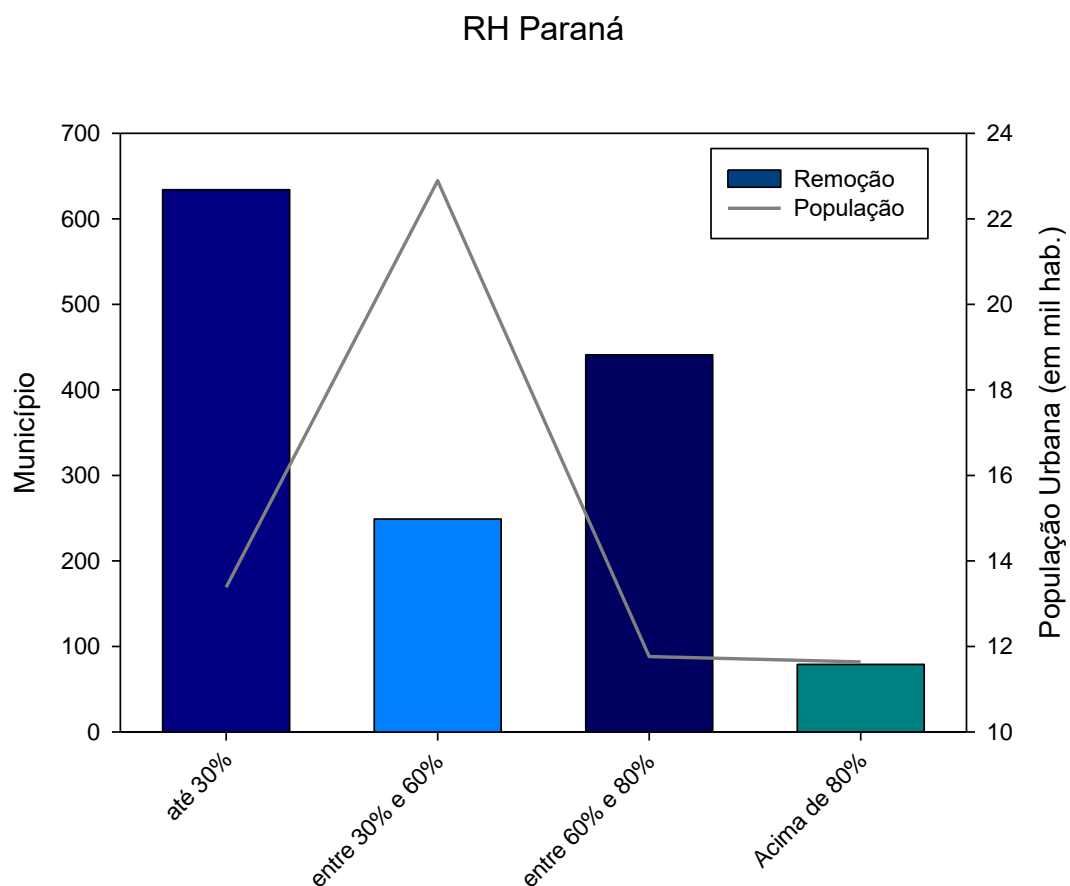
De acordo com ANA (2017), 2.969 municípios são atendidos de maneira satisfatória pelos sistemas convencionais. Porém a grande maioria da população do País está concentrada nos grandes centros urbanos, e demandam a implantação de soluções complementares, ou soluções conjuntas para atendimento satisfatório do esgotamento sanitário.

No Brasil, a problemática do saneamento permeia primeiramente o atendimento dos municípios por ETEs e depois a adequação dos sistemas para remoção com eficiência adequada, respeitando a recomendação dos órgãos gestores e fiscalizadores em recursos hídricos e saneamento, para remoção de nitrogênio e fósforo.

A região Sudeste, junto com Paraná, Santa Catarina, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, compõe a Região Hidrográfica da Bacia do Paraná, e contribui para a região hidrográfica de maior adensamento populacional (acima de 22 milhões) e, portanto, maior geração de efluentes.

Em relação ao País, mesmo com os maiores índices e números de ETEs, a remoção de carga orgânica (superior a 60%), contribui ainda para uma carga orgânica remanescente maior, com grande potencial de impacto direto nos corpos receptores. Grande parte da população desta região é atendida com índice de 30 a 60% de remoção, conforme Figura 2 (ATLAS ESGOTOS, ANA, 2017).

Figura 2 - Relação do número de municípios, população atendida e eficiência (remoção de DBO) que compõe a Região Hidrográfica da Bacia do Paraná, Brasil



Fonte: Adaptado de ANA (2017).

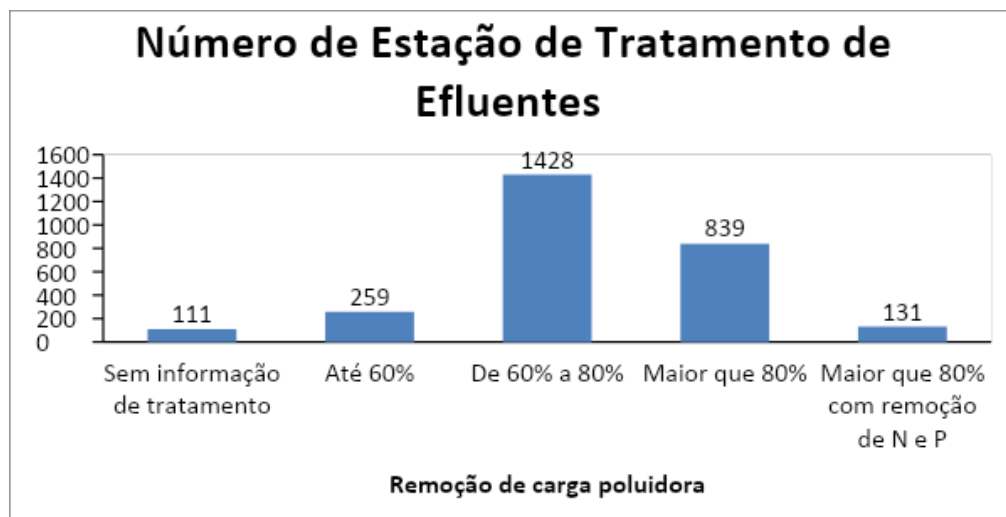
O elevado número de municípios correspondente à faixa de 30 a 60% de remoção de DBO representa que os sistemas de tratamento nesta região não atendem todos os municípios de forma satisfatória, não apresentando eficiência

adequada em relação à remoção de carga orgânica e de nutrientes, o que pode gerar impactos nos corpos hídricos receptores e problemas maiores como a eutrofização, visto que muitos sistemas de captação de água para consumo humano recebem contribuições destes corpos hídricos.

Sauer (2006) e Ruiz *et al.*, (2012) destacam que o processo de eutrofização é comum nos corpos hídricos no Estado de São Paulo tanto em rios como em reservatórios. Suas causas estão relacionadas com as concentrações de fósforo e nitrogênio presentes na água, destacando a necessidade de adoção de medidas para controle das fontes desses nutrientes, como por exemplo a implantação de sistemas de tratamento terciário (polimento), uma vez que as elevadas concentrações de fósforo e nitrogênio são detectadas em ambientes próximos a lançamentos de esgotos domésticos.

Os estudos sobre os impactos de descarga de fósforo e nitratos nos reservatórios indicam que 1519 municípios necessitam de investimentos quanto a remoção de nutrientes. Das 2768 Estações de Tratamento de Efluentes pesquisadas no Brasil, 970 unidades operam com remoção superior a 80% e apenas 131 foram projetadas para remoção de nutrientes conforme a Figura 3 (ANA, 2017).

Figura 3 - Relação do número de ETEs e a eficiência (remoção de DBO)



Fonte: Adaptado de ANA (2017).

Outro fator agravante ao que se refere à eficiência dos sistemas de tratamentos de efluentes e seus impactos sobre o meio ambiente e a saúde da população nos usos múltiplos da água, é a capacidade de diluição dos corpos

receptores em relação à carga orgânica remanescente oriunda de tratamento sem remoção mais eficiente.

Esses corpos hídricos muitas vezes somam-se a outros corpos hídricos, contribuindo o aporte de carga poluidora, seja pelos inúmeros compostos não removidos nos tratamentos, microrganismos ou nutrientes que causam eutrofização, ou outros problemas para os usos do recurso hídrico para abastecimento, lazer, agricultura, ou na geração de energia.

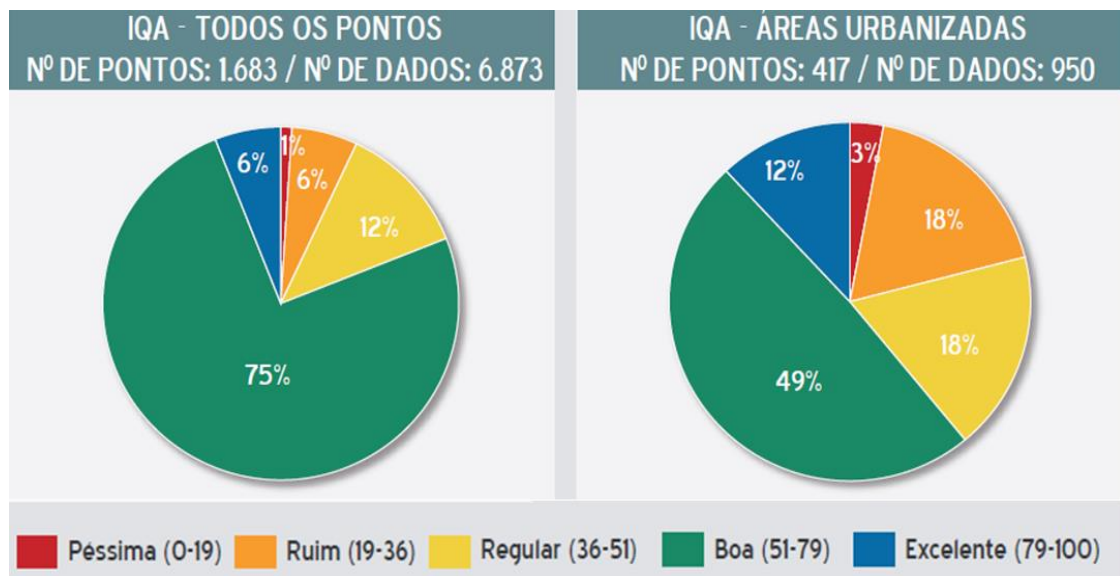
Nos reservatórios, gradativamente, é possível observar direta ou indiretamente a degradação da qualidade dos corpos hídricos pela ineficiência dos sistemas de tratamento sanitário pelo País (GARCIA 2016; BURIN, 2011).

4.1.1 Impacto na qualidade dos corpos receptores

Segundo –ANA (2015), para avaliação do Índice de Qualidade da Água- IQA, dos pontos de monitoramento analisados, os localizados em corpos d'água próximos às áreas urbanas, 21% apresentaram qualidade ruim/péssima. Quando a análise abrange todo o universo de pontos analisados, apenas 7% apresentam índices de qualidade ruim/péssimo.

Isso que indica com clareza que uma das causas dos problemas com a qualidade da água dos corpos receptores, com relação ao aporte de nutrientes, é proveniente do lançamento de efluente com carga orgânica remanescente ou tratamento inadequado (Figura 4).

Figura 4 - Comparação dos Pontos de Monitoramento



Fonte: ANA (2015).

Vários parâmetros compõem o IQA, como temperatura, oxigênio dissolvido (O.D), demanda bioquímica de oxigênio (D.B.O), potencial hidrogeniônico (pH), turbidez, resíduo total, nitrogênio total, fosforo total e coliformes termotolerantes. (CETESB, 2016).

A avaliação destes parâmetros serve como base para verificar a qualidade da água, em especial a contaminação ou o impacto da contaminação nos corpos hídricos pelo lançamento de esgotos sanitários, visando o uso da água destes corpos hídricos para abastecimento público e seus respectivos tratamentos para o uso.

O IQA é muito importante para avaliação integral, porém não descarta a análise individual, ou seja, de forma pontual, nas ocorrências de geração de contaminações nos corpos hídricos (CETESB, 2016). A diferença na análise pontual em áreas urbanas em relação às análises de todos os pontos monitorados reflete essa necessidade de avaliação pontual nas áreas de aporte de carga orgânica.

O nitrogênio total ocorre nas formas de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato nas águas. Todas as suas formas, dependendo das concentrações, representam toxicidade para o consumo da água em abastecimento público. O nitrogênio pode ocorrer de diversas fontes, mas as principais são da descarga de esgotos sanitários

e efluentes industriais e pelo escoamento de fertilizantes ou dejetos de animais pela drenagem de águas da chuva (CUNHA, *et al.*, 2013; CETESB, 2016).

O fósforo é oriundo principalmente de esgotos domésticos, na composição de surfactantes, detergentes e outros sabões. Efluentes industriais, e também as águas de drenagem de chuvas em processo de lixiviação dos solos, contribuem com concentrações de fósforo, encontrado na forma de ortofosfato e polifosfatos (LACERDA, 2004; DIAS 2016; CETESB, 2016).

Os efluentes ricos em nutrientes, principalmente fontes de nitrogênio e fósforo, induzem o processo de eutrofização nos corpos receptores, ou seja, lagos e rios que recebem cargas elevadas destes compostos apresentam um aumento na produtividade primária e um consequente desequilíbrio nos ciclos biogeoquímicos e das comunidades bióticas (ESTEVES, 1986).

Segundo Barreto *et al.* (2013), em meio aquático, esses elementos e suas formas exercem papel de nutrientes importantes para o desenvolvimento dos organismos. Mas a descarga em grandes concentrações ou em concentrações incompatíveis com a capacidade de diluição dos corpos hídricos provoca eutrofização, que é um crescimento excessivo de plantas aquáticas e algas, comprometendo a qualidade da água do corpo hídrico.

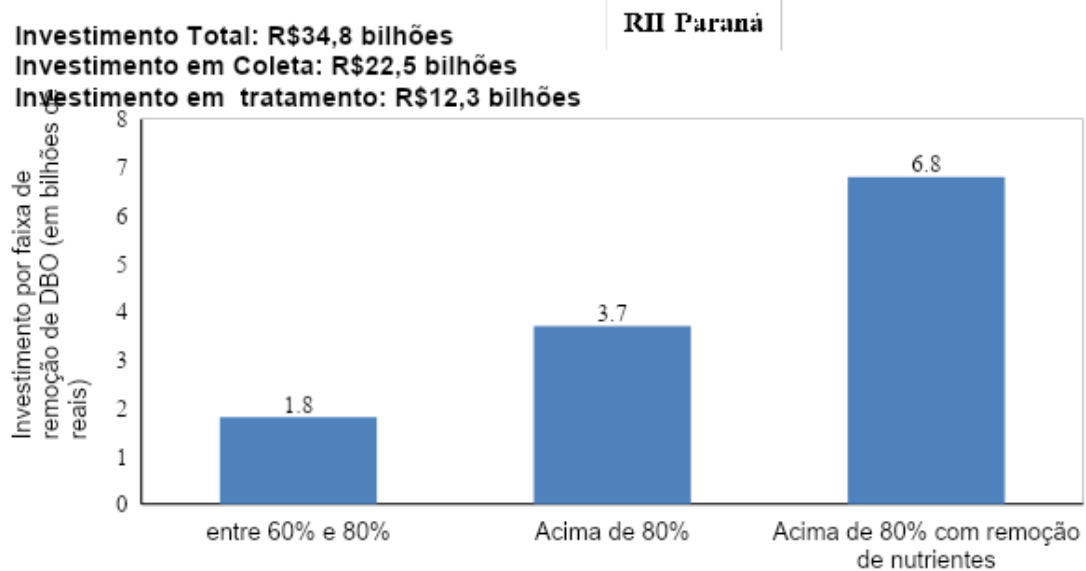
Os autores destacam que a eutrofização ocupa um dos lugares de maior destaque nos problemas de qualidade de águas superficiais da atualidade. Um dos impactos da eutrofização nos corpos hídricos é a toxicidade provocada pelas cianobactérias em decorrência do crescimento excessivo de algas, afetando diretamente a qualidade da água e seus usos múltiplos como o abastecimento público (BARRETO *et al.*, 2013).

Dos reservatórios do País, 29% apresentam concentração de Fósforo acima do desejado (até 0,025 mg/L) e 5% das captações apresentam concentração de Nitrogênio acima do padrão de potabilidade (até 10 mg/L) (CONAMA 357/2005; FRANÇA, 2016;).

A região hidrográfica de maior adensamento populacional, a Bacia do Paraná, destaca-se como a de maior número de municípios e maior contingente populacional com vazão de diluição ruim/péssima, apresentando a maior necessidade de tratamento avançado de esgotos, com eficiência superior a 80%, ou de soluções complementares para melhorar a condição de seus recursos hídricos. Do total de investimentos para atendimento, a necessidade de tratamentos avançados na

Região hidrográfica da Bacia do Paraná representa os maiores valores em milhões (Figura 5).

Figura 5 - Investimento na Bacia Paraná: Contempla cidades mais populosas (D.F, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina)



Fonte: Adaptado de ANA (2017).

Da Bacia do Paraná, a região Sudeste se destaca por representar 29% do valor total de investimentos estimado para o País. Os recursos são previstos principalmente para grandes centros urbanos, como as capitais. Cerca de 610 cidades precisam tratar seus esgotos com eficiência superior a 80% de remoção de carga (ANA, 2017).

Leoneti (2011) destaca a necessidade de investimentos sustentáveis em processos de tratamento de esgotos, pois o investimento no Brasil em saneamento é pontual, quase de caráter emergencial, e não sistemático, visando sustentabilidade operacional e econômica. Grandes investimentos começaram nas décadas de 1970 e 1980, mas ainda hoje há um déficit grande em relação ao atendimento e ao tratamento adequado.

Os tratamentos avançados devem seguir o mesmo conceito tecnológico. Como no Brasil a utilização de lagoas é amplamente adotada, os tratamentos de polimento devem considerar o mesmo padrão de facilidade de operação e baixo custo de manutenção.

Segundo Costa (2013), a adequação dos serviços sanitários, além do atendimento aos padrões de lançamento de efluentes pela legislação vigente, deve abranger novas soluções tecnológicas que permitam ou complementem o atendimento da legislação ambiental com novas alternativas para soluções de problemas, como escassez de recursos hídricos e geração de ganhos, na produção de novos produtos utilizáveis na agricultura ou produção agropecuária.

A descarga de nutrientes configura um problema com alto grau de complexidade para se resolver, mas aponta também que os nutrientes também podem ser aproveitados com uso de outras tecnologias para assim gerar novos produtos ou serem aproveitados em outras aplicações como o reuso em irrigação e piscicultura, para o cultivo de plantas e de animais aquáticos (COSTA, 2013).

Existem diversas alternativas para tratamento avançado, necessitando de maior ou menor área, consumo de energia, capacidade técnica de operação, entre outros fatores que influenciam na escolha do sistema adotado. As possibilidades de soluções conjuntas ou complementares merecem estudos aprofundados, uma vez que podem minimizar os custos e atender a necessidade da eficiência na remoção da carga poluidora.

Von Sperling (1996), Guaratini, Zanoni e Boldrin (2000), Sauer (2006), Nuvolari e Costa (2007) destacam as vantagens e desvantagens dos principais processos de tratamentos avançados para remoção superior de 80% da carga poluidora:

- a) Sistemas de pós-tratamento na forma anaeróbia, na forma mais conceitual, que o sistema de lodos ativados, porém apresentam elevados custos de implantação.
- b) Sistemas aeróbios, dentre eles os mais utilizados são sistemas aeróbios com leito fixo, filtros biológicos, biodiscos, biofiltros aerados, lodos ativados e variantes (lodos ativados convencionais, reatores em bateladas sequenciais, lagoas aeradas com mistura completa, valos de oxidação), são mais compactos e produzem efluente de boa qualidade, porém são processos de maior complexidade para construção e operação, consumindo bastante energia para degradação da carga orgânica.
- c) Tratamentos químicos com coagulação e precipitação de colóides podem ser associados aos tratamentos biológicos, ou utilizados para polimento de efluente que necessitam de alta qualidade ou reúso na indústria, por

exemplo. Apresentam custo operacional alto e necessitam de capacidade técnica.

- d) Alguns sistemas anaeróbios como tanques sépticos, tanques Imhoff, filtros anaeróbios, reatores UASB, reatores anaeróbios de leito expandido são implantados como pré-tratamento para lagoas, filtros biológicos, lodos ativados para diminuir a carga orgânica e desta forma suprindo a necessidade de aeração do sistema, esse tipo de pré-tratamento acarreta economia no uso de energia elétrica.
- e) Os sistemas de fitorremediação, terras úmidas construídas, escoamento superficial, disposição no solo, representam uma alternativa ainda em expansão e necessidade de pesquisa, devido à destinação dos subprodutos.

De acordo com Pena (2014), a maior desvantagem dos processos que necessitam de mecanização e consumo de energia está no alto custo de implantação e operação. Sistemas mecanizados representam um custo cerca de cinco vezes superior ao custo de sistemas mais simples, como lagoas de polimento com tecnologias sustentáveis com o uso de plantas e microrganismos.

Esta tecnologia limpa consiste no uso de fitorremediação (uso de plantas para a despoluição), permitindo a aplicação de diversos modelos como o uso de lagoas, sistemas alagados, jardins filtrantes, sistemas estes popularmente chamados de “Wetlands”, se destacam como alternativas para lagoas de polimento convencionais, vencendo a resistência de que os resultados positivos com essa tecnologia dependem de sistemas bem estruturados e operados como quaisquer outros sistemas necessitarão. A diferença se dá no fato de que estas tecnologias apresentam baixa complexidade e custo operacional em relação aos sistemas mecanizados (PENA, 2014).

Segundo Pinheiro (2015), em processos de biorremediação, as plantas em processo de fotossíntese removem os nutrientes das águas residuárias para seu crescimento.

4.2 FITORREMEDIAÇÃO COMO ALTERNATIVA DE TRATAMENTOS AVANÇADOS

De acordo com Pilon-Smiths (2005), desde a década de 1990, nos países desenvolvidos da Europa e América do Norte, o uso de macrófitas vem sendo testado, na Califórnia, nos Estados Unidos inicialmente para remoção de nutrientes de efluentes de leiteria estendendo o uso para tratamento de esgoto sanitário (SOOKNAH; WILKIE, 2004).

A pesquisa e aplicação da técnica de fitorremediação expandiu-se em outras localidades, no Brasil, na região no Sul, pioneira nas pesquisas de macrófitas, em Santa Catarina, para tratamento de efluentes de suinocultura, uso em aquicultura, de acordo com Costa *et al.* (2000), Vieira (2013) e Palma-Silva *et al.*(2012). A Estação de Tratamento de Efluente (ETE) em Juturnaíba, Rio de Janeiro, é considerada a maior ETE ecológica da América Latina, tratando 200L/s de esgoto na forma de Wetlands com uso de macrófitas enraizadas e flutuantes das espécies papiros e salvinia. O efluente passa por sistema de tratamento preliminar e secundário antes do polimento com as plantas, como aponta Vitorino (2019).

A técnica de fitorremediação usa os mecanismos naturais das plantas e dos microrganismos associados nos processos de degradação, extração, contenção ou imobilização e acumulação de poluentes presentes no solo ou águas subterrâneas ou superficiais.

Almeida (2010) destaca que a utilização de plantas aquáticas no tratamento de esgotos constitui-se em alternativa eficiente e de baixo custo aos sistemas convencionais.

As vantagens deste processo são diversas, além da alta eficiência e baixo custo, melhora da qualidade ambiental, o uso de plantas aquáticas promove a valorização de ambientes em projetos paisagísticos (ALKORTA; GARBISU, 2001).

O uso de macrófitas para tratamentos de efluentes e outros processos depurativos iniciou-se na década de 50, na Alemanha. Reino Unido, EUA, Dinamarca, Austrália, Canadá, Coréia e Índia são exemplos de pesquisas e aplicações bem-sucedidas. Grandes empresas, e indústrias multinacionais de fertilizantes e insumos, utilizam esses sistemas para remoção de poluentes, principalmente metais pesados (PENA, 2014).

No Brasil, grandes fábricas automobilísticas e de cosméticos também se destacam como exemplos de produção e cuidado com o meio ambiente, ao aplicar a técnica de jardins filtrantes em suas unidades, de acordo com Daniel Boa Nova, Vivagreen (2016).

A cidade de Paris enfrentava sérios problemas ambientais em relação às águas residuárias. Ao adotar o uso de plantas aquáticas como solução complementar de tratamento para melhorar a qualidade da água do rio Sena, não só contribuiu ambientalmente, mas também a nível social, pois o projeto devolveu vida e valorização de uma área degradada na cidade. Segundo Thierry Jacquet, engenheiro, da Phytorestore, a empresa responsável pelo processo que combinou a capacidade de absorção de poluentes de algumas plantas com a capacidade de oxigenação de outras. O objetivo do projeto foi oferecer uma área de lazer para a população que mora nos arredores da área do tratamento, tendo como inspiração as obras de Claude Monet, a matéria foi destaque no Programa Cidades e Soluções (2011) como modelo de tecnologia sustentável para grandes centros urbanos.

Estes e muitos outros exemplos de processos sustentáveis podem ser citados, demonstrando a aplicação desta técnica mesmo em centros urbanos com disponibilidade de área mais restrita. Os estudos apontam para novas tecnologias que visem não apenas a despoluição, mas também outros benefícios não só para o meio ambiente, mas para a comunidade ao entorno das áreas de tratamento.

A fitorremediação apresenta inúmeras vantagens, em eficiência, custos, facilidade de operação, favorecendo setores econômico e agroindustrial, mas também com ganho para o meio ambiente.

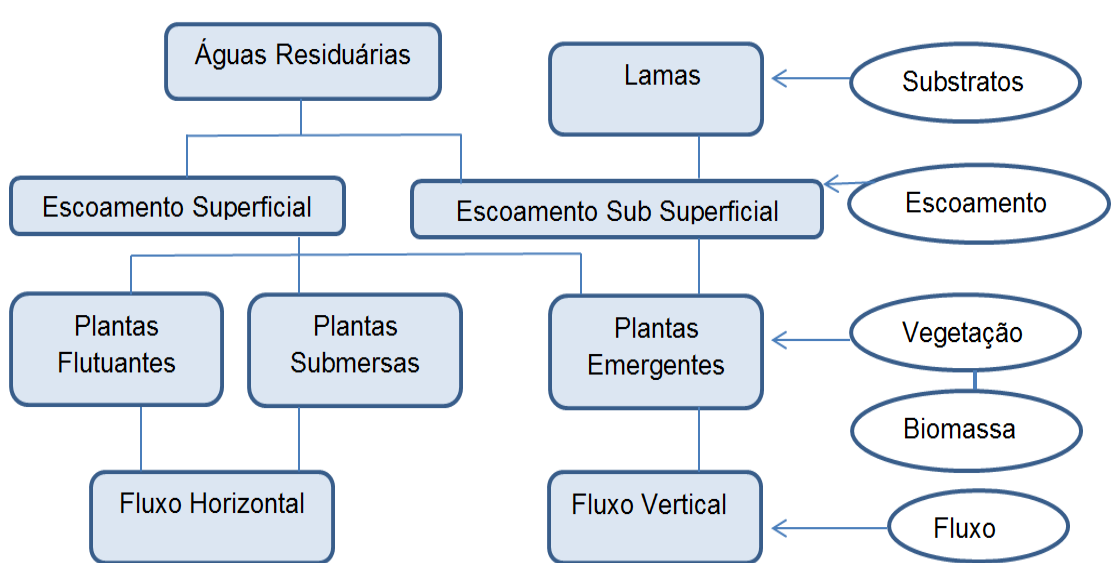
Pena (2014) destaca esta tecnologia aplicada em estação de tratamento de águas residuárias (FITO-ETAR), como tecnologia em meio controlado ou semi controlado capaz de degradar os compostos poluentes, de diversos meios, como áreas úmidas, jardins filtrantes, lagoas construídas ou naturais. Essa tecnologia pode favorecer de forma estética a comunidade e meio ambiente, preservando os ecossistemas como patrimônio natural, além de que sua implantação pode ser feita de forma paisagística.

Dentre esses sistemas, os mais aplicados são sistemas com macrófitas emergentes, submersas e flutuantes. Os sistemas permitem a escolha em relação ao fluxo (passagem, recirculação, fluxo lento, infiltração), de acordo com a composição das águas residuárias a serem tratadas, meios de filtragem (solo, areia,

brita ou lagoas) e as fases de implantação (tratamento secundário, polimento) (PENA, 2014).

Na Figura 6 está a representação em diagrama dos sistemas de fitorremediação aplicados às estações de tratamento de águas residuárias.

Figura 6 - Diagrama dos sistemas de Fitorremediação aplicada às estações de tratamento de águas residuárias



Fonte: Adaptado de Wallace *et al.* (2006).

Pena (2014) aponta inúmeros benefícios em se adotar macrófitas flutuantes livres nos sistemas de FITO-ETAR em relação às macrófitas emergentes ou submersas. Um dos grandes problemas operacionais na remoção da biomassa dessas macrófitas é a interferência na hidrodinâmica do sistema, ou seja, provocar movimento e deslocamento do meio ou substratos em que as plantas estão fixadas. Nas macrófitas flutuantes a remoção da biomassa é de grande facilidade.

O uso de lagoas com macrófitas flutuantes têm se tornado cada vez mais uma alternativa viável tanto no polimento de esgotos como na recuperação de corpos d'água poluídos para remoção de nutrientes e micropoluentes, devido sua eficiência e baixo custo. Experiências com o uso de lemnas em Bangladesh, na Índia, mostram que o custo com sistemas de lemnas é aproximadamente dez vezes menor do que o valor gasto com sistemas convencionais (com aeração), mas as lemnas ocupam uma área cerca de três vezes maior (AQUASAN, 1995).

A utilização de lagoas de polimento com lemnas para remoção de poluentes emergentes dentre eles, fármacos, produtos de cuidados pessoais, entre outros, apresentou resultados positivos de que a técnica possuiu uma boa capacidade de remoção dos compostos quando comparado aos resultados obtidos aos tratamentos terciários de alto custo, tais como ozonização e reator de biofilme em membranas. (MATAMOROS *et al.*, 2007).

Garcia (2015) destaca a utilização de lagoas com lemnas como uma alternativa com grande potencial, de forma promissora, devido à eficiência na remoção de nutrientes e pela produção de biomassa com muitas alternativas de uso. O sistema de lagoas com lemnas apresenta baixo custo de implantação e manutenção.

O uso de lagoas de polimento com lemnas apresenta baixos custos, alta eficiência na remoção de nutrientes e patógenos, e a geração de um subproduto (biomassa de lemnas) com valor agregado, demonstrando grande potencial como tecnologia sustentável (PENA, 2014).

Países em desenvolvimento como a Índia, em Cuttack, Orissa, com uma população de 700 mil habitantes, onde são produzidos mais de 15 milhões de m³ de esgotos por dia, desde 1986, com auxílio da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) opera-se uma Estação de Tratamento de Esgotos com Aquicultura de lemnas e peixes. O valor da estação foi em torno de 38 mil dólares, quatro vezes inferior ao que custaria uma estação de tratamento convencional. Uma estação de tratamento convencional custaria quase o quádruplo (EMBRAPA CAMPO GRANDE, 2002).

4.2.1 Mecanismos de Fitorremediação

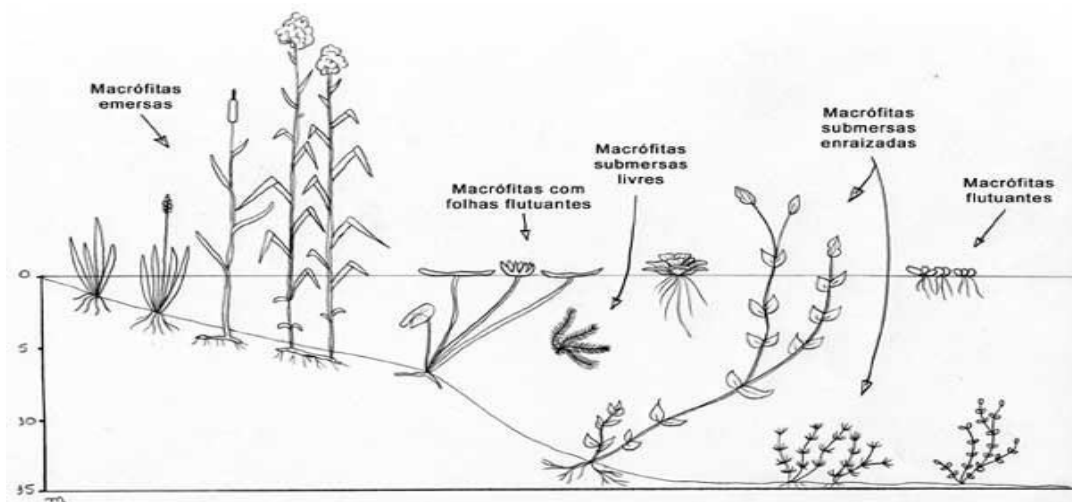
Consiste na técnica de tratamento utilizada em casos de contaminação ambiental de água, sedimentos e solos. Utilizam-se plantas e seus microrganismos associados para retirar poluentes orgânicos ou inorgânicos do ambiente que, por processos biológicos, removem, acumulam ou decompõem substâncias tóxicas ou indesejáveis presentes em ambientes poluídos (ANJOS, 2017).

A alta produtividade e capacidade de remoção de nutrientes pelas plantas aquáticas criaram um interesse substancial em sua utilização para tratamento de águas residuais e recuperação de recursos hídricos. Além dos nutrientes, as

macrófitas aquáticas também são bastante eficientes na absorção de micropoluentes.

De acordo com Esteves (2011), as macrófitas aquáticas podem ser utilizadas nestes processos, e a seleção da espécie pode variar dependendo das características do tratamento em questão. Elas podem ser classificadas segundo seu *biótipo*, refletindo na sua capacidade de adaptação ao meio de desenvolvimento (Figura 7):

Figura 7 - Tipos biológicos das Macrófitas Aquáticas



Fonte: Esteves (2011).

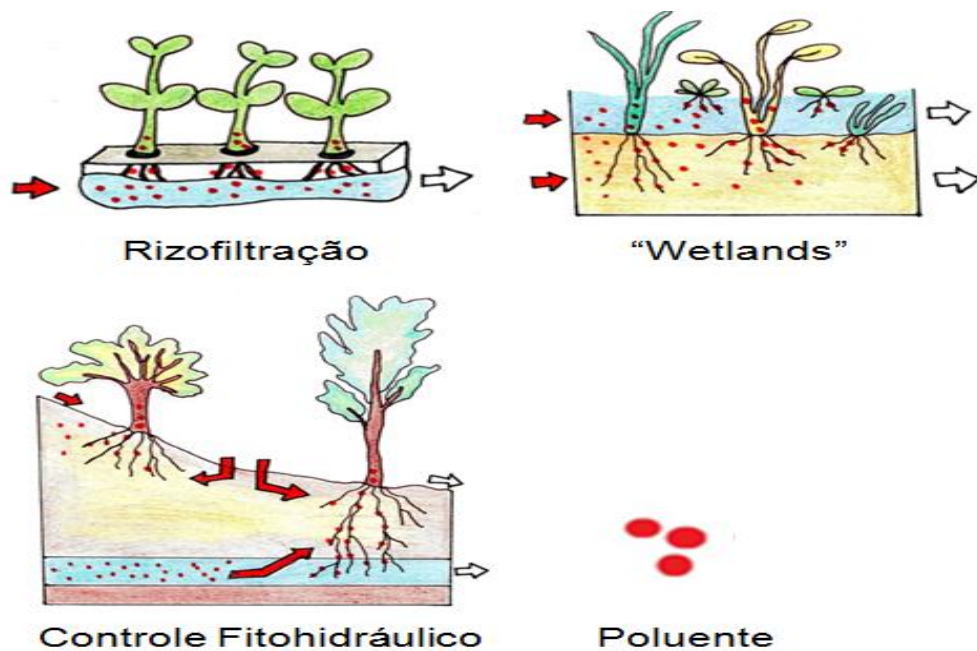
- a) Macrófitas aquáticas emersas cujas plantas são enraizadas no sedimento e com folhas para fora d'água, *Typha* sp., *Pontederia* sp., *Echinodorus* sp., *Eleocharis* sp são exemplos.
- b) As macrófitas aquáticas com folhas flutuantes compreendem as plantas enraizadas no sedimento e com folhas flutuando na superfície da água, como exemplo a *Nymphaea* sp., *Vitoria* sp. e *Nymphoides* sp.
- c) As submersas enraizadas cujas plantas estão enraizadas no sedimento, e crescem totalmente submersas na água *Elodea* sp., *Egeria* sp., *Hydrilla* sp., *Vallisneria* sp., *Mayaca* sp. e a maioria das espécies do gênero *Potamogeton* sp constituem este grupo.
- d) As submersas livres são plantas com sistema radicular pouco desenvolvido, estão presentes em ambientes aquáticos de baixa

turbulência, permanecendo submersas. *Ceratophyllum* sp, *Utricularia* sp. e *Ceratophyllum* sp. são exemplares deste grupo.

- e) As plantas que flutuam na superfície da água são denominadas macrófitas aquáticas flutuantes. Em geral se desenvolvem bem em locais protegidos da ação do vento. Dentre elas pode-se destacar *Eichhornia crassipes*, *Salvinia*, *Pistia*, *Lemna* e *Azolla*.

Diversos processos podem ocorrer na fitorremediação, de forma direta, “in situ”, por meio de fitoextração, rizofiltração, fitodegradação, fitovolatilização e controle fitohidráulico (Figura 8), ou por outros mecanismos de forma indireta como a fitoestabilização e rizodegradação ou rizorremediação. (PILON-SMITHS, 2005).

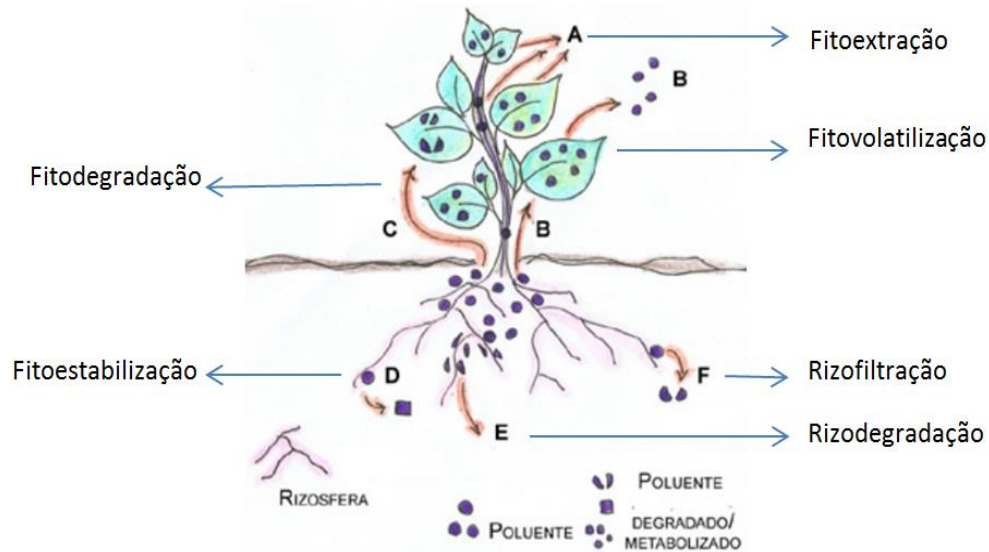
Figura 8 - Processos de fitorremediação



Fonte: Adaptado de Pilon-Smits (2005).

Os processos também ocorrem de forma indireta por meio dos mecanismos de fitoestabilização e rizodegradação. As raízes exercem papel fundamental no processo de rizofiltração e rizodegradação promovendo outros processos na planta (Figura 9).

Figura 9 - Mecanismos que constituem a fitorremediação



Fonte: Adaptado de Pilon-Smits (2005).

Para identificação da rizosfera, considera-se, segundo Pilon-Smits (2005), como a área de aproximadamente 1 mm ao redor da raiz que se encontra sob influência da planta. Na rizosfera é liberada uma diversidade de compostos orgânicos oriundos do processo de fotossíntese. Os fungos heterotróficos e as bactérias se abastecem desses compostos orgânicos para o processo de rizodegradação na área ao redor das raízes.

4.2.2 Mecanismo de Fitorremediação nas macrófitas flutuantes: Lemnas

Nas macrófitas aquáticas flutuantes, o processo de remoção de nutrientes ocorre por meio das raízes, denominado de rizofiltração, que consiste na adsorção de substâncias pelas raízes, promovendo a absorção de contaminantes que estão em solução aquosa, ao redor da zona de raízes (ZHAO *et al.*, 2014).

Neste processo os organismos presentes ao redor das raízes e a ação das raízes são responsáveis pela degradação dos compostos. Na rizosfera ocorre uma série de reações químicas que favorecem a absorção dos compostos pelas raízes (JÚNIOR; ALVES, 2012).

Este mecanismo pode ser aplicado em Wetlands artificiais (sistema de filtros com raízes), plataformas flutuantes ou lagoas. Compostos inorgânicos como metais, cianetos, nitratos, fosfatos, e outros de maior toxicidade como herbicidas também podem ser removidos por este sistema (MONTEIRO, 2008).

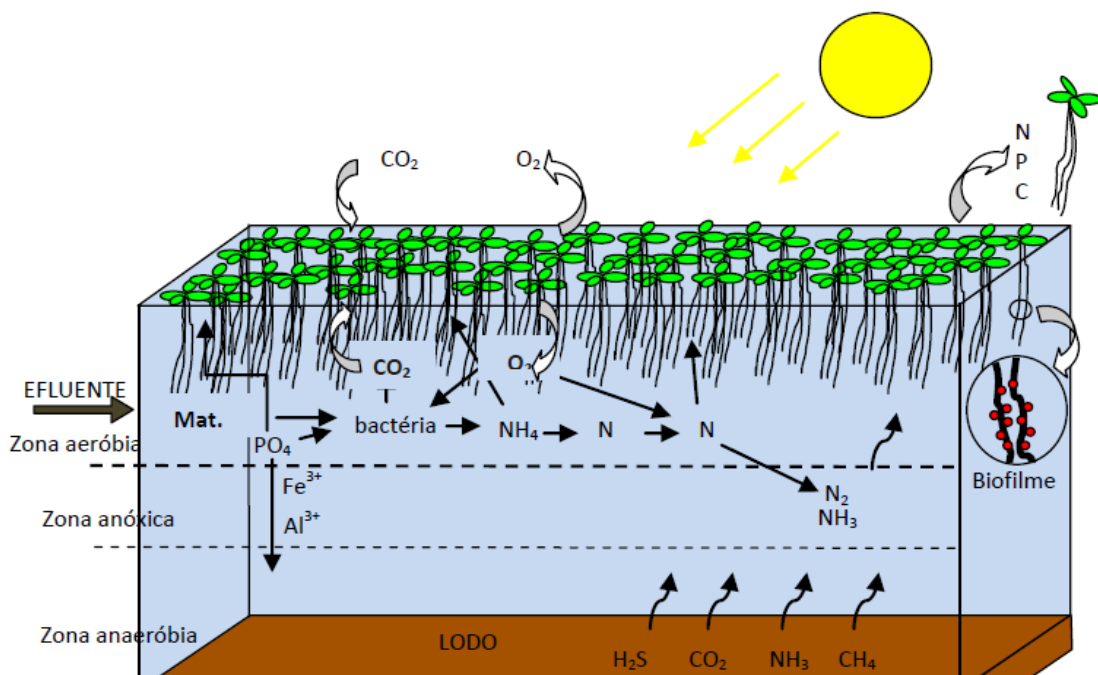
4.2.3 Remoção de Nitrogênio, Fósforo e Patógenos por Lemnas

O grupo da família Lemnaceae apresenta grande capacidade de assimilar nutrientes como nitrogênio, pois absorvem diretamente os nutrientes em sua biomassa, incorporando-os (BARÃO, 2014).

Segundo Von Sperling (1996), os efluentes orgânicos oriundos de tratamentos de esgotos domésticos apresentam baixo teor de oxigênio dissolvido e em função disso o nitrogênio inorgânico se encontra em grande parte na forma de amônia.

As lemnas absorvem diretamente o nitrogênio através das frondes (Figura 10), mas também ocorrem processos de nitrificação e desnitrificação por organismos presentes ao redor das raízes, na rizosfera, onde ocorre também a volatilização da amônia (ZHAO *et al.*, 2014.).

Figura 10 - Representação de processos que ocorrem durante o tratamento de efluentes, em lagoas com lemnáceas flutuantes.



Fonte: Mohedano (2010).

A remoção do fósforo pelas lemnas ocorre pela absorção do fósforo preferencialmente na forma de ortofosfato, utilizado em seu crescimento. Desta

maneira os níveis de crescimento e colheita influenciam em maior ou menor absorção de fósforo (IQBAL, 1999).

O fósforo em um sistema aquoso com lemnas, primeiro é absorvido pelas plantas, depois pode passar pela adsorção nas partículas minerais de argila e também da matéria orgânica, para sofrer precipitação química com as espécies minerais de Ca^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} e sofrer absorção pelos microrganismos presentes no meio (VON SPERLING, 1996; IQBAL, 1999).

As lemnas removem o fósforo concentrando em sua biomassa. Os outros mecanismos descritos estocam o fósforo dentro do sistema principalmente por haver sedimentação, a remoção do fósforo do sistema somente é possível através da coleta das plantas da superfície ou dragagem do solo. (IQBAL, 1999).

Barão (2014) destaca que em um sistema de tratamento de efluente da suinocultura composto por uma lagoa anaeróbia e duas lagoas de lemnas em série, atingiu a taxa de remoção de mais de 90% de fósforo.

4.2.4 Eficiência no polimento do efluente com Lemnas

O uso das lemnas como tecnologia de fácil manejo está associado ao fato de que as lemnas naturalmente se desenvolvem em ambientes eutrofizados, os quais representam os efluentes das lagoas de tratamento mais utilizadas e que são despejados em cursos d'água. Por suportarem ambientes com elevadas cargas orgânicas, sólidos suspensos, variações de pH, as lemnas são indicadas para tratamentos de polimentos em efluentes tratados pelo método convencional (MOHEDANO, 2010).

Estudos apontam a presença de uma microfauna aderida às raízes das plantas, que auxiliam na degradação da DBO, na remoção e fixação do nitrogênio, como também na remoção de patógenos, como os coliformes termotolerantes (ZHAO *et al.*, 2014).

Smaniotto (2016) fez um levantamento das pesquisas mais atuais sobre a eficiência das lemnas na remoção de nutrientes, relacionando os autores e resultados conforme Tabela 04. A remoção dos nutrientes está relacionada com a espécie selecionada e o tempo de detenção hídrica do efluente. Os valores obtidos por Mohedano (2010) em Florianópolis foram incluídos na Tabela 4.

Tabela 4 - Relação de trabalhos realizados abordando espécies, tempo de detenção, concentração e eficiência do polimento de efluentes

Autor	Espécie	Carga orgânica(DBO/DQO)	Nitrogênio Total(mg/L)	Fósforo Total(mg/L)	TDH	Eficiência na remoção
Adhikari,U.,et Al. 2014	Lemna minor	DQO 500mg/L	-	-	22,5 dias	NT – 27,3% PT – 13% DQO – 76%
Garcia, 2015	Landoltia punctata	DQO 477mg/L	50mg/L	-	3,8 dias	NT – 74,6% PT – 66,1% DQO – 88,1%
Ge et al. 2012	Lemna minor	-	-	-	18 a 27 dias	NO3 – 75% a 95,1%
Matos et al. 2014	Lemna gibba	-	NH4+- 33,4mg/L	-	10 dias	NH4+- 30,8% NTK-19,9% DQO – 39,9% E.coli – 92,6%
Yilmaz & Akbulit, 2011	Lemna minor	DBO5-227mg/L DQO – 377mg/L	-	-	10 dias	DQO – 83% DBO5 -88%
Zhao et al. 2014	Lemna japônica	-	27mg/L	3,5mg/L	11 dias	NT – 58% PT – 50%
Mohedano, 2010	Landoltia punctata	-	44mg/L	10mg/L	28 dias	NT – 99,8% PT – 99,7% DBO – 99,5%

Fonte: Adaptado de Smaniotto (2016).

Das espécies apresentadas, observa-se que a eficiência na remoção em função do tempo de detenção hídrica (TDH) foi maior na espécie *Landoltia Punctata*.

A eficiência de remoção do tratamento com lemnas foi avaliada na unidade experimental da UNESP, Campus de Ilha Solteira pelos seguintes parâmetros: Nitrogênio Total (NT), Nitrato (NO₃), Fósforo Total (PT), Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Sólidos Totais (ST), com tempo de detenção hídrica de 21 dias, conforme Tabela 5 (SMANIOTTO, 2016).

Tabela 5 - Eficiência média na Remoção com uso de Lemnas: Estação experimental da UNESP, Campus Ilha Solteira

Parâmetros Analisados	Frequência de análise	Concentração do afluente (mg/L)	Concentração do efluente (mg/L)	Eficiência de remoção
DBO (mg/L)	Semanal	212,06	125,04	41 %
DQO (mg/L)	Semanal	60,37	27,12	55 %
Fósforo Total (mg/L)	Cada 3 dias	50,40	26,68	41 %
Nitrato (mg/L)	Cada 3 dias	13,66	10,14	24 %
Nitrogênio Total (mg/L)	Cada 3 dias	17,98	14,73	18 %

Fonte: Adaptado de Smaniotto (2016).

Remoções com índices superiores a 90% para DBO, maiores de 74% para nutrientes e acima de 99% para coliformes fecais foram registrados em lagoa de esgoto coberto por lemnas, porém a carga de concentração se apresentava baixa em relação à DBO (IQBAL, 1999).

Com tempo maior de detenção hídrica observa-se um aumento significativo no índice de remoção, na faixa de 67 a 89% em nitratos e 67 a 72% em fósforo total presente no meio aquoso (VERMA; SUTHAR, 2015).

Observa-se que em geral, as espécies de lemnas são bastante eficazes na remoção da carga orgânica e de nutrientes.

As lagoas de lemnas não removem patógenos em níveis tão altos quando comparadas as lagoas convencionais que utilizam de fatores como a detenção hidráulica, temperatura e incidência solar (radiação ultravioleta) que garantem a diminuição na quantidade de patógenos.

Nos ambientes com as lemnas há menor penetração de luz, ausências de substâncias bactericidas produzidas pelas algas (uma vez que o crescimento das lemnas inibe a proliferação de algas), menor concentração de oxigênio. Essas condições tornam as lagoas de lemnas não tão efetivas em relação às lagoas convencionais.

Porém as lagoas de lemnas promovem a remoção dos patógenos, principalmente do grupo dos Coliformes por outros mecanismos. O aumento no

tempo de detenção hidráulica apresenta efetividade na remoção dos microrganismos patógenos.

El-Shafai *et al.* (2007) afirmam que em lagoas com lemnas, a remoção de coliformes fecais é maior em temperaturas mais altas, devido a alguns fatores:

- a) Por absorver maior quantidade de nutrientes, as lemnas podem causar uma deficiência dos mesmos para outros organismos;
- b) Os coliformes podem ser removidos pela remoção periódica de lemnas;
- c) O fator mais importante citado pelo autor vem a ser a proteção que a manta de lemnas oferece aos coliformes.

4.3 COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DAS LEMNAS

As lemnas são reconhecidas pelos altos teores de proteína em sua composição, comparadas com outros vegetais. A produção de proteína depende das condições de crescimento, principalmente concentrações de nitrogênio e fósforo e fatores como clima e incidência solar (JOURNEY *et al.*, 1993). Quando as concentrações de nutrientes são baixas, os teores de proteínas são menores, 15% a 25%, e aumentam os teores de fibras, 15% atingindo até 30%.

Com concentrações adequadas de nutrientes, níveis de calor e luz, os teores de proteínas chegam a 43% (LENG; STAMBOLIE; BELL, 1995). Segundo estes mesmos autores, os índices de lipídeos são relativamente baixos em relação aos índices de proteínas, na faixa de 5%.

Smaniotto *et al.* (2016) destacam alta produtividade das lemnas na produção de proteína com teor de 45%, superior a teores de outros vegetais como a soja, por exemplo.

Teor de 38 % em massa seca foi encontrado por Matos *et al.* (2014). França *et al.* (2009) destacam o teor de 19,6% para *Lemna valdiviana* cultivada em meio enriquecido com excrementos de aves.

A espécie *Landoltia punctata* cultivada em esgoto doméstico, de acordo com Costa (2014), apresentou os teores de Amido 6,53%, Celulose 12,83%, Proteína Bruta 34,27%, e Cinzas 10,5%.

França *et al.* (2009) destacam na composição das cinzas quantidades significativas grandes de potássio, sódio, cálcio e magnésio, pequenas quantidades

de alumínio, ferro, cobre, manganês e zinco, valores apresentados para *Lemna valdiviana* cultivada em meio enriquecido com excrementos de aves.

As lemnas (MBAGWU; ADENIJI, 1988 *apud* TAVARES, 2004) apresentam teores de aminoácidos essenciais como leucina, arginina e valina significativos, nas plantas da família *Lemnaceae*, em quantidades menores encontram-se metionina, cistina e triptofano. Em relação aos compostos vegetais e outras fontes, as lemnas apresentam altos teores de lisina e metionina. Os teores podem ser comparados com os valores de soja e amendoim.

Smaniotto (2016), em pesquisa para enriquecimento de amido na espécie *Landoltia punctata*, apresentou análise nutricional da planta cultivada na Estação Experimental da UNESP, Laboratório de Saneamento, Campus de Ilha Solteira (Tabela 6). Destacam-se os valores de proteína e nitrogênio, além de fibra e hemicelulose.

Tabela 6 - Composição da *Landoltia punctata* em matéria seca

Parâmetro analisado	Matéria Seca (% média)
Amido	3,4
Celulose	12,78
Fibra Bruta	12,65
Hemicelulose	13,53
Lignina	1,91
Lipídeos	4,32
Nitrogênio	6,69
Proteína Bruta	41,85

Fonte: Adaptado de Smaniotto (2016).

Os teores de amido e proteína, assim como os teores de fibras estão diretamente relacionados às concentrações de nutrientes, maior disponibilidade favorece a produção de proteínas. Condições de estresse nutricional ou enriquecimento favorecem a concentração de amido ou aumento do teor de fibras. O teor de amido em água pobre em nutrientes chega a 4,7 % e em água limpa atingem teores de 24,6% (SMANIOTTO, 2016).

4.4 CRESCIMENTO DAS LEMNAS E PRODUÇÃO DE BIOMASSA

As lemnas possuem reprodução vegetativa, por brotamento de frondes filhas dos bolsos reprodutivos no lado de uma fronde madura (KUTSCHERA; NIKLAS, 2015).

As lemnas possuem grande teor de proteína, superior a 40%. As lemnas passam a se reproduzir em um ritmo mais lento, aumentando o teor de fibras. Em um período médio 10 dias, de forma exponencial, uma fronde pode produzir até 10 gerações. (JOURNEY *et al.*, 1993).

Por serem organismos autotróficos, produtores primários, realizam fotossíntese utilizando a radiação e partindo da água e do dióxido de carbono para produzirem glicose (fonte de energia) e liberando oxigênio (MONTEIRO, 2007).

Seu crescimento é bastante rápido em condições ideais de luz, temperatura e nutrientes, em dois ou três dias, as lemnas podem dobrar sua massa. Uma planta em média pode chegar a gerar 20 indivíduos (JOURNEY *et al.*, 1993).

No Brasil taxa de crescimento relativo média esperada é de 5,36 g.m².dia (BARÃO, 2014), 18,0 g.m².dia (MOHEDANO, 2010), 9,0 g.m².dia (LOPES, 2017) para a espécie *Landoltia punctata*.

A variação na taxa de crescimento reporta-se as condições e variáveis de clima, temperatura, luz e composição do efluente.

4.5 LEMNAS: caracterização da espécie *landoltia punctata*

O termo “*Lemna*” designa um gênero de plantas aquáticas da subfamília *Lemnoideae* (Antiga família *Lemnaceae*). Do latim, o termo *limnus* significa lago, com relação ao habitat natural destas (SKILLCORN *et al.*, 1993). Porém os termos *Lemnaceae*, *Lemnas*, se tornaram habituais na língua portuguesa como forma de descrição do grupo botânico (MOHEDANO, 2010).

De acordo com Mohedano (2010) são de forma popular no Brasil, chamadas de lentilha d’água ou marrequinha, por ocorrerem em ambientes lênticos como lagos, lagoas e servirem de alimentos para patos. Devido ao seu tamanho reduzido e por formar aglomerações podem ser confundidas com algas.

Também chamadas como “duckweeds” (erva de pato), lemnáceas ou somente lemnas. Para difundir o termo “lemnas” como uma nomenclatura popular,

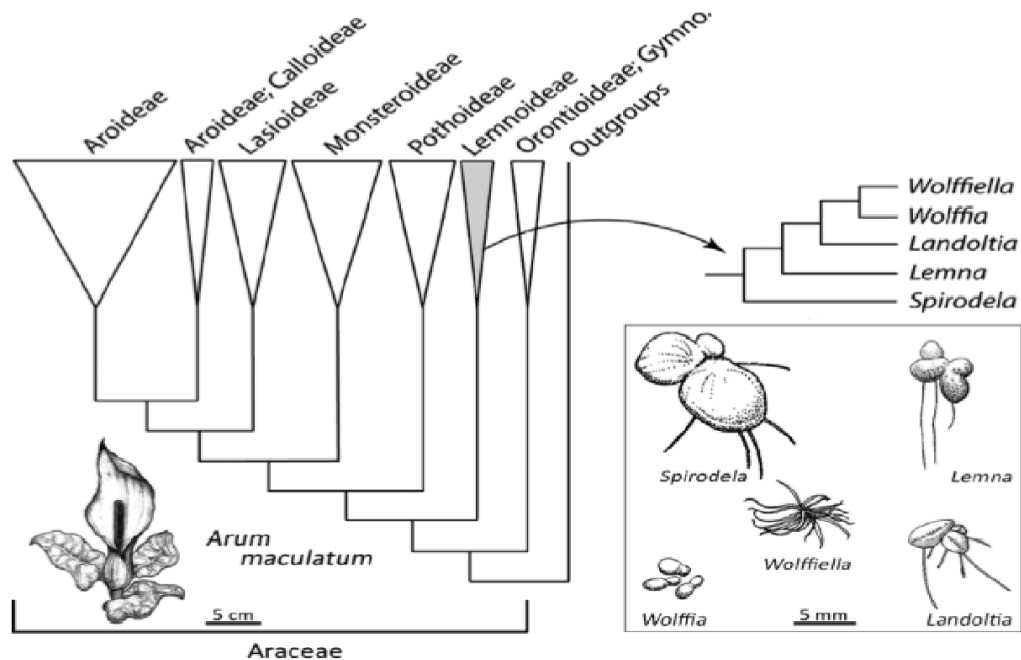
utiliza-se este termo para este grupo de plantas, uma vez que o termo “duckweed” é bem difundido para denominar os vegetais deste grupo, sendo citados nos trabalhos científicos (BRUGNAGO, 2014).

Comparando com outras plantas, as lemnas possuem pouca fibra, adaptam-se às mais variadas condições climáticas, com exceção a regiões desérticas e polares (SKILLICORN *et al.*, 1993).

Landolt (1996) descreve estas plantas que pertencem ao grupo *Lemnoideae* como ervas verdes aquáticas, flutuantes livres, submersas ou não submersas, com ou sem a presença de sistema radicular, apresenta frondes milimétricas, que variam de uma a numerosas, propagando-se por brotamento.

Este grupo compõe a subfamília *Lemnoideae*, que consiste em cinco gêneros: *Spirodela*, *Landoltia*, *Lemna*, *Wolffia* e *Wolffiella*, com cerca de quarenta espécies distribuídas (Figura 11).

Figura 11 - Árvore simplificada da família Araceae, mostrando as subfamílias Aroideae e Lemnoideae

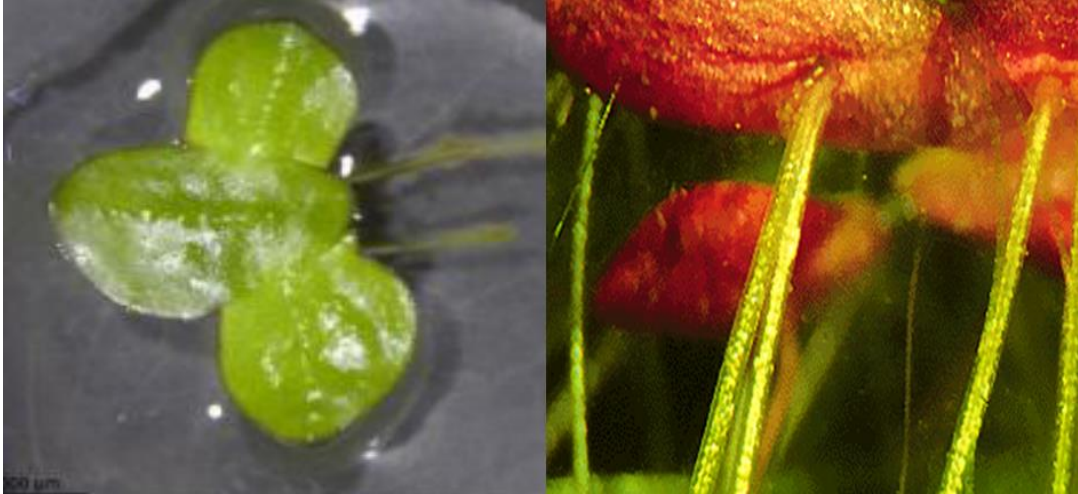


Fonte: Kutschera e Niklas (2014).

A espécie *Landoltia punctata* se diferencia das demais espécies por apresentar até cinco raízes por fronde, suas frondes possuem bordas arroxeadas. Localiza-se entre os gêneros *Lemna* e *Spirodela*. (ALBERTONI; PALMA-SILVA 2006).

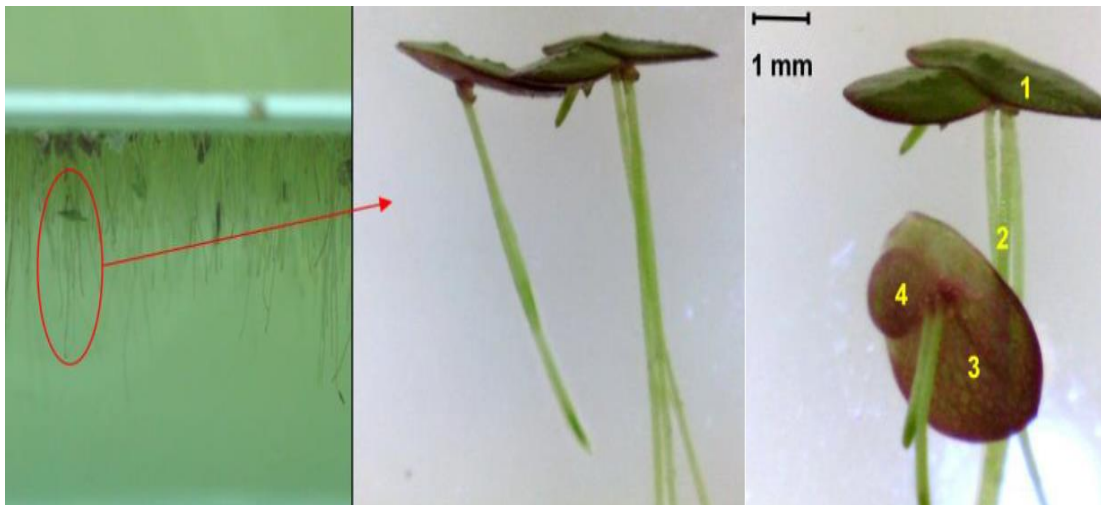
A espécie *Landoltia punctata* está representada nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Espécie *Landoltia punctata*



Fonte: Adaptado de Armstrong (2000).

Figura 13 - Detalhes da *Landoltia punctata*



Nota: fronde; 2- raízes; 3- vista inferior da fronde; 4- fronde filha.

Fonte: Adaptado de Mohedano (2010).

Entre diversas espécies de lemnas, a *Landoltia punctata* se destaca na produção de proteína e remoção de nitrogênio e fósforo em efluentes com grande carga orgânica, como é o caso da suinocultura, além de ser nativa da região Sul do Brasil (MOHEDANO, 2010).

A unidade experimental da UNESP, Câmpus de Ilha Solteira, montada no Laboratório de Saneamento, desenvolve, nos últimos anos, pesquisas com as lemnas em tanques de polimento para avaliação da remoção de carga poluidora e a

produção de biomassa. A espécie *Landoltia Punctata* é atualmente cultivada na estação.

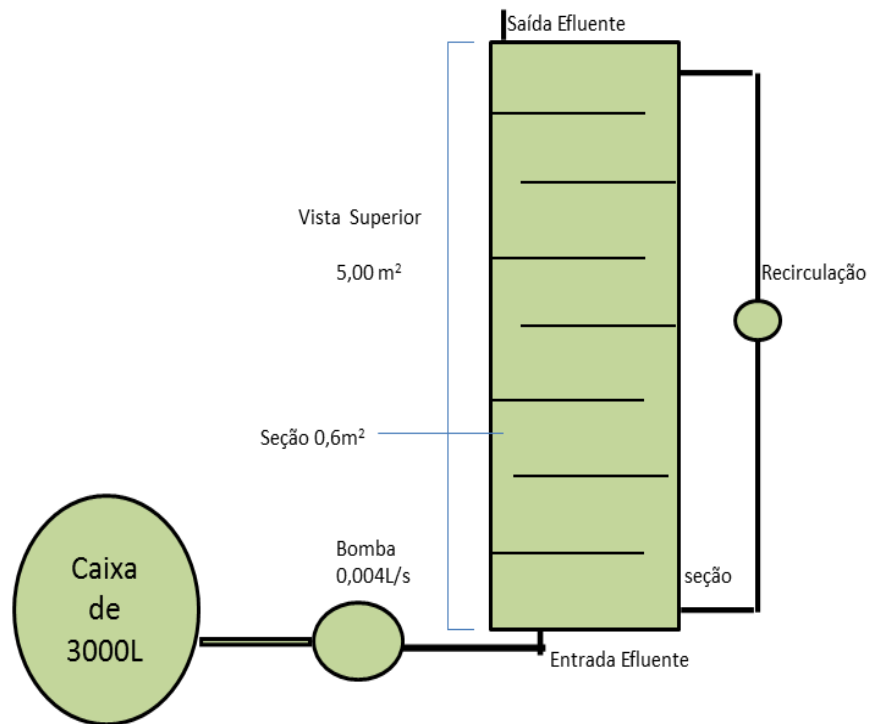
4.5.1 Produção de biomassa da espécie *Landoltia Punctata* e caracterização da composição de nutrientes na Estação Experimental da UNESP, Campus Ilha Solteira

Na estação experimental, outros trabalhos foram desenvolvidos anteriores e paralelos a este, para disponibilizarem os dados sobre crescimento/geração de biomassa, e caracterização do esgoto como meio de cultivo.

As pesquisas se baseiam no acompanhamento da produção de biomassa para quantificação e caracterização química da mesma, para estudos de avaliação de crescimento, remoção de compostos, aplicação da biomassa em diversas áreas (GARCIA, 2015; SMANIOTTO, 2016; FILHO *et al.*, 2018).

As macrófitas são cultivadas com esgoto sanitário tratado do sistema de tratamento da cidade de Ilha Solteira, coletado na saída da lagoa facultativa, no emissário (Figuras 14 e 15)

Figura 14 - Layout do sistema de tratamento – Tanque de Lemnas



Fonte: Adaptado de Smaniotto (2016).

Figura 15 - Vista do tanque de lemnas com recirculação do efluente



Fonte: Próprio autor.

O tanque trabalha em fluxo contínuo com um tempo de detenção hidráulica de 7 dias. Após, é descartado na rede coletora de esgoto. O ciclo total de avaliação do crescimento de lemnas compreende de 3 a 24 dias.

O tanque possui uma área superficial de 5,0m², dividido em 8 seções (A,B,C,D,E,F,G,H), com aproximadamente 0,6 m² cada. As seções foram divididas com placas de isopor, que promoveram a separação apenas na superfície da lâmina

d'água. As seções facilitam para monitorar o crescimento das macrófitas (Figuras 16).

Figura 16 - Tanque de lemnas com as seções, entrada e saída do efluente



Fonte: Próprio autor.

O excesso de plantas durante o cultivo é transferido para um tanque de transferência para uso da biomassa em pesquisas.

A avaliação da taxa de crescimento das macrófitas é realizada na Estação Experimental no Laboratório de Saneamento, por meio de colheitas periódicas durante o ciclo de cultivo.

Garcia (2015) obteve taxa de crescimento das macrófitas cultivada na Estação Experimental no Laboratório de Saneamento de 3,6 a 10,3 g/m² /dia ciclo de 21 dias com colheitas a cada 7 dias. Para as colheitas a cada 14 dias média encontrada de 8,4 g/m² /dia e 5,9 g/m² /dia em 21 dias.

Filho et. al (2018) realizou o cultivo com ciclo de 24 dias e obteve produção em massa fresca de 1,91 a 27,47 g/m²/dia (24 dias de cultivo) e 3,38 a 7,39 g/m²/dia com 6 dias de cultivo. Esta biomassa seca foi analisada na UNESP de Ilha Solteira, no Laboratório de Nutrição de Plantas. Os dados médios obtidos foram de 5,13 % para nitrogênio e 32% para proteína bruta. As análises demonstraram o potencial da biomassa da *Landoltia punctata* como possível fonte de nitrogênio.

4.5.2 Variáveis que interferem no crescimento das Lemnas e Produção de biomassa

Segundo Barão (2014), nas últimas décadas, as lagoas de lemnas têm sido aplicadas e pesquisadas em grande escala. EUA, Índia, Alemanha, Holanda, Taiwan, Israel, China e Canadá são exemplos.

Porém, os sistemas de tratamento com lemnas necessitam estudos aprofundados, pois, como organismos biológicos, estas plantas apresentam reações complexas perante diversas variáveis como clima (incidência de luz, calor, umidade); pH; salinidade; disponibilidade de nutrientes; e variáveis de estrutura como tempo de detenção hidráulica, dimensionamento das lagoas entre outros fatores operacionais (VIEIRA, 2013; GARCIA, 2015).

Dessa forma as pesquisas devem ser regionais, respeitando as condições e interferências do ambiente para adequação de cada sistema a fim de atingir eficiência do tratamento. (MOHEDANO, 2010)

As lemnas em especial apresentam vida vegetativa relativamente curta, variando seu ciclo de acordo com a taxa de crescimento de cada espécie, e as condições em que estão expostas, como incidência de luz (fotoperíodo), temperatura, pH, concentrações de nutrientes, entre outros.

Em geral se apresentam bastantes resistentes a alterações climáticas, se reproduzindo e crescendo de forma saudável mesmo em variações bruscas de pH entre 4,5 a 7,5. Para Landolt (1996), pH alcalino é desfavorável pois há liberação da amônia na forma de gás, o que é tóxico para as lemnas.

Segundo Iqbal (1999) os efeitos em relação aos efeitos de chuva sobre as lemnas. Períodos frequentes de chuva diminuem a incidência solar e provocam a diluição dos nutrientes.

A variação da concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo é um dos fatores que mais interferem no crescimento das lemnas, segundo Zhao *et al.* (2014), em altas concentração destes nutrientes as lemnas crescem com frondes grandes, verdes escuras, em concentrações baixas dos nutrientes as frondes apresentam desenvolvimento menor, espessas e mais claras.

Com cultivo adequado em níveis de luz, calor, e nutriente, as lemnas podem atingir um rendimento de 10 a 30 toneladas de biomassa seca por hectare/ano (LENG; STAMBOLIE; BELL, 1995).

Observa-se que as lemnas se desenvolvem nos maiores índices em climas tropicais com temperaturas mais quentes. Segundo Iqbal (1999) temperaturas superiores a 35°C podem ser prejudiciais reduzindo a produtividade pelo estresse do clima muito quente. Temperaturas abaixo de 7°C reduzem a produtividade. A faixa de temperatura ideal de acordo com o autor está entre 25°C e 31°C, dependendo da espécie.

Tavares (2008) com a espécie *Lemna valdiviana*, obteve uma produção média de 38,17 ton/ha/ano de matéria seca nos meses mais quentes, com taxa média dia de 10,5 g/m²/dia. Valores menores foram observados na produção de biomassa nos meses mais frios.

Skillicorn *et al.* (1993) obtiveram grandes quantidades de massa fresca de lemnas em clima tropical, chegando a 800g/m²/dia, porém sua massa seca diminui, cerca de dez vezes menor que massa úmida.

Smaniotto (2016) destaca que em períodos de temperaturas elevadas (30,8° e 31,4°C) obtiveram-se os maiores níveis de crescimento pelas lemnas, entre 54,1 e 66,4g/m²/dia em massa fresca. Com temperaturas mais frias (12,3° a 14,4°C) o crescimento registrado foi menor, em média de 5,3 a 6,6g/m²/dia.

Na Estação Experimental da UNESP, Laboratório de Saneamento, Campus de Ilha Solteira, o cultivo da espécie *Landoltia punctata* a temperaturas quentes não sofre interferência negativa, pelo contrário, observou-se um grande crescimento, com produtividade média de 19,3 ton/ha/ano massa fresca (SMANIOTTO *et al*, 2016)

A espécie *Landoltia punctata* é o objeto de estudo nesta pesquisa, alguns estudos relacionados na Tabela 07, relacionam a produtividade desta espécie em relação à temperatura. A espécie se destaca na remoção de nutrientes e teor de proteína, como cita a literatura, as lemnas utilizam os nutrientes para produção de biomassa (MOHEDANO, 2010; BARÃO, 2014; MAGNUS, 2016).

Tabela 7 - Relação da espécie *Landoltia punctata* com produtividade em massa e temperatura

Autor/Ano	Biomassa (Massa Seca)	Temperatura (°C)
Mohedano (2010)	5,91 g/m ² /dia	22-26
Zhao <i>et al.</i> (2014)	6,1 g/m ² /dia	7-20
Brugnago (2014)	7,48 g/m ² /dia Ou 27,3 t/ha/ano	20-21
Tonon (2014)	42,6 g/dia	19-20,4
Smaniotto (2016)	5,3 a 6,6 g/m ² /dia	12,3 – 14,4

Fonte: Elaborada pelo autor.

A vantagem do alto crescimento e produção de biomassa sem o manejo adequado e destinação segura pode facilmente reverter à eficiência de remoção de nutrientes em outro problema, a degradação da matéria morta, a infestação de insetos e vetores e maus odores.

De acordo com Barão e Pena (2014), a disposição final da biomassa deve passar por estudos aprofundados, recomenda-se a adequação de um sistema sustentável do ponto de vista operacional e econômico em relação à reutilização da biomassa.

4.5.3 Possíveis aplicações para a Biomassa de Lemnas

As macrófitas aquáticas são plantas de grande aplicabilidade, sua grande capacidade de hiperacumuladoras, torna sua biomassa valiosa para as pesquisas.

Estudos mais recentes apontam outras formas de aplicação para biomassa como o uso para biocombustíveis, como produção de bioetanol e até por geração de energia pela queima da biomassa (GARCIA, 2015; SMANIOTTO, 2016).

Dentre os componentes que mais se destaca na composição da *Landoltia punctata*, cultivada em esgoto doméstico, é a sua quantidade de proteína bruta, em média 41,85% de sua matéria seca. Isso favorece o uso da planta como matéria prima no preparo de rações, o que é favorecida devido à baixa quantidade de fibra bruta (IQBAL, 1999).

Mohedano *et al.* (2012) aponta o uso das lemnas na incorporação em ração animal ou ser utilizada diretamente na alimentação de peixes, devido seus altos

teores de proteína bruta (35%), o que somado a sua taxa de crescimento e ao elevado teor de proteína, a torna 20 vezes superior que a soja em níveis proteicos.

A utilização de lemnas como nova fonte para a produção de biocombustíveis apresenta fatores promissores como a taxa de crescimento rápido, sua capacidade de crescer diretamente sobre os efluentes domésticos e agrícolas, e a relativa simplicidade de colheita da biomassa produzida (ZHAO *et al.*, 2012). As lemnas ainda apresentam vantagens na produção de biocombustíveis oriundo de microalgas, pela facilidade na colheita e processamento como separação mais simples de forma mecânica, o que reduz os custos com energia (BALIBAN *et al.*, 2013).

Costa (2014) aponta o uso da biomassa de lemnas (*Landoltia punctata*) com enriquecimento de amido obtido pela privação de nutrientes para produção de bioetanol através de hidrólise enzimática. Com este método é possível obter amido em quantidade superior a cinco vezes a massa inicial. A produção de celulose também favorece a conversão do amido e da própria celulose em açúcares fermentescíveis pelo processo enzimático.

Smaniotto (2016) aponta a biomassa de lemna como alternativa para produção de etanol devido seu valor nutricional, as lemnas passam por processo de enriquecimento de amido e a produção do etanol pode ser realizada por fermentação enzimática, gerando álcool chamado de segunda geração, porém o processo apresenta custo elevado devido à complexidade do processo produtivo.

Iqbal (1999) aponta que a biomassa também pode ser usada como fertilizante, por aplicação direta no solo ou por compostagem de forma econômica e de fácil operação.

Medeiros *et al.* (1999) sugere o uso das lemnas para fertilizantes, cobertura orgânica morta, substrato para orquídeas (indicando algumas espécies como *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*). Destaca também as aplicações para geração de energia (por meio do biogás ou pela queima direta) e como matéria prima para compostagem. As plantas aquáticas podem ser compostadas devido à liberação de macro e micronutrientes, em especial o nitrogênio, como aponta Kiehl (2004). Malavolta (1989) aponta *Eichhornia crassipes* com fins de utilização da mesma como adubo verde, considerando a sua viabilidade para tal fim, devido às altas concentrações de matéria orgânica e minerais.

As lemnas também compõem do grupo das macrófitas aquáticas. Elas se destacam pela remoção de nutrientes e sua alta produção de biomassa por meio da taxa de crescimento como citado.

Os componentes presentes na biomassa têm despertado grande interesse nas diversas aplicações pela biomassa. Rica em proteína, diversos estudos apontam a sua viabilidade nutricional para uso em rações para suínos, peixes, aves entre outros animais. O emprego na compostagem, para fabricação de adubos verdes já é estudado também (SOUTO, 2016).

4.5.4 Compostagem de Lemnas

A utilização de plantas aquáticas para compostagem é recomendada por Kiehl (2004).

Antunes (2009) em estudo aponta a viabilidade da aplicação de macrófitas das espécies *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Lemna minor* como matéria prima para compostagem por método de aeração natural (Windrow). No estudo foram realizados três experimentos com diferentes porcentagens de plantas e resíduos sólidos domiciliares.

Os experimentos, segundo Antunes (2009), foram na seguinte proporção, no experimento 01, com 20% de macrófitas e 80% de resíduos sólidos domiciliares. Experimento 02, com 100% de macrófitas sem a associação de resíduos. Experimento 03, com 60% de macrófitas e 40% de resíduos sólidos domiciliares, as plantas foram utilizadas de forma associada na compostagem. Os resultados obtidos nas análises foram favoráveis para caracterização das plantas como material compostável. Na Tabela 08 segue a descrição da composição em matéria orgânica (M.O), Nitrogênio Total (NT) potencial hidrogeniônico (pH) e Relação de Carbono/Nitrogênio de cada espécie.

Tabela 8 - Caracterização das espécies de macrófitas aquáticas no início da compostagem

Espécie	M.O (%)	NT (%)	pH	Relação C/N
<i>Eichhornia crassipes</i>	68	4,21	5,7	9,0
<i>Pistia stratiotes</i>	66	2,90	5,3	8,3
<i>Lemna minor</i>	81	5,33	6,0	8,5

Fonte: Adaptado de Antunes (2009).

Em análise aos dados da tabela é possível verificar o potencial da espécie *Lemna minor* em relação às outras espécies nos teores de matéria orgânica e nitrogênio. Teores acima de 1,5% são recomendados como índices ótimos para a compostagem (KIEHL, 2004).

As espécies podem ser classificadas como fonte de matérias-primas, Classe 1 (quando os materiais sofrem decomposição rápida e fácil, com teores significativos de nitrogênio, com relação C/N inferiores a 18/1 (KIEHL, 2004).

Antunes (2009) ainda ressalta que as lemnas não devem ser compostadas sozinhas, uma vez que a relação C/N necessita de adição de material rico em carbono.

Como já citado, a relação C/N é fundamental para o processo de compostagem, uma vez que na relação de 30/1 os microrganismos começam a decomposição. Relações baixas de C/N favorecem a liberação de nitrogênio na forma de amônia, o que causa transtorno com mau cheiro.

A compostagem apenas de lemnas, necessitou de prazo maior, 140 dias, enquanto as lemnas com resíduos o prazo ficou em 90 dias.

Affonseca (2016) avaliou a aplicabilidade de macrófitas em escala real a eficiência da remoção de carga orgânica e nutriente em uma lagoa de tratamento no município de Charqueada – SP, e como proposta tecnológica, a destinação final da biomassa de lemnas aplicada em mistura de biossólido proveniente de ETE. O autor descreve que o processo é realizado de forma automatizada pela empresa de saneamento (SABESP) do município por equipamento capaz de secar e compostar o lodo úmido proveniente da ETE, com baixo custo operacional. Esse sistema é capaz de receber a biomassa de lemnas para agregar ao lodo.

Verificou-se do material compostado que a adição de biomassa de lemnas ao lodo do esgoto, contribui com teor de fósforo e não compromete sua adição em massa de lodo de esgoto úmido (20% de umidade). Pela quantidade de biomassa de lemna seca, de 149,1 kg em um intervalo de 9 dias, (estimando 500kg/mês) apresentando teor de fósforo de 13,86 kg/mês, conclui-se que cerca de 7kg de fósforo seria adicionado a 90 toneladas de lodo (20% de umidade) (AFFONSECA, 2016).

4.6 COMPOSTAGEM NO BRASIL

A produção de resíduos orgânicos é alta no Brasil. Do montante de resíduos sólidos gerados no país, mais da metade corresponde a resíduos orgânicos de diversas fontes (REVISTA DIGITAL BIOMASSA ENERGIA, 2017.)

A destinação correta de resíduos é uma das maiores preocupações atualmente, pois o seu descarte irregular provoca impactos ambientais, sociais e econômicos. (PEIXE; HACK, 2014).

A compostagem é um processo que transforma resíduos orgânicos em compostos utilizáveis na agricultura. Resultando em um produto decorrente da biodegradação aeróbia da matéria orgânica e sob condições controladas pelo homem. Outra importante contribuição do composto é que ele melhora o condicionamento do solo (INÁCIO; MILLER, 2009).

De acordo com Kiehl (1985) pode-se chamar de composto, o adubo produzido com resíduos de animais e vegetais apresentando características diferentes das quais teriam em estado natural, pois a alteração delas se deve ao processo de reações físico-químicas e biológicas denominado processo de compostagem.

Epstein (1997) denomina este processo como decomposição biológica, aeróbica e termófila, controlado e manejado, de degradação dos resíduos orgânicos, originando produto orgânico que apresente estabilidade química e biológica, para aplicação como fertilizante.

Para Aquino *et al.* (2005) os microrganismos não patógenos são responsáveis pela degradação dos resíduos em nutrientes como nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e matéria orgânica de forma gradual. Essa liberação ocorre sob a influência de fatores como pH, umidade, temperatura, oxigenação, teor de lignina nos resíduos entre outros. O produto obtido, denominado substrato, com alto valor físico-químico, pode ser aplicado em culturas de plantas medicinais, hortaliças e jardinagem.

Em 1988, Dafert, primeiro diretor do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, que incentivou os agricultores a produzirem um fertilizante natural para recuperação ou enriquecimento de solos, em que pudessem ser utilizados materiais orgânicos de suas propriedades agrícolas, surgindo assim as primeiras experiências de compostagem. Pouco depois a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), situada em Piracicaba-SP, também iniciou estudos sobre compostagem com a publicação de livros técnicos. Junto destas instituições de renome, a Embrapa também é referência no Brasil na publicação de manuais, circulares técnicas, e treinamento na área de compostagem (AQUINO *et al.*, 2012)

Como aponta Abrelpe (2017) 71,6 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos, foram coletadas com um índice de cobertura de coleta de 91,2% para o país, indicando que 6,9 milhões de toneladas não foram coletadas possivelmente com destinações que impactam o meio ambiente.

Outro fator agravante, a prática da coleta seletiva não prioriza a separação prévia dos resíduos orgânicos antes da coleta e destinação para aterros e lixões. (EIGENHEER, 2009)

No Brasil, menos de 2% dos resíduos sólidos urbanos são destinados para compostagem. Os resíduos orgânicos, somam cerca de 50% dos resíduos urbanos gerados e apresentam potencial para a reciclagem por meio de processos como a compostagem, em escalas, desde a doméstica até a industrial (BRASIL, 2017)

No Brasil o processo de compostagem é relativamente novo, com início na década de 70 e apresentam diversos fatores que comprometem a produção e qualidade do composto de forma padronizada, o que leva à certa rejeição como produto industrial. Desta forma a compostagem é utilizada em cooperativas locais, escolas, entidades de pesquisas, prefeituras e órgãos públicos ou em escala para próprio consumo dos compostos, sem objetivar venda em grande escala. (VASCONCELOS, 2003; PEREIRA NETO, 1996; LELIS; PEREIRA NETO, 2001).

Os processos de compostagem no Brasil ao longo do tempo, não se apresentam de forma contínua. Os diversos modelos de compostagem, sofrem interferência direta das políticas públicas municipais e estaduais, da logística dos resíduos e de suas fontes de origem, além dos recursos tecnológicos e disponibilidade de área e funcionários. Culturalmente o processo de compostagem é visto no país apenas como uma visão social, nas unidades de reciclagem, do que em uma visão mais sistêmica de sustentabilidade e saúde pública (EIGENHEER, 2009; SIQUEIRA, 2015; FNMA, 2017; SOLINO, 2018).

De acordo com Siqueira (2015) no estado de São Paulo, observa-se duas categorias de sistemas de compostagens: os modelos centralizados e descentralizados. Os modelos centralizados consistem em sistemas localizados fora do perímetro urbano, com diferentes fontes geradoras e distantes da unidade. As usinas de triagem e compostagem (UTC) e usinas de adubo orgânico (UAO) são as modalidades mais aplicadas. Os modelos descentralizados compreendem sistemas dentro do perímetro urbano, próximos a fontes de origem de resíduos, inseridos ou próximos de uma comunidade. As modalidades mais empregadas são a compostagem domiciliar, comunitária, institucional e pátios de compostagem.

Os modelos centralizados, licenciados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2013), 49 foram classificadas como centralizadas, 18% das delas encontram-se em funcionamento.

Desde 1997 foram registradas 42 UTCs no estado de São Paulo, mas apenas cinco unidades permanecem em funcionamento, segundo o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares 2011 (CETESB, 2013). A forma de coleta dos resíduos juntos, sem separação prévia, dificulta a produção de um composto com qualidade elevada. A dificuldade na educação ambiental da comunidade no hábito de coleta seletiva implica em dificuldades operacionais da unidade, levando ao fechamento ou desvalorização do espaço como apenas depósito de resíduos (SIQUEIRA, 2015; SOLINO, 2018).

As unidades descentralizadas apresentam menor índice de encerramento devido a processarem resíduos de fonte própria ou muito próxima. No caso da compostagem institucional que é feita por instituições públicas, empresas privadas ou instituições de ensino e pesquisa, a autogestão é fator decisivo por manter o sistema em operação. Unidades de compostagem domiciliar ou comunitária depende da adesão e do nível de cooperação dos moradores envolvidos. E os pátios urbanos de compostagem de forma geral são iniciativa e manutenção pública, funcionando em hortos, hortas comunitárias, viveiros e cooperativas municipais. Dos 14 pátios registrados, 5 encerraram suas atividades, devido a mudança de gestão política, uma vez que sua administração geralmente é feita por prefeituras ou autarquias. (SIQUEIRA, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2017)

Os modelos centralizados apresentam custos mais elevados com transporte dos resíduos em relação aos modelos descentralizados que por sua vez dependem das políticas públicas e da adesão da comunidade (FNMA, 2017).

Em relação aos modelos centralizados os sistemas descentralizados apresentam maior potencial de permanência e são mais vantajosos pois além de dispor de menores espaços e reduzir custos com logísticas de transporte dos resíduos, também possibilitam tratar os resíduos orgânicos na própria origem, utilizando técnicas e equipamentos simples, operados pelo sistema de autogestão (LEITE, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2017). Contribui ainda para a redução de poluentes como os gases metano, amônia e óxidos nitrosos provenientes da decomposição da matéria orgânica em lixões. (GUIDONI, 2018).

A compostagem de forma descentralizada também gera impacto social, como ferramenta de educação ambiental, na conscientização de hábitos mais sustentáveis, uma vez que a população está mais próxima e se torna responsável

pela manutenção e cuidado ao espaço de compostagem (VICH *et al.*, 2017; SOLINO, 2018).

Barreira; Philippi; Rodrigues (2006) destacam que problemas de logística e organizacional na coleta e separação dos materiais orgânicos que servem de matéria prima para a compostagem causam problemas de qualidade aos compostos produzidos em usinas.

Os processos praticados nas usinas não são padronizados e muitas vezes ocorrem com etapas ineficientes como falta de aeração (revolvimento), excesso de água nas leiras, diversidade de granulometria e composição da matéria prima; comprometendo muitas vezes a qualidade final do produto e sua aplicação na agricultura, grande parte perdendo valor de mercado.

O composto deve atender as exigências nutricionais de fertilizantes e de segurança para aplicação e absorção no solo e plantas. No País, a produção de compostos não sofre fiscalização e controle rigoroso o que compromete a qualidade dos compostos e limitando seu uso à condicionadores de solo, muitas vezes levando à rejeição como produto industrial (PIRES; FERRÃO, 2017).

O processo de compostagem natural, também chamado de simplificado, é o mais utilizado seja em pequena escala, seja pelas usinas, neste processo a matéria orgânica, após separação dos materiais indesejáveis para a compostagem, é disposta em montes nos pátios e recebem revolvimentos periódicos para melhorar a aeração (Método de "Windows"). Porém, existem alguns casos que utilizam os processos acelerados com injeção de ar nas leiras e biodigestores.

Para a comercialização o produto deve ser classificado de acordo com a origem de suas matérias primas e descrito sua composição de nutrientes, quando exigido.

Em termos de leis, observa-se nas esferas federais, na Política Nacional de Meio Ambiente (1981) a recomendação da compostagem na destinação final dos resíduos orgânicos, devido a fatores ambientais e sociais em consonância com o princípio do desenvolvimento sustentável, do que pela disposição destes resíduos em aterro sanitário.

Um grande avanço na questão da reciclagem de nutrientes dos resíduos orgânicos para mitigar impactos ambientais ocorreu com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), que estabelece princípios, objetivos e diretrizes, que além de tratar da questão da logística reversa, responsabilidade compartilhada

pelo ciclo de vida dos produtos, indica a implantação de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) direciona a gestão de resíduos sólidos por meio dos seus princípios:

- a) a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;
- b) o desenvolvimento sustentável;
- c) o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania.

A nível estadual as Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos devem estar em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos na elaboração da gestão dos resíduos sólidos, de forma a refletir a realidade sobre a temática e respeitando a diversidade existente em cada município. Na tabela 9, destaca-se os estados divididos por regiões e o nível de prioridade na abordagem da compostagem, quando o termo compostagem é abordado com destaque no texto dos planos de resíduos sólidos urbanos (prioridade), de forma implícita quando o texto leva ao entendimento da necessidade de compostagem como um dos recursos para destinação, e de forma explícita quando o texto cita a necessidade do processo de compostagem dentro da gestão dos resíduos.

Tabela 9 - Presença de Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos (PERS) e a forma de abordar a compostagem por estados brasileiros, nas regiões Sul e Sudeste

Estados	Existência de Política Estadual de Resíduos Sólidos	Trata da compostagem (Implícito)	Trata da compostagem (Explícito)	Trata da compostagem (Prioridade)
SUL				
RS	Lei nº 9.921 de 27.07.1993	Sim	Não	Sim
SC	Lei nº 13.557 de 17.11.2005	Sim	Sim	Não
PR	Lei nº 12.493 de 22.01.1999	Sim	Não	Sim
SUDESTE				
SP	Lei nº 12.300 de 16.03.2006	Sim	Sim	Não
RJ	Lei nº 4191 de 30.09.2003	Sim	Não	Não
ES	Lei nº 9.264 de 16.07.2009	Sim	Sim	Não
MG	Lei nº 18.031 de 12.01.2009	Sim	Sim	Não

Fonte: Adaptado de Pires e Ferrão (2017).

Dos estados das regiões sul e sudeste descritos na tabela, 100 % tratam da compostagem de forma implícita, 43 % abordam a compostagem de forma explícita ao utilizar o termo “compostagem” diretamente e somente 28,5 % ordenam as prioridades de alternativas para a destinação dos resíduos, colocando a compostagem como primeira opção para a destinação dos resíduos orgânicos, o que vem de encontro a necessidade de difusão e implantação de processos de compostagem.

O Plano de Gerenciamento de Resíduos contemplado pela Política Nacional e Estadual de Resíduos Sólidos, nos últimos anos, tornou-se uma das ferramentas de fiscalização federal nos municípios, inclusive na questão de liberação de recursos financeiros, pois o plano está vinculado com o Programa de Qualidade Ambiental “Município Verde Azul”, que destina recurso financeiro pela pontuação em atividades e projetos dos quais os municípios promovam a qualidade ambiental, inclusive com a recomendação de unidades de compostagem nos municípios.

Um dos fatores que limita a implantação de compostagem se deve ao fato da falta de padronização dos compostos e do processo. No Brasil, dispõe-se a nível federal da Lei Federal nº 6.894, de 16 de dezembro 1980 que define fertilizante como aquele de origem mineral ou orgânica e produzido de maneira natural ou sintética, abordando, dessa forma, a compostagem como o processo possível de gerar o fertilizante. E a nível agrônômico o Decreto Federal nº 4.954, de 14 de

janeiro de 2004 aprova o regulamento da lei supracitada, detalha mais os diferentes tipos de fertilizantes:

- a) Distingue o fertilizante mineral do orgânico;
- b) Obtenção por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, e suas matérias primas (origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais);
- c) Distingue os fertilizantes orgânicos em simples, misto, composto e organomineral;

Mais atual, a Instrução Normativa SDA nº 25 (2009) aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. (BRASIL, 2009)

Desta forma as disposições legais contribuem para a aplicação destes como insumos agrícolas no mercado e a promoção da reciclagem dos resíduos orgânicos das mais diversas origens desde que não haja prejuízo em relação aos aspectos agrônômicos e de saúde pública. Indiretamente aborda-se a questão da compostagem no âmbito de regulação e padronização para comercialização e uso dos adubos orgânicos garantindo a qualidade do produto.

4.6.1 Fatores que influenciam no processo de compostagem

Segundo Oliveira, Sartori e Garcez (2008), existem alguns fatores que influenciam no processo de compostagem, como, temperatura, pH, umidade e aeração, descritos logo abaixo. Estes fatores devem estar em equilíbrio para a obtenção do composto final.

A temperatura é um dos fatores mais indicativos da eficiência do processo de compostagem, sendo fundamental monitorar esse fator durante a fase inicial da compostagem. A primeira fase, denominada mesófila, caracteriza-se pela elevação da temperatura e o desprendimento de gases, devendo-se, nesta fase, controlar a temperatura na faixa de 45 a 65°C. Os organismos patogênicos presentes no composto são eliminados pelo calor neste processo. A segunda fase, termófila, que perdura por 30 a 60 dias, caracteriza-se pela redução da temperatura para valores abaixo de 45°C, acontecendo à maturação e a cura do composto. O composto

orgânico curado apresenta cheiro de terra e coloração marrom (KIEHL, 1985; INÁCIO; MILLER, 2009).

O potencial hidrogeniônico (pH) dos resíduos orgânicos no início do processo, geralmente, é levemente ácido, com valores entre 5,0 e 6,0. Porém em poucos dias, ocorre a recuperação rápida, atingindo valor em torno de 7,0, que permanece até o final do processo. Com isso o composto orgânico é utilizado na correção dos solos ácidos (KIEHL, 1985; PEIXE; HACK, 2014).

A umidade é indispensável para a atividade metabólica e fisiológica dos microrganismos, a faixa ideal para o processo varia entre 40 e 60%. Com umidade inferior a 40%, a atividade microbiana se reduz até à estagnação da biodegradação. De outra forma, umidades acima de 60% fazem com que o excesso de água ocupe os espaços vazios (porosidade) do material, provocando situações de anaerobiose, onde a decomposição, além de ser mais lenta, exala odores desagradáveis, podendo atrair moscas. Em termos práticos, a umidade ideal é quando, ao pegar o material do composto, sente-se que o mesmo está úmido, mas sem escorrer água quando comprimido (EMBRAPA, 2009; ANTUNES, 2009).

Condições de oxigenação, ou seja, aeração compõe um dos mais relevantes fatores considerado no processo de decomposição da matéria orgânica, sendo classificado como o principal mecanismo capaz de evitar altos índices de temperatura durante a biodegradação, de aumentar a velocidade de oxidação, e de diminuir a liberação de odores e reduzir o excesso de umidade de um material em decomposição (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008; EMBRAPA, 2009).

A relação carbono/ nitrogênio (C/N), consiste na proporção entre esses dois elementos fundamentais no processo de compostagem. Os microrganismos responsáveis pela degradação utilizam o carbono e nitrogênio para se desenvolverem por isso a concentração desses elementos é essencial para o processo ocorrer (KIEHL, 1985; EMBRAPA, 2009; ANTUNES, 2009).

Os materiais podem ser divididos em duas classes: os carbonáceos, ricos em carbono como cascas de árvores, aparas de madeiras, fibras, bagaço de cana de açúcar, palhas, fenos, papel, resíduos de jardinagens. Os materiais nitrogenados, ricos em proteínas, ou em nitrogênio em outras formas incluem as folhas verdes, urina, resíduos de hortas, excrementos de animais, sangue, ou águas residuárias com esses resíduos (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

A relação C/N de materiais com potencial para compostagem apresenta-se na Tabela 10.

Tabela 10 - Composição de alguns materiais para composto (matéria seca -110°C)

Material	Matéria Orgânica (g/kg)	C/N
Cascas de arroz	850	63/1
Borra de café	867,9	25/1
Bagaço de laranja	225,1	18/1
Capim colônia	910,3	27/1
Grama batatais	908	36/1
Esterco (aves)	540	10/1
Esterco (bovino)	621,1	18/1
Serrapilheira	306,8	17/1
Serragem de madeira	934,5	864/1
Torta de usina de açúcar	787,8	20/1

Fonte: Adaptado de Kiehl (1985).

A associação de materiais ricos em carbono e nitrogênio é utilizada frequentemente na elaboração das pilhas, pois os materiais de carbono são fonte de energia e matéria orgânica necessária e os de nitrogênio são essenciais para crescimento dos organismos. Um terço do carbono mais o nitrogênio são consumidos para constituição das células microbianas, dois terços do carbono é liberado como CO₂ no processo de obtenção de energia pelos microrganismos.

De forma geral, Kiehl (1985), Oliveira, Sartori e Garcez (2008) ressaltam que o processo de biodegradação ocorrerá mais rapidamente quanto mais baixa for a relação de carbono e nitrogênio. A proporção ideal e recomendada pela literatura é de 30/1 (em peso) de carbono para nitrogênio.

Os compostos nitrogenados são facilmente volatilizados, por isso em processos muito rápidos o nitrogênio pode apresentar perdas significativas, acima de 50%, quando a relação C/N é baixa. Relações muito baixas nos teores de carbono, ficando o nitrogênio em excesso provoca a liberação dele na forma de amônia, o que provoca maus odores.

As proporções de 25/1 e 35/1 são proporções indicadas para que o processo ocorra com qualidade. Relações C/N superiores, irão inibir o crescimento microbiano e desta forma a biodegradação do carbono, que não se degradará totalmente, o que resultará em temperatura menor, aumentando o tempo da compostagem, que será mais lenta.

A relação de três partes de materiais carbonáceos para uma parte de nitrogenados (3:1) tornou-se uma referência e é muito aplicada.

A Granulometria, ou seja, o tamanho, o diâmetro das partículas dos materiais tem grande influência para o sucesso do processo, pois é na superfície das partículas que o processo se inicia com a ação do oxigênio e da água, tornando acessível o substrato para ação enzimática dos microrganismos.

Menor superfície de contato, maior velocidade de reação e compostagem, desde que a aeração seja mantida. As partículas entre 1,3 cm e 7,6 cm apresentam bons resultados no processo. Inferiores a esse valor necessitaria de sistemas de ar forçado (mecânico) e/ou sofreriam compactação (EMBRAPA, 2009).

Os valores superiores podem ser bons para pilhas mais estáticas e sem aeração forçada, porém aumentariam o tempo de compostagem, o que dificulta a operação do espaço, compostagem com grande volume de materiais não podem ocorrer com partículas superiores. (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

A compostagem pode ser natural ou mecânica dependendo o tamanho e o formato das leiras, se estes garantem a aeração apenas por processo de revolvimento ou tamanho das partículas ou disposição das camadas o processo ocorre de forma natural. Pilhas de grande diâmetro e altura devem receber aeração forçada, sistemas de ventilação o que torna o processo mecânico e conseqüentemente aumenta o custo com consumo de energia.

Os materiais podem ser enriquecidos com adição de pó de rocha (hiperfosfatos) ou gesso agrícola na proporção média de 1% massa/massa. A Cal virgem, ou óxido de cálcio hidratado pode ser utilizado sobre as pilhas, para minimizar ocorrências de moscas e vetores. Não é recomendado o uso de calcário devido sua decomposição provocar maior volatilização do nitrogênio. (KIEHL 1985).

4.6.2 Compostagem de Resíduos Urbanos: Podas de Árvores no Município de Votuporanga

A arborização pública é uma grande geradora de resíduos, devido às podas de árvores, jardinagem entre outros. Os resíduos gerados normalmente são levados para aterros, ou empresas, ou autarquias de coleta de diversos resíduos e materiais. Há dificuldades com o grande volume recebido e acumulado.

Com a implantação do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, em conjunto com a Lei Complementar Nº 268, de 09 de setembro de 2014 que dispõe sobre o Plano Diretor de Arborização Urbana de Votuporanga, a quantidade de resíduos oriundos da limpeza urbana aumentou significativamente. (VOTUPORANGA, 2015).

Os resíduos de arborização geram grande volume nos postos de coleta ocasionando problemas de destinação. A Ecotudo, departamento da Autarquia SAEV – Ambiental, é responsável pela coleta, separação e destinação dos resíduos sólidos urbanos da cidade enfrenta dificuldades em destinar corretamente o resíduo de poda, devido ao grande volume recebido e acumulado nas unidades Norte e Sul (SAEV AMBIENTAL, 2015).

Uma possível solução seria utilizar parte deste resíduo para compostagem e posteriormente utilizá-lo para adubação orgânica, como condicionador de solo, pela liberação de nutrientes no solo e alto teor de matéria orgânica.

Estudo realizado por Silva, Oliveira e Trolezi (2015) avaliou a compostagem de resíduos sólidos orgânicos provenientes da poda da arborização urbana do município de Votuporanga, São Paulo, através do método das pilhas com aeração natural.

No experimento utilizaram-se podas de árvores trituradas que foram compostadas in natura, sem adição de outros resíduos e com adição de esterco bovino/suíno para complementação de nitrogênio e microrganismos na proporção de 2:1 (duas partes de esterco para uma parte de podas). Os resultados obtidos foram através da análise da composição físico-química segundo método de análise para substratos Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) centro de referência em análises de solo e compostos.

Os parâmetros analisados foram de macronutrientes, pH, umidade, cinzas, densidade e matéria orgânica para qualificação do composto, conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados Analíticos das Amostras de Podas de Árvore com e sem esterco

Parâmetros	Resultado Podas "In natura"	Resultado Podas + Esterco	Unidade	Técnica Analítica
Nitrogênio Total	1,09	0,55	%	Titulometria
Fosforo Total	0,08	0,8	%	Gravimetria
Umidade (65°C)	27,22	24,9	%	Desidratação
Matéria Orgânica	46,5	32,95	%	Calcinação 550°C
Cinzas	53,5	67,05	%	Calculo
pH	6,8	6,8	-	Potenciometria
Densidade	0,42	0,91	g/cm ³	Picnômetro

Fonte: Adaptado, Silva; Oliveira; Trolezi ,2015.

Os resultados obtidos evidenciaram a possibilidade de se conseguir um adubo verde estabilizado, rico em compostos húmicos e cuja utilização no solo, não oferece riscos ao meio ambiente. As podas constituem material rico em carbono, barato, de grande quantidade para fornecer a demanda por materiais compostáveis, apresentando grande potencial para a compostagem com lemnas que são ricas em nitrogênio.

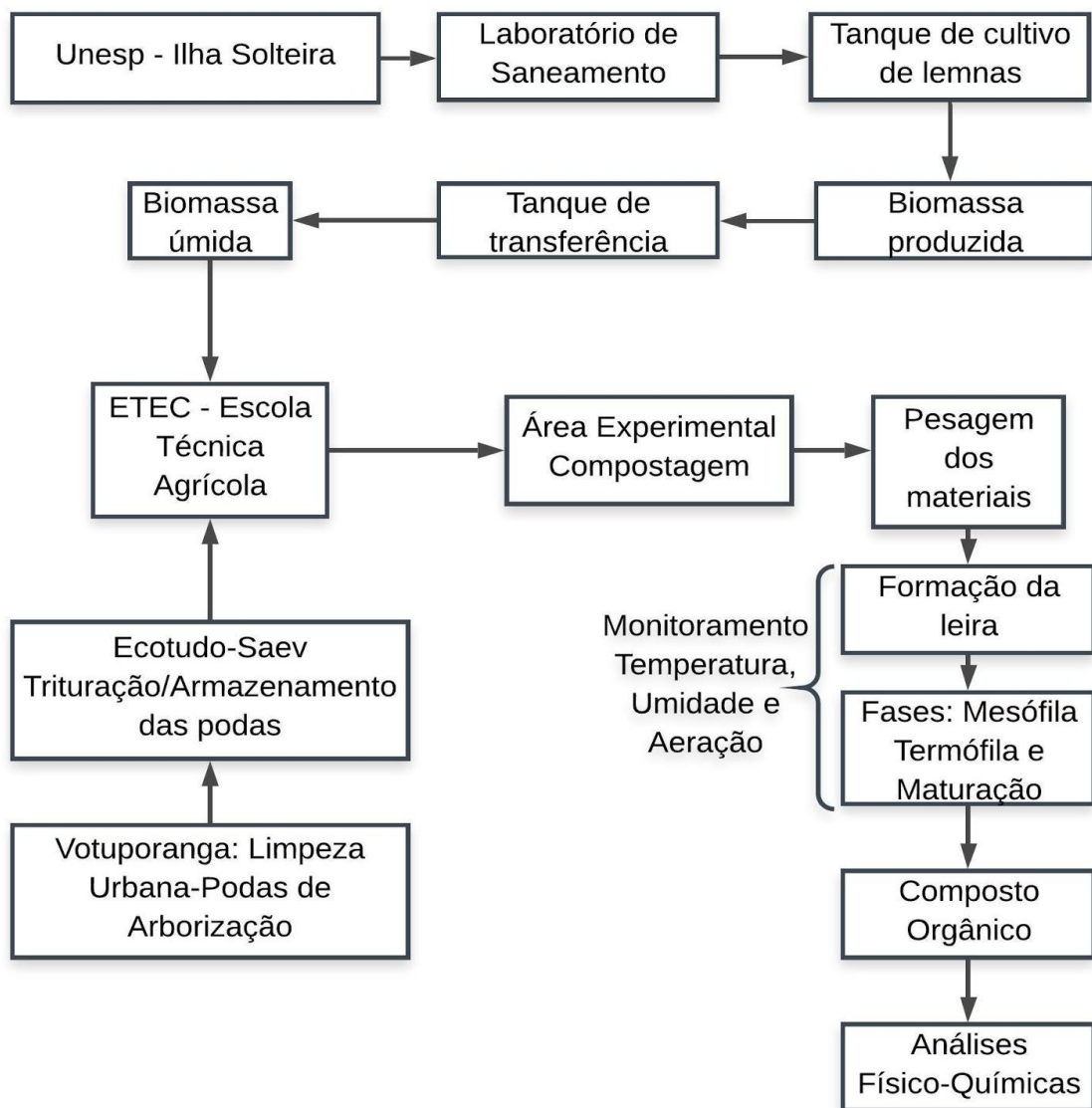
O município de Votuporanga conta com unidades de apoio (ECOTUDO) para recebimento, trituração e armazenamento de podas e possui áreas como Horto Florestal e parceria com entidades públicas como escolas técnicas para desenvolver projetos de compostagem em escalas maiores.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 ÁREA DO ESTUDO

O projeto consiste em duas etapas em cidades diferentes conforme descrição na Figura 17.

Figura 17 - Produção da Biomassa, no Laboratório de Saneamento do Departamento de Engenharia Civil, da UNESP- Ilha Solteira e Compostagem na Escola Técnica “Frei Arnaldo Maria de Itaporanga” – ETEC, Votuporanga



Fonte: Elaborado pelo autor.

Etapa 01 – Aquisição da Biomassa, cidade de Ilha Solteira: A produção de macrófitas foi feita na estação experimental.

Etapa 02 - Compostagem, na cidade de Votuporanga: na Escola Técnica “Frei Arnaldo Maria de Itaporanga” – ETEC;

Etapa 1:

A Primeira Etapa foi realizada no município de Ilha Solteira – SP, localizado na região noroeste do Estado de São Paulo, coordenadas geográficas 20° 25' 24,4" S e 51° 21' 13,1" W, altitude de 337m. O município possui uma população de 25.064 habitantes, sendo que 94 % de sua população está na área urbana, com 7.220 domicílios ligados à rede geral de esgoto, correspondendo a 94,2% de esgotamento sanitário adequado (coleta e tratamento de esgoto atendendo padrões de lançamento nos corpos receptores segundo legislação ambiental) conforme censo do IBGE de 2010 (IBGE, 2017).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região de Ilha Solteira é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A temperatura média anual de 24,7°C, precipitação média anual de 1.259mm (Tabela 12) segundo Hernandez (2007).

Tabela 12 - Médias mensais e totais no período entre 1967 e 31 de julho de 2007 em Ilha Solteira - SP

MESES	TEMPERATURA (°C)			RADIÇÃO GLOBAL MJ/m².dia	INSOLAÇÃO** horas/dia	PRECIPITAÇÃO (mm)	
	MÉDIA	MÍNIMA	MÁXIMA			MÉDIA	MÁXIMA
Janeiro	26,4	23,1	30,0	19,7	6,8	225	540
Fevereiro	26,7	23,2	30,3	21,6	7,0	172	344
Março	26,6	23,1	30,2	20,2	7,3	136	336
Abril	25,1	21,5	28,9	18,8	8,1	80	91
Mai	22,5	18,6	26,4	15,5	7,8	66	138
Junho	21,6	17,4	25,8	14,1	7,6	31	56
Julho	21,5	16,7	26,1	15,4	8,2	20	44
Agosto	23,2	18,3	28,0	17,8	7,9	25	103
Setembro	24,3	19,7	28,8	18,8	6,7	67	138
Outubro	25,8	21,7	30,4	20,8	7,5	110	159
Novembro	26,1	21,9	29,4	22,2	7,6	141	199
Dezembro	26,4	22,3	29,2	21,8	6,3	187	326
Média ou Totais	24,7	20,6	28,6	18,6	7,4	1259	-

Fonte: Hernandez (2007).

Em Ilha Solteira predomina meses com calor. Em outubro de 2017, as temperaturas chegaram a 40,3°C, temperatura registrada no dia 13 de outubro, pela Estação Meteorológica do Departamento de Hidráulica e Irrigação - UNESP, Câmpus de Ilha Solteira. As temperaturas nos meses quentes (setembro a março), em média, são de 26,9°C, porém as temperaturas variam de 22,3°C para as temperaturas mínimas e 33,4°C para as máximas.

As temperaturas menores (atípicas) ocorreram em dias mais frios, em 10 de junho de 2017, os termômetros registraram 8,3°C. Os meses com clima mais ameno também é o período de seca.

A temperatura média registrada, do início do ano de 2019, é de 28,9 °C, com temperaturas máximas na faixa de 36,7°C. (CANAL CLIMA UNESP ILHA SOLTEIRA, 2019)

O tratamento do esgoto sanitário do município é realizado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), composta por duas lagoas facultativas, com formato retangular, 450m de comprimento e 106m de largura. São operadas em paralelo com interligações entre si em três pontos, conforme Figura 18 e 19. A ETE pode receber uma vazão de até 66L/s, totalizando um volume diário de aproximadamente 5.700m³ (MATSUMOTO; SCHINCARIOL, 1998 *apud* SMANIOTTO, 2016)

Figura 18 - Vista aérea da Estação de tratamento de Esgoto de Ilha Solteira-SP



Fonte: Google Earth (20°25'10,09" S e 51°21'18,53"), adaptado de Anjos (2017).

Mediante os dados climáticos, observa-se que o município de Ilha Solteira oferece clima para o desenvolvimento de lemnas, em especial da espécie *Landoltia punctata*, pois altas temperaturas favorecem a produtividade da biomassa, conforme

aponta os estudos já realizados para a espécie: 5,91 g/m²/dia para temperaturas entre 22 e 26°C (MOHEDANO, 2010).

Em relação a temperaturas altas, na faixa de 31 °C, a produção aumenta significativamente em função da temperatura para 66,4 g/m²/dia de massa fresca (SMANIOTTO, 2016).

Etapa 2:

A segunda fase da pesquisa ocorreu no município de Votuporanga:

- a) Ecotudo Norte, Departamento da Autarquia SAEV Ambiental, empresa que realiza o tratamento de água, saneamento e manejo de resíduos além de outros projetos ambientais no Município.
- c) Escola Técnica – ETEC “Frei Arnaldo Maria de Itaporanga”, para produção do composto orgânico.

O município de Votuporanga, está localizado na região noroeste do Estado de São Paulo, próximo à cidade de São José do Rio Preto (cerca de 90km) e distante aproximadamente 167km do Município de Ilha Solteira. O município pertence à bacia do Turvo Grande, e é banhado pelo Rio São José dos Dourados e pelos Córregos do Marinheiro, Boa Vista, Paineiras e Queixada (VOTUPORANGA, 2013).

Segundo Köppen e Geiger, a classificação do clima é Aw, subtropical úmido com temperatura média anual de 29° C. Temperaturas máximas de 37°C a 43°C nos meses de outubro a janeiro, e mínimas de 15°C a 7°C nos meses de abril a julho (CIAGRO, 2017).

O município possui extensão territorial de 421 km², com 84.692 habitantes, sendo que 97% estão concentrados na área urbana. Dos 28.368 domicílios, 28.047 estão ligados à rede coletora de esgotos do município. O sistema de tratamento de esgoto é feito por sistema de lagoas anaeróbias e facultativa (IBGE, 2017).

Além do serviço de tratamento de água e esgoto, a Saev Ambiental é responsável pelo gerenciamento e direcionamento dos resíduos sólidos gerados no município.

De acordo com o Diagnóstico Técnico, do Plano Local de Habitação de Interesse Social de Votuporanga (2010) da Prefeitura de Votuporanga, dentro da Política Municipal de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, a SAEV Ambiental desenvolve papel fundamental pelo Ecotudo, que é um Ponto de Entrega Voluntária

de Materiais Inservíveis de Origem Domiciliar. Começou com uma unidade na zona sul da cidade e hoje ampliou o recebimento com mais uma unidade na zona norte e oeste.

Ecotudo Norte, localizado na Avenida Sete, nº 2440, no Distrito Industrial I, Bairro Pozzobon, Votuporanga, foi instalado em área cercada e de fácil acesso. Constitui – se de um galpão aberto e coberto, ocupando uma área de 1.500 m², com oito caçambas para recebimento de podas, madeira, entulho e ferro; três recipientes para papel, plásticos e outros recicláveis; além de baias para espuma, tecidos, roupas, calçados, lixo orgânico não recolhido pela coleta regular, móveis, gesso, vidro, lâmpadas fluorescentes, lixo eletrônico, óleo de cozinha e animais mortos. O atendimento é realizado 24 horas por dia e todos os dias da semana, sendo que dois funcionários orientam o descarte correto (VOTUPORANGA, 2010).

No município de Votuporanga é gerado mensalmente um considerável volume de poda (galhos, folhas e aparas de vegetais), principalmente advindos da manutenção das árvores que compõem a arborização urbana, ou seja, árvores de calçadas, praças e outros espaços públicos (Figura 19). Em 2012, foram gerados, cerca de 280 toneladas, levando em consideração a arborização das vias, quintais, terrenos particulares e jardins.

Figura 19 - Resíduos de arborização da limpeza urbana do Município de Votuporanga – Ecotudo Norte



Fonte: Próprio autor.

Esses resíduos foram utilizados na compostagem como fonte de carbono. As amostras destes materiais foram obtidas na unidade Ecotudo – Norte, onde atualmente os resíduos de podas da arborização são armazenados.

A Autarquia mantém um contrato com empresa terceirizada para a trituração desses resíduos junto com outros resíduos de madeira, como palletes, compensados, entre outros.

Os resíduos são triturados e armazenados em pilhas diferentes (Figura 20 e 21).

Figura 20 - Recebimento, trituração e armazenamento de resíduos de arborização



Fonte: Próprio autor.

Figura 21 - Recebimento, trituração e armazenamento de outros resíduos de madeira



Fonte: Próprio autor.

A empresa vende o material na proporção de 20% de resíduos de podas e 80% de resíduos de madeira. Mesmo com essa destinação, a quantidade de podas armazenadas é grande.

Essa alternativa de incorporação de 20% em resíduos de madeira pode ser rejeitada, pois os resíduos de podas de arborização não possuem alto poder calorífico para queimar em fornos de olaria. Dessa maneira, a oferta desses materiais apresenta grande potencial para compostagem, uma vez que a limpeza e podas urbanas são periódicas.

A compostagem dos resíduos de podas de árvores e lenhas foi feita (processo de compostagem – revolvimento) no espaço da Escola Técnica – ETEC “Frei Arnaldo Maria de Itaporanga”, na Unidade Rural, localizada na Rodovia Péricles Belini, Km 121, Zona Rural, com 45 anos de fundação.

A escola é tradicional no ensino técnico nas áreas de Administração e Informática, na Unidade Urbana, e nos cursos de Agropecuária, Agrimensura, Meio Ambiente, entre outros. A escola possui cooperativa agrícola e diversos projetos como preservação de Áreas de Proteção Permanente, Transferência de Embriões Bovinos, Pomar diversificado (parceria com Universidade local). A escola promove também Dia de Campo e Feiras de Conhecimento, eventos para propagação de conteúdo técnico e divulgação de parcerias com as empresas da área e cursos específicos (Figura 22).

Figura 22 - Escola Técnica – ETEC “Frei Arnaldo Maria de Itaporanga”, na Unidade Rural no Município de Votuporanga



Fonte: ETEC “Frei Arnaldo Maria de Itaporanga (2016).

5.2 FASE EXPERIMENTAL

- a) Aquisição da biomassa das macrófitas da espécie *Landoltia punctata*, realizada na Estação Experimental.
- b) Coleta de resíduos de arborização , Ecotudo Norte – SAEV Ambiental , município de Votuporanga
- c) Processo de Compostagem com os resíduos das podas de árvores e a biomassa de macrófitas da espécie *Landoltia Punctata* na Unidade Rural da Escola Técnica ETEC “Frei Arnaldo Maria de Itaporanga”, município de Votuporanga.

5.2.1 Aquisição da biomassa de macrófitas da espécie *Landoltia Punctata*

O excesso de lenhas produzidas nos tanques da estação experimental foi transferido para dois tanques com água limpa para armazenamento. Este material foi usado para compostagem (Figura 23).

- O tanque foi coberto por tela sintética para evitar presença de moscas e vetores.

Figura 23 - Tanques de transferência de lenhas para compostagem



Fonte: Próprio autor.

- a) A coleta foi realizada no dia 08 de dezembro de 2017, utilizando o quadro de PVC com área de 160 cm² (Figura 24).

Figura 24 - Coleta de biomassa de lemnas no tanque de transferência



Fonte: Próprio autor.

- a) As lemnas foram acondicionadas em sacos plásticos e transportada de forma refrigerada até o município de Votuporanga;
- b) A massa úmida total de lemnas coletadas foi de 5.542g, que foram encaminhadas para a compostagem;
- c) A amostra de lemnas foi depositada sobre caixa plástica limpa, com orifícios para o escoamento da água em excesso;
- d) Cobriu-se com tela sintética para evitar o contato de insetos e mosquitos e aguardou-se prazo de 4 horas para a remoção do excesso de água;
- e) O peso obtido após esta etapa foi de 2.050g de lemnas, úmidas, mas não encharcadas;
- f) O material foi reservado, devidamente protegido para não se deteriorar.

5.2.2 Obtenção da massa de resíduos de podas de arborização do Município de Votuporanga

Para a compostagem é necessário adicionar materiais ricos em carbono (relação C/N de no mínimo 3:1), uma vez que as lemnas apresentam alto teor de nitrogênio. Os materiais para a compostagem são de demanda constante, o que significa que na escolha desses materiais deve-se considerar a disponibilidade destes em quantidade e períodos do ano.

Considerando estes fatores, optou-se pelos resíduos de arborização oriunda da limpeza urbana, grande parte das podas de árvores da espécie *Licania tomentosa* (Oiti). Esses resíduos são gerados em grande quantidade e com frequência no município de Votuporanga.

Grandes volumes desses resíduos podem gerar novos problemas ambientais como propagação de vetores, maus odores, além de demandar grandes espaços para seu armazenamento, o que torna inviável sua disposição em aterros sanitários.

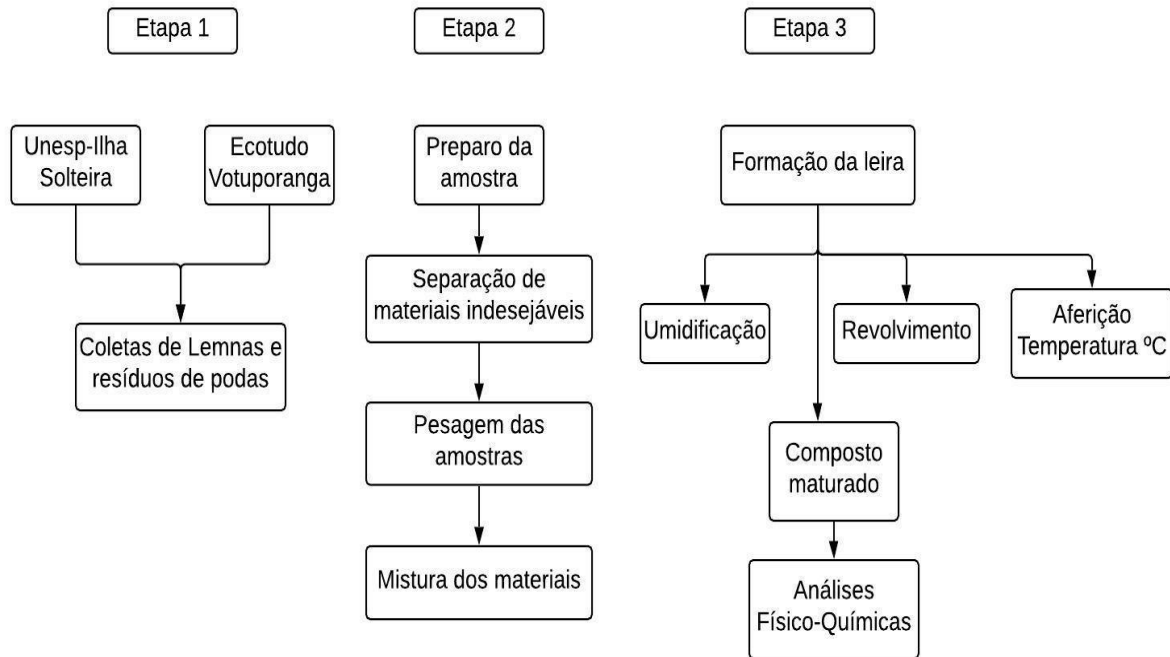
A Ecotudo Norte disponibilizou os resíduos de podas de arborização. No dia 14 de dezembro de 2017, coletou-se uma amostra composta de resíduos de podas de árvores triturados de forma homogênea da seguinte forma:

- a) Várias subamostras foram coletadas em diversas partes da pilha de resíduos triturados e acondicionadas em saco plástico, homogeneizando as coletas. A amostra composta totalizou-se em 40 kg de resíduos. O material foi acondicionado e transportado em sacos plásticos limpos e secos.

5.2.3 Compostagem dos resíduos de podas de arborização e biomassa de macrófitas

As lençóis e os resíduos coletados serviram como materiais compostáveis para a produção de composto orgânico por compostagem utilizando o método de aeração natural, realizada na Escola Técnica ETEC “Frei Arnaldo Maria de Itaporanga” no município de Votuporanga (Etapa 01, Figura 25).

Figura 25 - Etapas da metodologia



Fonte: Próprio autor.

Para garantir a relação Carbono/ Nitrogênio necessária para a compostagem na proporção de 3:1 (três partes de carbono para uma parte de nitrogênio) como indica a literatura, procedeu-se da seguinte forma:

Do material coletado na Ecotudo (40kg):

- a) Homogeneizou os resíduos das podas de árvores;
- b) Separou-se materiais indesejáveis como pedras, madeiras de construção, plásticos entre outros.
- c) Pesou-se 6.150g de podas (para relação C/N 3:1; 6.150g de podas e 2050g de lemnas úmidas);
- d) Misturou-se com o material reservado de lemnas (Etapa 02, Figura 25).

Desta forma, no dia 15 de dezembro de 2017, iniciou-se o processo de compostagem seguindo o método de aeração natural, onde os resíduos são dispostos em leiras, com reviras periódicas (para ocorrer a convecção do ar na massa do composto), acrescida de umidificação até o término do processo. Este método também é conhecido como método das leiras revolvidas (Windrow) (PEIXE; HACK, 2014).

- a) As massas de *Landoltia punctata* e podas de árvores foram misturadas na proporção de 3:1, três partes de podas (6.150g) e uma parte de lemnas (amostra de 2.050g e homogeneizadas (Figura 26).

Figura 26 - Amostra da massa de Lemnas incorporada à compostagem



Fonte: Próprio autor.

Optou-se em misturar e não distribuir em pilhas devido a massa pequena das lemnas.

- a) A mistura foi disposta no chão, em solo exposto, com declive e canaletas para coleta de possível chorume e proteção em caso de chuvas (Figuras 27 e 28).

Figura 27 - Preparo das canaletas para deposição da mistura



Fonte: Próprio autor.

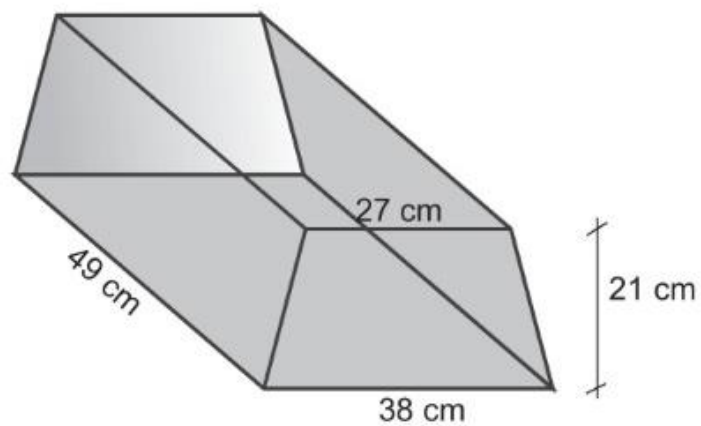
Figura 28 - Mistura de podas de árvores e lenhas disposta no solo preparado



Fonte: Próprio autor.

- a) A mistura foi disposta em pilha no formato trapezoidal com 21 cm de altura, 27 cm de base menor, 38 cm de base maior, 49 cm de comprimento (Figura 29). O formato trapezoidal favorece a umidificação e aeração.

Figura 29 - Elaboração da pilha na forma trapezoidal

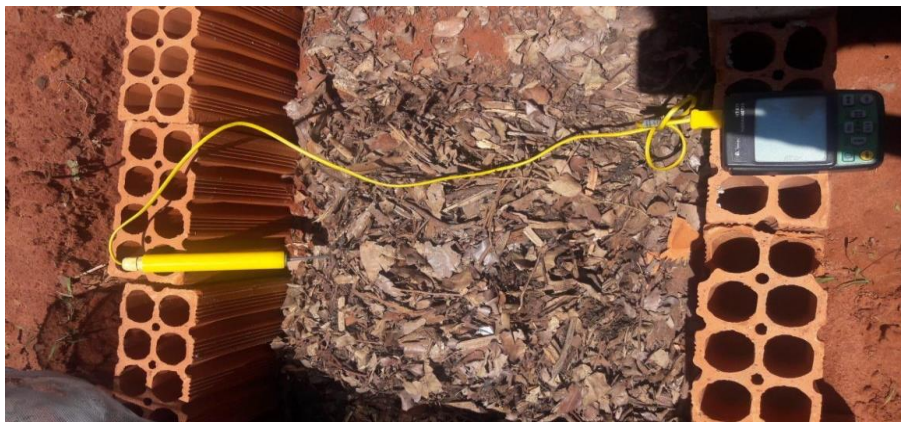


Fonte: Próprio autor.

O monitoramento da temperatura, da umidade e da aeração foi realizado periodicamente conforme Manual Compostagem- Embrapa, Circular Técnica 59, 2009, (Etapa 03, Figura 25).

- a) A temperatura do composto foi aferida com termômetro Digital Minipa, modelo MT 525 A aferição foi realizada no topo, no meio e na base da pilha e anotou-se os valores, com temperatura média de 29,3°C (Figura 30).

Figura 30 - Aferição da Temperatura na Pilha de Lemnas e Podas de Árvores para compostagem



Fonte: Próprio autor.

- a) Após umidificou-se a mistura, com água e realizou-se o teste sensorial para verificar a umidade na mistura;
- b) Mistura foi coberta com tela sintética para proteção de insetos e mosquitos;
- c) Colocou-se proteção para o controle da umidade da mistura, para que as chuvas frequentes deste período não interferissem na umidade da mistura, aumentando-a excessivamente.

No quarto dia (19/12/2017) a temperatura foi aferida com termômetro digital no meio da pilha, o valor registrado foi de 44,7°C.

- a) O material foi umedecido e revolvido e novamente umedecido;
- b) Realizou-se teste sensorial para verificar a umidade método já descrito anteriormente;
- c) Colocou-se a proteção contra insetos e vetores e para chuvas;
- d) O material foi revolvido no décimo dia de mistura repetindo o mesmo procedimento de aferição da temperatura, umidade e revira da pilha.

e) Este procedimento foi repetido uma ou duas vezes por semana sempre observando temperatura, estado de umidade da mistura. Podendo estender por um intervalo de 5 a 15 dias dependendo das características do processo.

O processo de compostagem realizou-se de 19 /12/17 a 28/03/2018.

Os resultados dos testes e aferições foram anotados em planilha, conforme modelo descrito na Tabela 13 e 14.

Tabela 13 - Modelo de Ficha de Acompanhamento da Compostagem

FICHA DE ACOMPANHAMENTO- COMPOSTAGEM													
DATA DE MONTAGEM DA LEIRA				Quantidade de Materiais:									
				LEMNAS:					Podas:				
Data	Hora da leitura	Chuva		Temp. Ambiente (°C)	Temperatura da Sonda (°C)			Leira Revirada		Umidade		Rega	
		Sim	Não		Topo	Meio	Base	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
Observações:													

Fonte: Próprio autor.

a) Após período de 99 dias ocorreu a estabilização do composto de lemnas com resíduos (Figura 31). O material foi homogeneizado e passou por coleta para caracterização segundo as normas descritas, metodologia e normas MAPA com os ensaios realizados pelo Instituto Agrônomo de Campinas – IAC.

Figura 31 - Composto após a estabilização



Fonte: Próprio autor.

Para a extração da alíquota para compor a amostra para análise de caracterização:

- a) Separou-se os resíduos que não se degradaram como pedaços de troncos e galhos mais espessos, dividiu-se em duas partes e uma parte foi peneirada;
- b) Pesou-se equivalente a 830 g para o composto peneirado e 980g para o composto não peneirado para envio ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC) para análises físico-químicas;
- c) Os resíduos retidos na peneira foram separados e armazenados; após a obtenção da alíquota para análise microbiológica, o restante do material peneirado foi acondicionado em saco plástico limpo e seco e identificado e enviado ao Instituto Agronômico de Campinas – IAC, duas amostras foram encaminhadas, uma amostra integral e outra de material peneirado.

As alíquotas amostradas passaram por análises físico-químicas. Os parâmetros analisados atendem a norma do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, de acordo com os métodos oficiais estão descritos na Instrução Normativa-SDA nº 17 de 21 de maio de 2007:

- a) Densidade (alta compactação);
- b) Capacidade de retenção de água (CRA 10);
- c) Capacidade de troca de cátions (CTC);

- d) pH e condutividade elétrica (método 1:5);
- e) Nitrogênio total pelo Método de Kjeldahl;
- f) Carbono orgânico por Dicromatometria;
- g) Relação C/N por cálculo;
- h) Umidade a 65°C por perda de massa;
- i) pH (em CaCl₂) por potenciometria.

Os parâmetros de fósforo; potássio; cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco pela metodologia EPA3051/6010c, EPA 3051 and 6010 Methods IN: SW-846 On line, Test Methods For Evaluating Solid Waste Physical/Chemical Methods.

Os ensaios realizados no Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, no Laboratório de Análise Química de Fertilizantes e Resíduos. Os resultados obtidos estão descritos nas Tabelas 14,15, 16, nos resultados.

Novo processo de compostagem, com a metodologia descrita, sistema de Windrow, foi realizado no período de 10/10/18 a 30/03/19, com novos materiais compostáveis.

Quatro novas amostras foram preparadas utilizando podas de arborização urbana, serragem de madeira, esterco bovino e apenas lemnas secas, como resíduos. As amostras foram denominadas de Lemnas + Podas (LP), Lemnas Esterco bovino +Podas (LEP), Lemnas + Pó de Serra (LS), e Lemnas Puras (LM).

Duas amostras foram preparadas com podas de arborização urbana, uma com 1.545g de lemnas e 4.635g, proporção de 3:1 de carbono e nitrogênio. A segunda amostra com 1.305g de lemnas, 1.305g de esterco bovino e 3.915g de podas de arborização, com uma proporção de 3:2 de carbono para nitrogênio.

Na terceira amostra utilizou-se resíduos de madeira, pó de serra, na proporção de 3:1 de carbono para nitrogênio, com 1.900g de lemnas e 5.700g de serragem.

Para a quarta amostra, utilizou-se somente as lemnas secas, na quantidade de 260g, sem a adição de nenhum outro resíduo, para observação da decomposição das lemnas.

As amostras foram dispostas em leiras trapezoidais, com volumes semelhantes, seguindo o mesmo processo descrito na primeira compostagem (19 /12/17 a 28/03/2018), exceto a leira de lemna pura com menor volume, com 15 cm de altura, 19 cm de base menor, 22 cm de base maior, 30 cm de comprimento.

Durante o processo foram realizadas as aferições de temperatura e determinação de umidade (65°C por perda de massa – SDA 17/2007, MAPA), conforme as Figuras 33, 34 e 35, nos resultados.

Após período de maturação, separou-se os materiais que não sofreram decomposição e realizou-se o peneiramento do composto produzido. Obteve-se alíquotas das amostras (870g de LP; 893g de LEP; 957g de LS; e 213 g LM), que foram submetidas aos ensaios realizados pelo Instituto Agronômico de Campinas – IAC para caracterização segundo a Instrução Normativa-SDA nº 17 de 21 de maio de 2007 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Os resultados obtidos estão descritos nas Tabelas 19,20, 21 e 22, nos resultados.

5.2.3.1 Metodologia de análises microbiológica para determinação de Coliformes Totais e Termotolerantes

O material peneirado dos compostos produzidos no primeiro processo (19 /12/17 a 28/03/2018) e no segundo processo (10/10/18 a 30/03/19) sofreram quarteamento (técnica de divisão de amostras):

- a) Misturou-se a amostra, dividiu-se em quatro partes iguais;
- b) Separou-se uma parte, e com esta parte separada se faz nova divisão sucessivamente até obtenção de peso necessário, aproximadamente 100g;
- c) A amostra foi acondicionada em frasco estéril e armazenada longe do calor.

Analizou-se por técnica de tubos múltiplos NMP - tubos múltiplos, pela metodologia da Norma Técnica - CETESB, Coliformes Termotolerantes: Determinação em amostras ambientais pela técnica de tubos múltiplos com meio A1 - método de ensaio, L5. 406, 2007. Esta metodologia se aplica para a determinação do número mais provável de Coliformes Termotolerantes em amostras de águas brutas, marinhas, residuárias, bem como amostras de resíduos sólidos.

Adaptou-se à esta metodologia a substituição dos meios de culturas pelo uso do meio de cultura de teste rápido, com substrato enzimático fluorogênico e cromogênico, este teste é aprovado pela States Environmental Protection Agency (USEPA), certificado por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005), e aceito pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA).

O meio utilizado no teste foi o Colitest, fabricante LKP Diagnósticos, lote L:225/18, na quantidade de 9 sachês contém dois substratos para identificar as enzimas: o cromogênico orto-nitrofenil- β -D-galactopiranosídeo (ONGP) e fluorogênico 4-metilumbeliferil- β -D-glucoronídeo (MUG), que detectam as bactérias do grupo coliforme total e *Escherichia coli*.

Os resultados dos Tubos Múltiplos são expressos após leitura em tabelas específicas para a determinação numérica. Os resultados do primeiro processo de compostagem (19 /12/17 a 28/03/2018), e os resultados do segundo processo (10/10 a 30/03/19) estão descritos na Tabela 17.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 ANÁLISE DO PROCESSO DA COMPOSTAGEM E DA COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO COMPOSTO ORGÂNICO PRODUZIDO MIMICROBIOLOGICAMENTE

Desde o início do processo de compostagem as variáveis de temperatura, umidade e aeração foram controladas e registradas conforme Tabela 18. A cada dois dias foi realizada a análise, com registro apenas nos dias com alterações nos parâmetros.

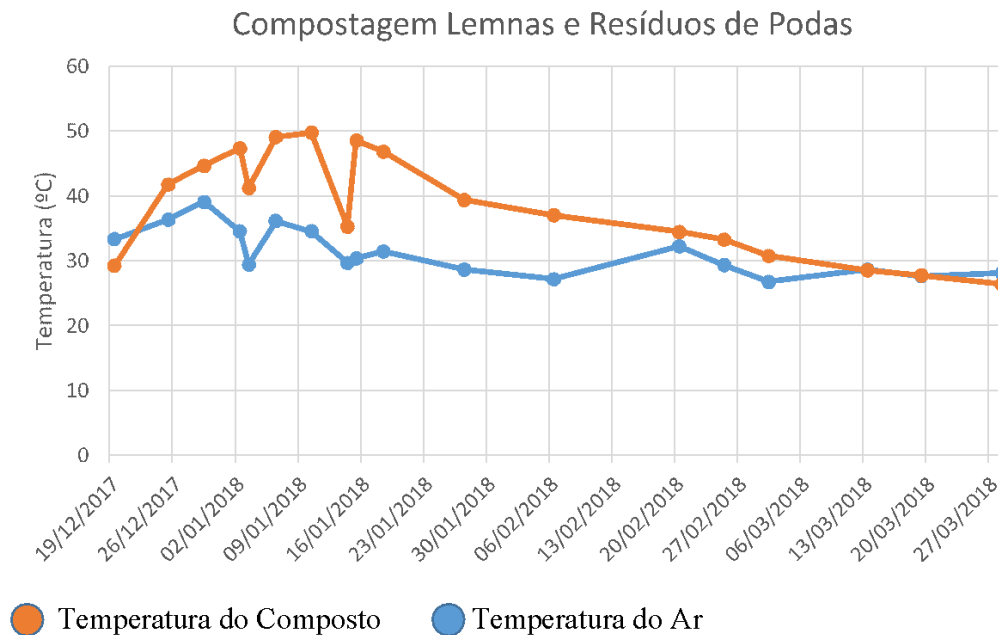
Tabela 14 - Ficha de Acompanhamento da Compostagem

FICHA DE ACOMPANHAMENTO- COMPOSTAGEM													
DATA DE MONTAGEM DA LEIRA 18/12/2017				Quantidade de Materiais: LEMNAS: 2050g Podas: 6.150g									
Data	Hora da leitura	Chuva		Temp. Ambiente (°C)	Temperatura da Sonda (°C)			Leira Revirada		Umidade		Rega	
		Sim	Não		Topo	Meio	Base	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
19/12	16h	X		33,4	29,2	29,3	29,3	X			X	X	
25/12	17h	X		36,4	41,5	41,8	41,8	X		X		X	
29/12	14.30h	X		39,1	44,6	44,7	44,7	X		X		X	
02/01	17 h		X	34,6	47,1	47,4	46,8	X		X		X	
06/01	16.30h	X		36,2	49,2	49,1	49,1	X		X		X	
10/01	10h		X	34,6	49,6	49,8	49,8	X		X		X	
15/01	17h		X	30,4	47,1	48,6	47,9	X			X	X	
18/01	10h	X		31,5	46,2	46,9	46,1	X		X			X
23/01	12:30h		X	29,5	41,1	41,3	40,7	X		X		X	
27/01	17h		X	28,7	38,7	39,4	38,4	X		X		X	
06/02	17h		X	27,2	36,8	37,1	36,3	X		X			X
14/02	16h	X		29,7	35,1	35,3	34,7	X		X		X	
20/02	12h		X	32,3	35,0	34,5	33,8	X		X		X	
25/02	16h		X	29,4	33,5	33,3	32,1	X			X	X	
02/03	17h	X		26,8	31,2	30,8	30,3	X		X		X	
13/03	12h		X	28,7	29,1	28,6	28,4	X		X		X	
19/03	16h		X	27,7	28,2	27,8	27,9	X				X	
28/03	18h		X	28,2	27,6	26,4	26,1	X		X			X

Fonte: Elaborada pelo autor.

Durante o processo de compostagem ocorreu aumento da temperatura em função dos dias (Figura 32).

Figura 32 - Variação da temperatura do ar e do composto em função dos dias



Fonte: Elaborado pelo autor.

O aumento da temperatura em função dos dias (19/12/17 a 09/01/18), com as temperaturas registradas de 41,8 a 49,8 °C, indicou que o processo de compostagem atingiu a fase termófila. A diminuição da temperatura (27/02/18 a 06/03/18) abaixo de 40 °C, na faixa de 39,4°C a 36,1°C, indica a fase mesófila.

Os valores próximos as temperaturas ambientes (13/03/18 a 27/03/18), na faixa de 28,6°C a 26,4°C revelam que o composto atingiu a fase de resfriamento de acordo com Kiehl (2004).

As temperaturas obtidas foram menores que as temperaturas médias dos dados da literatura, em geral as temperaturas atingem a faixa de 65°C até 75°C, superiores as encontradas na faixa de 50°C (NUNES; SANTOS, 2007; ANTUNES, 2009; SOLINO, 2018).

A cobertura com telha e o material disposto em solo exposto contribuíram para maior retenção de umidade e diminuição do calor, interferindo no aumento da temperatura da leira. Em geral as leiras são elaboradas em piso impermeável

(cimento), exposta ao sol ou com coberturas de telhas de metal o que promove maior retenção de calor nas leiras.

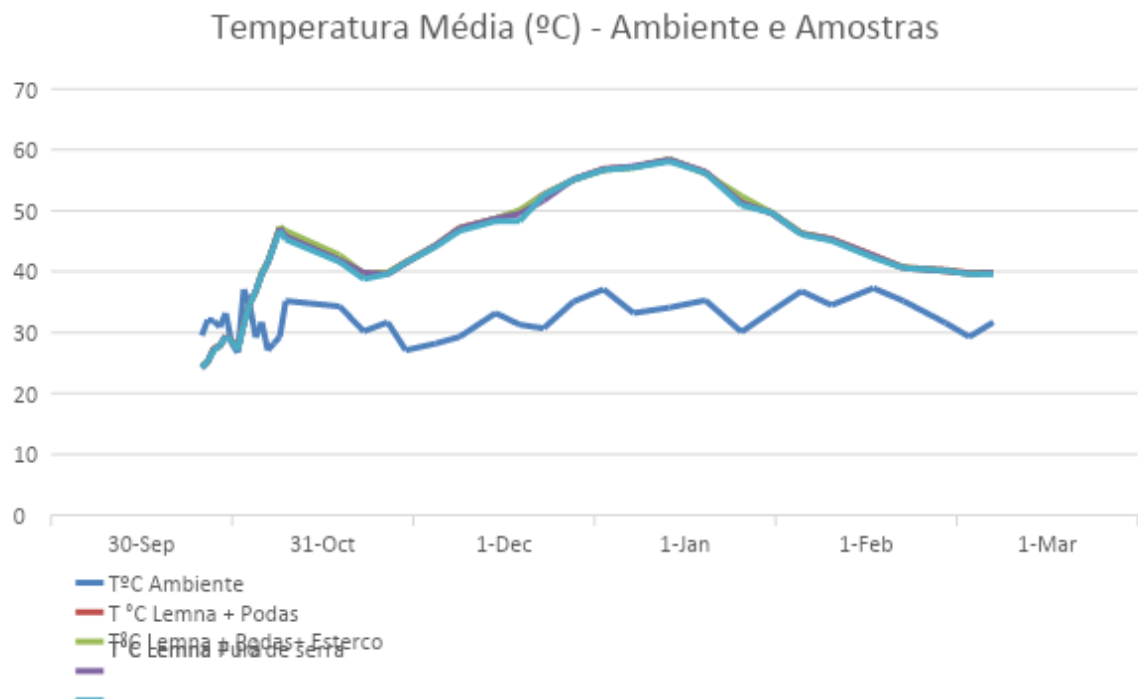
A mudança de temperatura indicou o processo de compostagem. As variações de temperatura ocorreram como esperado no processo de compostagem nas fases termófila, mesófila, e de maturação, completando 99 dias, com estabilização do composto. Em média no processo de compostagem, o estágio de maturação completa-se entre 90 a 120 dias. (KIEHL, 1985).

Houve mudança de coloração e textura do composto que apresentou coloração marrom escura e textura de solo desagregado, características próprias de composto orgânico.

Os valores obtidos no monitoramento da temperatura e da umidade do segundo processo de compostagem (10/10 a 30/03/19) estão descritos nas figuras 33,34 e 35.

A variação da temperatura ambiente e das amostras durante as fases termófila e mesófila está descrita na Figura 33.

Figura 33 - Variação da temperatura ambiente e das amostras nas fases termófila e mesófila



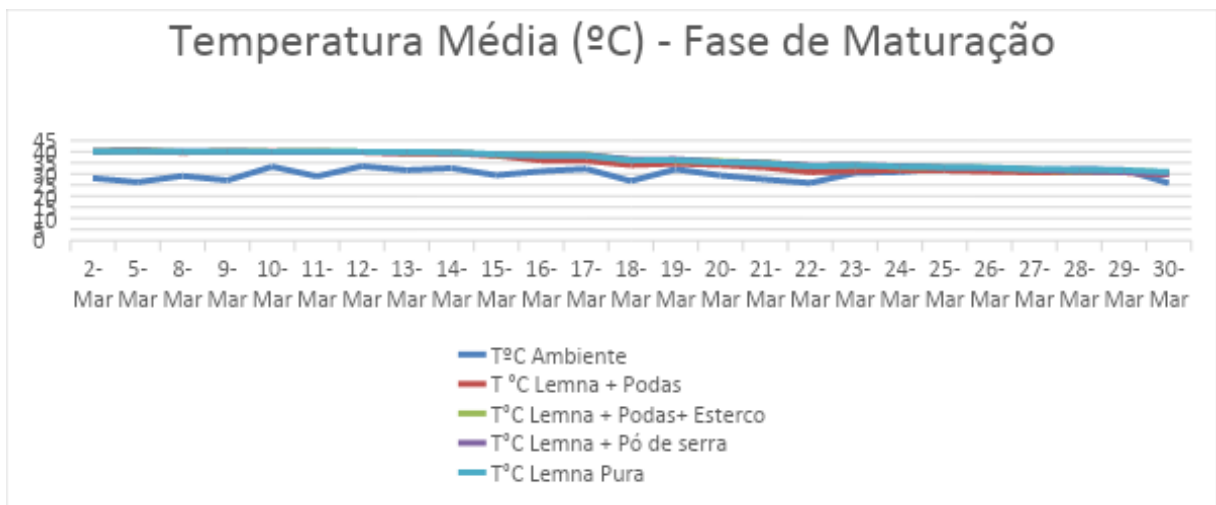
Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com Kiehl (2004), a variação de temperatura de 50 a 40°C indica a ocorrência da fase mesófila onde se prolifera os microrganismos e as temperaturas obtidas na faixa de 50 a 60°C indica a fase termófila onde a dissipação do calor é menor, aumentando a temperatura, fase esta que os microrganismos se proliferam ainda mais degradando as moléculas mais complexas no composto, por isso, esta fase costuma ser longa. (FETTI, 2014).

As variações de temperatura ao longo do período indicam a interferência das condições ambientais no processo, pois a cobertura plástica de proteção para chuvas e a incidência direta de sol sobre as amostras, aumenta a retenção de calor no sistema. O processo ocorreu nos meses quentes, com maior incidência de calor no ambiente.

Os valores do monitoramento da fase de maturação do composto estão descritos na Figura 34.

Figura 34 - Variação da temperatura ambiente e das amostras na fase de maturação



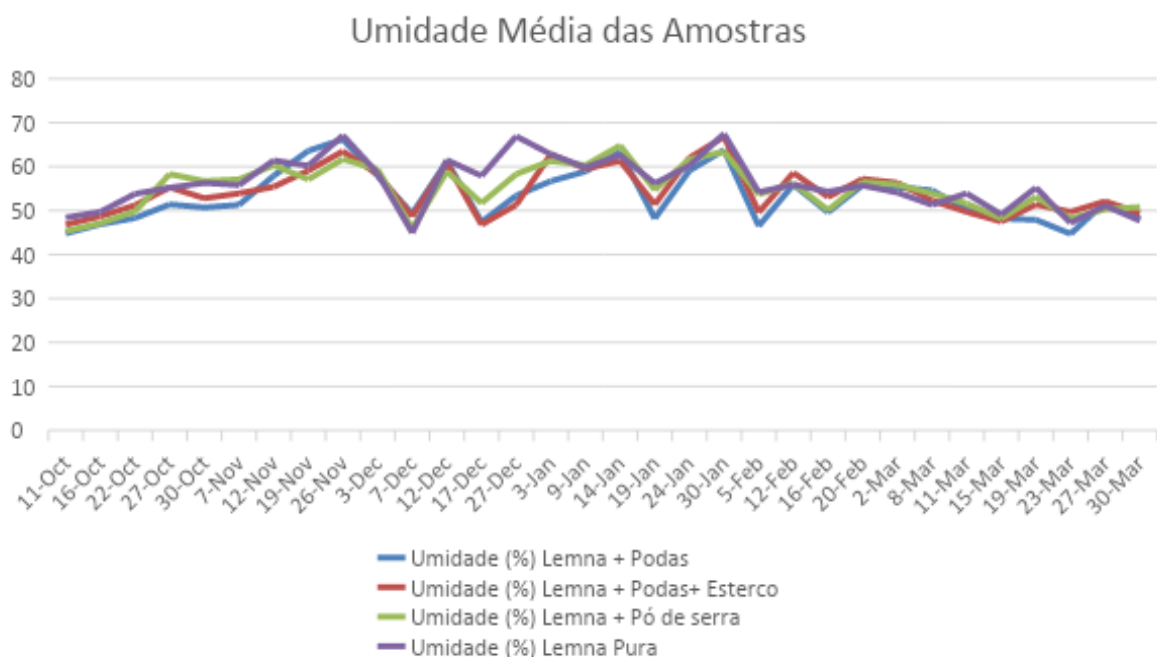
Fonte: Elaborado pelo autor.

Kiehl (1985) destaca o estágio de maturação após 90 dias de processo, onde o composto apresenta estabilização da temperatura e mudanças permanentes na coloração, textura, odor do composto, características sensoriais indicativas de adubo orgânico.

No período de maturação, ocorreu com a diminuição da temperatura ambiente, de maneira que o composto não sofreu impacto das condições ambientais nesta fase.

Durante todo o segundo processo de compostagem, determinou-se o teor de umidade (65°C por perda de massa – SDA 17/2007, MAPA) das amostras, descrito na Figura 35.

Figura 35 - Variação da umidade das amostras durante processo compostagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

Durante o processo os teores de umidade abrangeram a faixa de 40 a 60%, faixa ideal para umidade. Teores superiores favorecem a anaerobiose, inferiores promovem a estagnação da atividade microbiana, desejável no final da maturação (EMBRAPA, 2009; ANTUNES, 2009). Nos meses de fevereiro e março, a diminuição da umidade, favoreceu a estabilização do composto.

Segundo a Instrução Normativa SDA/MAPA 25/2009 é desejável um composto orgânico com umidade inferior a 40%, para garantia da qualidade do mesmo em relação a atividade microbiana, além de interferências na textura e granulometria.

Os compostos também sofreram análises físico-químicas para determinação de nutrientes e outros parâmetros como densidade, umidade, nitrogênio total, carbono, relação C/N, pH e nutrientes. Estes parâmetros são importantes para a caracterização do composto, principalmente para capacidade de fertilidade ou condicionamento do solo.

Para análise dos dados do primeiro processo de compostagem (19 /12/17 a 28/03/2018), utilizou-se os resultados com composto orgânico integral (sem peneiramento), considerando maior facilidade em aplicação em relação ao uso do composto peneirado, uma vez que para produção em grande escala, o peneiramento dificulta a operação.

A massa de composto gerada no final do processo foi de 2.289,5g. Desta massa, separou-se os galhos e frações de resíduos de madeira que não sofreram decomposição e ainda apresentavam partículas superiores a 8,0/9,0 cm, obtendo a massa de 1.635,4g na forma de composto integral e 1.144g após passar por peneiramento (peneira de 5mm de diâmetro) gerando o composto parcial.

As alíquotas (870g de LP; 893g de LEP; 957g de LS; e 213 g LM), extraídas dos compostos do segundo processo de compostagem (10/10 a 30/03/19) passaram pelo mesmo processo de peneiramento antes de submetidas às análises.

Os resultados obtidos nos ensaios foram realizados no Instituto Agronômico de Campinas – IAC, no Laboratório de Análise Química de Fertilizantes e Resíduos (Tabela 15,16,17).

Tabela 15 - Resultados IAC - Parâmetros físico-químicos dos compostos estabilizados primeiro e segundo processo de compostagem

Amostra	Densidade Úmida	Densidade Seca	CRA 10	CRA 10	CTC	CTC
	kg/m ³	kg/m ³	%v/v	%m/m	mmolc kg ⁻¹	mmolc dm ⁻³
Composto Orgânico* Integral (sem peneirar)	434,6	261,7	50,3	191,7	623,8	271,1
Composto Orgânico* Parcial (peneirado)	524,1	352,8	52,0	190,9	500,2	262,1
Lemna Seca + Podas**	395,8	273,4	84,4	78,2	483,6	191,4
Lemna + Esterco Bovino + Podas**	348,0	272,1	86,2	75,9	653,0	227,2
Lemna + Pó de Serra**	328,0	211,0	84,1	78,0	272,8	89,5
Lemna Pura**	335,2	290,2	-	-	803,4	269,3

Notas: CRA 10: Capacidade de retenção de água, mesa de tensão 10 cm de coluna d'água

CTC: Capacidade de troca de Cátions

Métodos de análises: IN 17/2007; IN 31/2008

*Primeiro processo (19 /12/17 a 28/03/2018) ** Segundo processo (10/10 a 30/03/19)

Fonte: Adaptado de IAC (2019).

Os valores discrepantes para Capacidade de Troca Catiônica (CTC) encontrado é devido a diversidade de materiais nos resíduos de limpeza de arborização urbana com materiais ricos em minerais, se apresenta como resultado positivo uma vez que a CTC é responsável pela liberação de cátions no solo. Os valores inferiores encontrados no composto com pó de serra, justifica-se pela composição de resíduos de madeira, pobre em minerais catiônicos.

O valor para a capacidade de retenção de água indica que o composto pode contribuir para manter a umidade do solo (KIEHL, 1985).

Os valores de pH, carbono orgânico, nitrogênio e a relação C/N, resultantes do processo de maturação dos compostos estão descritos na Tabela 20. Metodologia para carbono total é de Walkley-Black, nitrogênio total pelo método Kjeldahl, e pH em CaCl₂ por método descrito na IN SDA 28/2008.

Tabela 16 - Resultados IAC- pH, Nitrogênio; Carbono orgânico, Relação C/N

Amostra	pH	N g/Kg	Carbono Orgânico g/Kg	Relação C/N
Composto Orgânico* Parcial (peneirado)	8,5	11,7	318,5	27,2
Lemna Seca + Podas**	6,9	10,7	233,0	21,8
Lemna + Esterco Bovino + Podas**	6,8	18,1	252,6	14,0
Lemna + Pó de Serra**	6,8	6,9	269,3	39,3
Lemna Pura**	6,4	23,4	229,0	9,8

Nota: *Primeiro processo (19 /12/17 a 28/03/2018) ** Segundo processo (10/10 a 30/03/19)

Fonte: Adaptado de IAC (2019).

O pH para composto em fase de estabilização ou maturação deve ser acima de 6,0 (KIEHL,1985). O pH obtido para os compostos estão acima do valor mínimo, demonstrando a estabilização dos compostos na fase de maturação. Os compostos do segundo processo com podas, esterco e pó de serra apresentaram valores semelhantes para pH, o que ressalta a compatibilidade do uso destes resíduos.

Os resultados obtidos nas Tabelas 20, demonstram que a relação C/N atingiu o esperado, completando a estabilização do composto. Valores de relação C/N de 18/1 ou um pouco menor, indicam que o composto está semicurado ou bioestabilizado, e sua utilização não oferece risco de prejuízos para aplicação nas culturas e para as plantas. (KIEHL, 2002). Os valores superiores de 27,2 e 21,8 para compostos com podas e 39,3 para composto com pó de serra, se justificam pela composição química, com altos teores de carbono orgânico nos resíduos.

Os valores obtidos de nitrogênio e carbono convertidos em porcentagem mássica foram de 1,17% e 1,07% para Nitrogênio Total nos compostos com podas, 1,81% para composto com esterco, 2,34 % para lemnas puras. O menor valor obtido de 0,69% para composto com pó de serra.

Para Carbono Total, a porcentagem mássica foi de 31,85% e 23,3% para os compostos com podas, 25,26% para composto com esterco bovino, 26,93% para o composto com pó de serra e 22,9% para lemnas puras.

Conforme Instrução Normativa SDA/MAPA 25/2009, que classifica os fertilizantes orgânicos como simples, mistos, compostos e organominerais de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção:

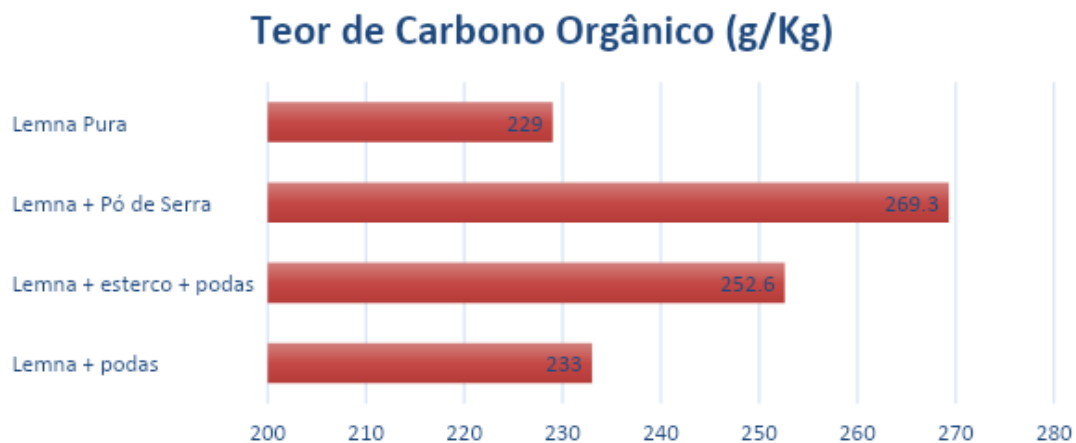
- a) o fertilizante orgânico de Classe “D”, cujo aquele utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários,

resultando em produto de utilização segura na agricultura deve respeitar os parâmetros de Nitrogênio total (% em massa) mínimo de 0,5% e carbono orgânico total (% massa) mínimo de 15%, relação C/N, mínimo 20.

Por esta análise, observa-se que os compostos produzidos se enquadram dentro das exigências da Instrução Normativa com teor de nitrogênio (11,7%), carbono total (31,85%) valores mínimos exigidos pela legislação. Os compostos com esterco bovino e lemnas puras com valores de relação C/N de 14,0 e 9,8 respectivamente, não atendem o valor mínimo de relação C/N exigido pela normativa.

Análise comparativa dos valores de carbono orgânico, nitrogênio e a relação C/N dos compostos, resultantes do segundo processo de compostagem, estão descritos nas figuras 36,37 e 38.

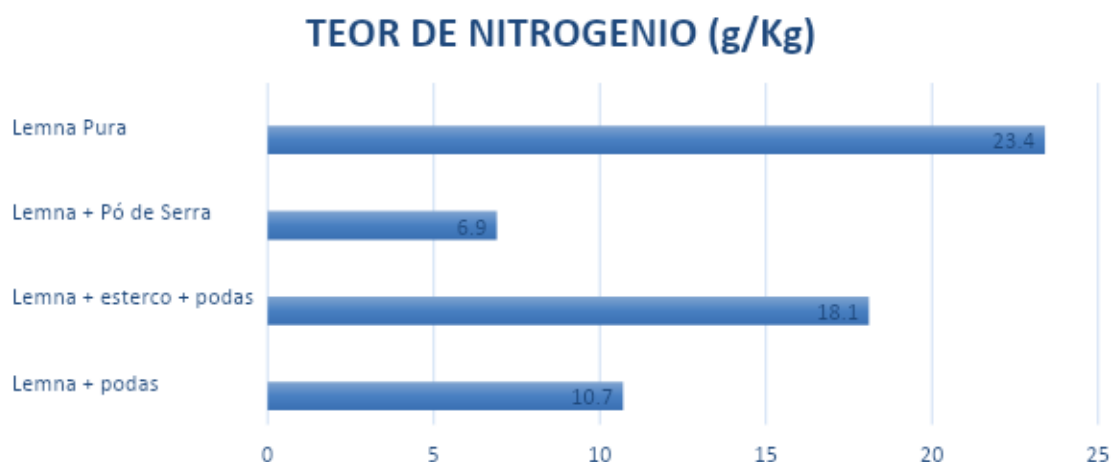
Figura 36 - Teores de carbono orgânico dos compostos -segundo processo de compostagem



Fonte: Adaptado de IAC (2019).

. Observa-se maior valor no composto com pó de serra e menor valor obtido para lemnas puras, teor de composto com esterco se apresenta próximo ao valor do composto com pó de serra. As lemnas são ricas em nitrogênio, o que justifica o menor valor de carbono orgânico para o composto com lemnas apenas.

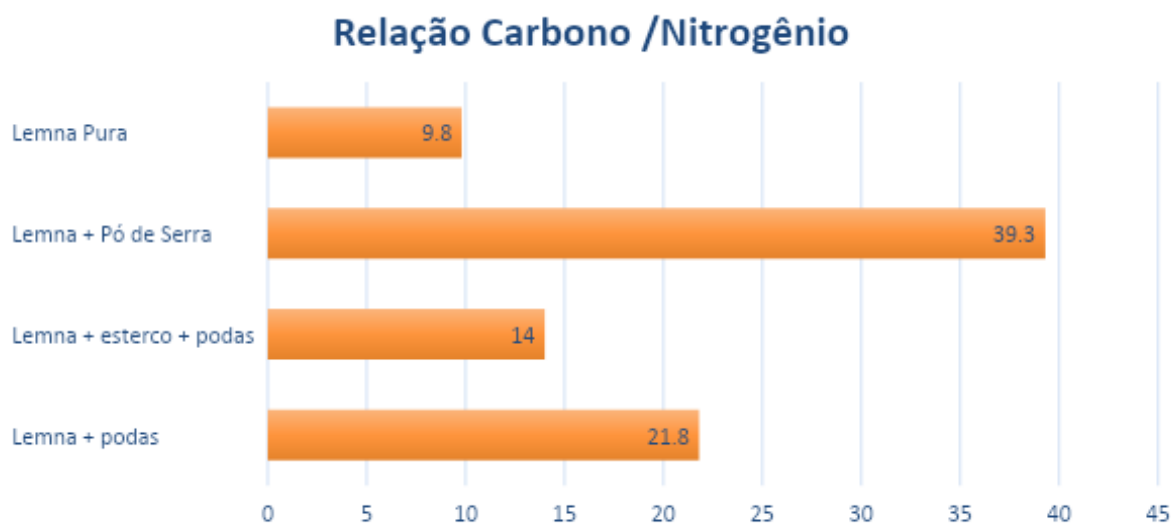
Figura 37 - Teores de nitrogênio total dos compostos -segundo processo de compostagem



Fonte: Adaptado de IAC (2019).

Em análise dos teores de nitrogênio total, observa-se o maior valor para as lemnas puras e menor valor para o composto com pó de serra, rico em carbono devido aos resíduos de madeira, com baixos teores de nitrogênio. O resultado indica grande potencial do uso das lemnas como material nitrogenado.

Figura 38 - Relação de C/N dos compostos -segundo processo de compostagem



Fonte: Elaborado pelo Autor, Adaptado IAC, (2019).

Segundo Kiehl (2004) classifica-se as matérias primas como, Classe 1, quando os materiais sofrem decomposição rápida e fácil, com teores significativos de nitrogênio, com relação C/N inferiores a 18/1. Desta forma o composto com

lemnas puras e o composto com esterco se enquadram nesta classificação. Os compostos com podas e pó de serra se enquadram em materiais carbonáceos.

Os resultados de macronutrientes foram descritos na Tabela 21. Pertencem a classe do macronutrientes: Fósforo (P), Potássio(K), Cálcio (Ca), Enxofre(S).

Tabela 17 - Resultados IAC - Macronutrientes

Amostra	P	K	Ca	Mg	S
	g/Kg				
Composto Orgânico* Parcial (peneirado)	1,3	4,0	2,2	2,0	1,5
Lemna Seca + Podas**	2,0	6,5	12,3	2,1	2,4
Lemna + Esterco Bovino + Podas**	4,4	7,8	19,7	3,3	3,7
Lemna + Pó de Serra**	0,9	1,4	6,4	1,2	1,2
Lemna Pura**	7,6	10,5	21,0	4,0	6,3

Notas: Método de digestão: EPA- 3051. Método de digestão em forno de micro-ondas e determinação por espectrometria de emissão óptica em plasma de argônio (ICP-OES).

*Primeiro processo (19 /12/17 a 28/03/2018) ** Segundo processo (10/10 a 30/03/19)

Fonte: Adaptado de IAC (2019).

De acordo com Instrução Normativa SDA/MAPA 25/2009, o teor dos macronutrientes secundários, quando garantidos no produto, deverá ser observado conforme disposto no Art. 6º desta Instrução Normativa. Alguns elementos importantes como cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), devem apresentar teor mínimo de 1% em massa/massa.

Os valores encontrados nos compostos com *Landoltia punctata* apresentou, 0,22% e 1,23% para compostos com podas de arborização e 1,97% para composto com esterco, e 2,1% para composto de lemnas puras. Valores se apresentam compatíveis com o teor exigido pela legislação, exceto o teor do composto do primeiro processo de compostagem

Os teores de enxofre foram 0,15%, 0,24%,0,37%, 0,63% respectivamente para as amostras descritas na tabela, não se enquadram no teor mínimo esperado.

Os teores de magnésio 0,20%, 0,21%,0,33% e 0,6% também se apresentam insuficientes para atender à norma.

. De acordo com Massukato (2016), um composto orgânico mesmo sem apresentar altos teores de nutrientes é benéfico para o solo e as culturas pois as diferentes concentrações de nutrientes atuam como condicionador de solos, auxiliando na fertilidade e melhorando as qualidades físicas do solo, como permeabilidade, retenção de água, entre outros.

6.2 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DO COMPOSTO ORGÂNICO PRODUZIDO MIMICROBIOLOGICAARVORES

O teste aplicado nos compostos foi realizado em duplicada. Para o teste, utilizou-se sistema de diluição de 10^0 a 10^{-5} , os resultados positivos apresentaram-se até a diluição 10^{-3} .

Os valores de NMP de Coliformes Totais e Termotolerantes foram calculados com auxílio das Tabelas 1 e 3 descritas na metodologia (Norma Técnica - CETESB, método de ensaio, L5. 406/2007, p 13-15).

Os valores obtidos na análise microbiológica dos compostos e os valores de referência foram descritos na Tabela 22, ensaio do composto do primeiro processo (19 /12/17 a 28/03/2018) e o ensaio dos compostos do segundo processo de compostagem (10/10 a 30/03/19).

Tabela 22 - Valores em NMP- tubo múltiplos de Coliformes Termotolerantes, análise em duplicada no composto estabilizado.

Compostos	Col. Total (UFC/100g) Diluição 10^{-3}	Col. Termo (UFC/100g) Diluição 10^{-3}	Referência	
			CONAMA 375/2006	MAPA Inst.Nor.27/2006
Composto Orgânico* Parcial (peneirado)	90	20	Col total: não especificado	Col total: não especificado
Lemna Seca + Podas**	83	13	Col. Termo: <1000 UFC/g	Col. Termo: <1000 UFC/
Lemna + Esterco Bovino + Podas**	147	36		
Lemna + Pó de Serra**	68	-		
Lemna Pura**	27	-		

Nota: *Primeiro processo (19 /12/17 a 28/03/2018) ** Segundo processo (10/10 a 30/03/19)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Os valores obtidos no teste de patógenos do grupo coliformes totais e termotolerantes (*E. Coli*), foram compatíveis com a literatura com limite inferior (<1000 UFC/g) de matéria seca, estabelecido pelo CONAMA na Resolução

375/2006. O composto com esterco apresentou um valor superior ao obtido nos outros compostos, porém não superior ao limite da legislação.

A Instrução Normativa 27/2006-MAPA também estabelece o mesmo valor para limite, inferior a 1000 Unidade Formadora de Colônias (UFC). O valor limite para coliformes totais não é especificado. Porém a literatura recomenda a maior redução possível de patógenos durante o processo de compostagem pelo controle da temperatura.

Dunkley *et al.* (2011) apresentaram valores 1160 UFC/g para coliformes totais e 220 UFC/g para termotolerantes em análises de fertilizante orgânico (condicionador do solo).

Os dados obtidos nos compostos correspondem ao processo de minimização ou eliminação de patógenos que ocorre durante a compostagem na fase de maior temperatura, e que, em relação aos dados de análise para águas residuárias tratadas e outros fertilizantes orgânicos, os resultados encontrados são promissores, principalmente quando comparados a legislação vigente.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dados da literatura e da realização dos experimentos apresentaram compatibilidade com o objetivo deste trabalho.

As análises para caracterização dos compostos orgânicos produzidos na Escola Técnica ETEC “Frei Arnaldo Maria de Itaporanga” no município de Votuporanga, realizadas no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), no Departamento de Análise Química de Fertilizantes e Resíduos apresentaram teores compatíveis em pH, umidade, nitrogênio total, carbono total e relação C/N com a Instrução Normativa, como fertilizante orgânico de Classe “D”, (aquele utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários), e com a literatura recomendada, demonstrando potencial para aplicação como condicionador de solo ou fertilizante orgânico.

Os resultados do teste microbiológico indicam conformidade com a Resolução CONAMA 375/2006 e a Instrução Normativa 27/2006-MAPA, não apresentando risco a saúde em relação ao grupo de bactérias Termotolerantes (*E. Coli*).

7.1 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA E QUESTÕES ABERTAS

Os dados apresentados indicam o potencial do aproveitamento da biomassa vegetal produzida para compostagem como alternativa de destinação econômica e de fácil manutenção, viabilizando de o uso de macrófitas em sistema barato de polimento de esgoto doméstico, contribuindo para a redução de aporte de nutrientes e poluentes emergentes em rios e reservatórios.

Outras questões emergem a partir deste trabalho:

- a) A análise qualitativa e/ou quantitativa de outros parâmetros como microrganismos, poluentes emergentes (hormônios, medicamentos), metais pesados, para a aplicação segura em culturas;
- b) Processos de compostagem com novas alternativas de materiais associados à macrófitas, bem como associação de mais de uma espécie de macrófita na compostagem.
- c) Avaliação do processo de compostagem de forma anaeróbia ou por outras metodologias de compostagem como vermicompostagem;

- d) Avaliação da fertilidade dos solos cujo composto orgânico foi aplicado e as possíveis culturas receptíveis, visando a segurança alimentar;
- e) Padronização de matérias primas compostáveis para otimizar a comercialização dos compostos como fertilizantes orgânicos;
- f) Elaboração de manuais e cartilhas técnicas para difusão popular do conhecimento em cooperativas, prefeituras e associações, para o correto uso de macrófitas neste processo de destinação.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama de Resíduos Sólidos 2017**. [S. l.], 2019. Disponível em: [http:// http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017/](http://http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017/)>. Acesso em: 10 mar. 2019.
- AFFONSECA, M. **Avaliação da viabilidade e aplicabilidade de macrófitas aquáticas para polimento de efluentes de estações de tratamento de esgoto doméstico – estudo em escala real**. 2016. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/143767>. Acesso em: 23 jul. 2017.
- ALBERTONI, E. F.; PALMA-SILVA, C. Macroinvertebrados associados à macrófitas aquáticas flutuantes em canais urbanos de escoamento pluvial. Rio Grande. **Neotropical Biology and Conservation**, Sao Leopoldo, v. 1, p. 90-100, 2006.
- ALKORTA, I; GARBISU, C. Phytoremediation of organic contaminants in soils. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 79, p. 273-276, 2001.
- ALMEIDA, R. A; PITALUGA, D. P. S.; REIS, R. P. Tratamento de esgoto doméstico por zona de raízes precedida de tanque séptico. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 16, n. 1, p. 73-81, 2010.
- ANJOS, M. L. **Avaliação do processo de remoção de fármacos e parabenos de esgoto doméstico em sistemas de tratamento baseado em lagoas de lemnas**. 2017. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"- UNESP, Ilha Solteira, 2017. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/handle/11449/148998?locale-attribute=pt_BR em. Acesso em: 09 out. 2017.
- ANTUNES, R. P. **Análise do potencial de uso das macrófitas aquáticas do sistema de áreas alagadas construídas da ETE da Comunidade de Serviços Emaús (Ubatuba, SP) como adubo orgânico**. 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-04122009-111621/pt-br.php>. Acesso em: 18 out. 2017.
- AOAC. **Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists**. 18. ed. Maryland: Gaithersburg, 2005. Disponível em: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2017.
- AQUASAN, L. L. C. **The aquasan process: wastewater treatment, food production and water reclamation**. Bethesda: Aquasan, 1995. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/94053/288895.pdf?sequence>. Acesso em: 25 out.2017.

AQUINO, L. **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/AgrobCap1ID-Sim092KU5R.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2017.

AQUINO, L. **Subsidies for the implementation of the composting process in a small municipality: case study: Corumbataí-SP**. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4338>. Acesso em: 19 jun. 2017.

BALIBAN, R. C.; ELIA, J. A. AQUINO, A. M.; OLIVEIRA, A. M. G.; LOUREIRO, D. C. **Integrando compostagem e vermicompostagem na reciclagem de resíduos orgânicos domésticos**. Rio de Janeiro: Seropédica, 2005. (Circular Técnica, 12). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/596884/1/cit012.pdf>. Acesso em: 17 out. 2018.

BARÃO, L. Z. **Avaliação Inicial de Lagoas de Lemnas com Chicanas na Remoção de DQO e Fósforo de Efluentes Domésticos e na Fixação de CO₂**. 2014. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

BARREIRA, L. P.; PHILIPPI, A.; RODRIGUES, M. S. Usinas de compostagem do Estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. **Engenharia Sanitária Ambiental**, [S. l.], v. 11, n. 4, p. 385-393, 2006, Disponível: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/esa/v11n4/a12v11n4.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2018.

BARRETO, *et al.* Eutrofização em rios brasileiros. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n.16, p. 2065-2079, 2013. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/biologicas/EUTROFIZACAO.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2017.

BRASIL. Instrução Normativa SDA/MAPA 25/2009. Normas sobre especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem, e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2009. Disponível em: www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos.../insumos-agricolas/fertilizantes/legislacoes. Acesso em: 17 ago. 2017.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília, DF: ANA, 2017. 88 p. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/> Acesso em: 26 ago. 2017.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos: informe 2015 / Agência Nacional de Águas**. Brasília, DF: ANA, 2015. 88 p. Disponível em: http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_2015.pdf. Acesso em: 23 set. 2017.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Município Verde Azul**. Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/municipioverdeazul/>. Acesso em: 05 jan. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução 375/2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 ago. 2016. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acesso em: 29 set. 2018

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Manual de orientação**: compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos. Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo, Serviço Social do Comércio, Brasília, DF. 2017. 168 p. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80058/Compostagem-ManualOrientacao_MMA_2017-06-20.pdf. Acesso em : 01 mar. 2019.

BRASIL. Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa 27/2006. Refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas nos fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 maio 2016. Disponível em: www.agricultura.gov.br/.../in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4. Acesso em: 23 set.2018

BRASIL. Política Nacional de Meio Ambiente,1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus Fins e Mecanismos de Formulação e Aplicação, e dá outras Providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 02 set. 1981. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/177/_arquivos/177_08122008043019.pdf. Acesso em: 10 jan. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei 12.305/2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acesso em: 12 dez. 2018.

BRASIL. Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Seção 1, p. 25289, 17 dez. 1980. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei-6894-16-dezembro-1980-371561-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: 24 set. 2018.

BRASIL. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 jan. 2004. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D4954.htm. Acesso em: 24 set. 2018.

BRUGNAGO, N. **Avaliação de lagoas de Lemnas (Landoltia punctata) para o polimento de esgoto sanitário e fixação de gás carbônico**. 2014. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

BRURIN, R. **Variabilidade da qualidade da água e do estado trófico do reservatório do Vacaraí Mirim**. 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

CANAL CLIMA DA UNESP ILHA SOLTEIRA. Área de Hidráulica e Irrigação. **Estação Meteorológica**: dados climáticos. Ilha Solteira, 2017. Disponível em: <http://clima.feis.unesp.br>. Acesso em: 28 dez. 2017.

LACERDCARACTERIZAÇÃO NACIONAL DE RESÍDUOS. SFAgro. **Revista Digital Biomassa Energia**. Disponível em <https://www.biomassabioenergia.com.br/imprensa/empresa-produz-adubo-organico-a-partir-de-biomassa/20160822-104518-w781>. Acesso em: 8 ago. 2017.

CAVALCANTI, P. F. F. *et al.* Pós-tratamento de efluentes anaeróbios em lagoas de polimento. In: CHERNICHARO, C. A. L. **Coletânea de Trabalhos Técnicos**. Projeto PROSAB, FINEP. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2001. v. 2.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS. **Dados Climáticos de Ilha Solteira**. Ilha Solteira, 2017. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/>. Acesso em: 30 dez. 2017.

CETESB. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**: águas apêndice d. índices de qualidade das águas. São Paulo, 2016. Disponível em: cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios. Acesso em: 18 dez. 2017.

CETESB. L. **406**: Coliformes termotolerantes: determinação em amostras ambientais pela técnica de tubos múltiplos com meio a-1: método de ensaio. [S. l.], 2007. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/normas-tecnicas-cetesb/normas-tecnicas-vigentes/>. Acesso em :12 set. 2018.

COSTA, R. H. R. *et al.* Tertiary treatment of piggery wastes in water hyacinth ponds. **Water Science Technology**, London, v. 42, n. 10-11, p. 211-214, 2000. Disponível em:

<https://search.proquest.com/openview/0260aed1b12f8df718e690c1e1860eb5/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2044520>. Acesso em: 29 nov. 2017.

CUNHA, D. G. F. *et al.* Resolução CONAMA 357/2005: análise espacial e temporal de não conformidades em rios e reservatórios do estado de São Paulo de acordo com seus enquadramentos (2005–2009). Rio de Janeiro. **Engenharia Sanitária Ambiental**, [S. l.], v. 18, n. 2, p.159-168, 2013.

DIAS, Z. M. B. **Relação entre o uso e ocupação do solo e a qualidade da água superficial de uma área rural do Distrito Federal-DF**. 2016. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Gestão Ambiental) - Universidade de Brasília, Planaltina, DF, 2016.

DUNKLEY, C. S. *et al.* Using mortality compost in vegetable production: a comparison between summer and winter composting and its use in cabbage production. **Agric. Food Anal. Bacteriol.**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 6-14, 2011. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Arthur_Hinton_Jr/publication/268261784_Using_Mortality_Compost_in_Vegetable_Production_A_Comparison_Between_Summer_and_Winter_Composting_and_its_Use_in_Cabbage_Production_InTROduCTION/links/551be050cf2909047b9728d.pdf. Acesso em: 23 jan. 2019.

EIGENHEER, E. M. **Lixo: a limpeza urbana através dos tempos**. Porto Alegre: Elsevier, 2009. 139 p. Disponível em :

<http://www.lixoeeducacao.uerj.br/imagens/pdf/ahistoriadolixo.pdf>. Acesso em: 15 dez 2018.

EL-SHAFI, S. A. *et al.* Nutrient recovery from domestic wastewater using a UASB-duckweed ponds system. **BioresourceTechnology**, Amsterdam, v. 98, n. 4, p. 798-807 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Compostagem de resíduos para produção de adubo orgânico na pequena propriedade**. Brasília, DF, 2009. (Circular Técnica, 59). Disponível em:

http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2010/ct_59.pdf. Acesso em: 21 out. 2017.

EPSTEIN, E. **The science of composting**. Pennsylvania: Technomic, 1997. 493 p.

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E IRRIGAÇÃO - UNESP, Campus de Ilha Solteira. **Canal Clima UNESP Ilha Solteira**. Ilha Solteira, 2019. Disponível em: <http://clima.feis.unesp.br>. Acesso em: 08 jan. 2019.

ESTEVES, F. D. A. **Fundamentos de limnologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FASAKIN, E. A. Nutrient quality of leaf protein concentrates produced from water fern (*azolla africana desv*) and duckweed (*spirodela polyrrhiza l. schleiden*). **Bioresource technology**, New York, v. 69, n. 2, p. 185–187, 1998.

FETTI, G. L. R. **Avaliação do efeito da inoculação de fungos termofílicos em pilhas de compostagem de lixo urbano**. 2014. 73 f. Tese (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista - UNESP, São José do Rio Preto, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/110638>. Acesso em: 23 mar. 2019.

FUNDO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – FNMA. **Capacitação para edital de Apoio à compostagem**: parte 1. Brasília, DF: MMA, 2017. *In*. VELOSO, Z.; PROENÇA, L. Disponível em: <https://docplayer.com.br/813798-Ministerio-do-meio-ambiente-secretaria-de-recursos-hidricos-e-ambiente-urbano.html>. Acesso em: 22 mar. 2019.

FRANÇA FILHO, L. **Monitoramento e controle de qualidade de água na ETA Extremoz e tratamento de efluentes da Zona Norte de Natal**. 2016. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

FLOUDAS, C. A.; XIAO, X.; ZHANG, Z.; LI, J.; CAO, H.; MA, J.; QIAO, Y.; HU, X. Thermochemical conversion of duckweed biomass to gasoline, diesel, and Jet fuel: Process synthesis and global optimization. **Petrochemical Research Institute**, Beijing, v. 52, n. 33, p. 11436-11450, 2013.

GARCIA, D. C. O. **Avaliação de lagoas de lemnáceas no polimento de esgoto doméstico e produção de biomassa**. 2015. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2015.

GÁRCIA-RODRIGUEZ, A. *et al.* The influence of Lemna sp. and Spirogyra sp. on the removal of pharmaceuticals and endocrine disruptors in treated wastewaters. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Irã, v. 12, n. 7, p. 2327-2338, 2015.

GUARATINI, C.; ZANONI, I; BOLDRIN, M. V. Corantes têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.

GUIDONI, L.L.C. *et al.* Compostagem domiciliar: implantação e avaliação do processo. **Tecnológica**, Santa Cruz do Sul, v. 17, n. 1, p. 44-51, 2013. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/download/3640/2617>. Acesso em: 27 mar. 2019.

HERNANDEZ, F. B. T.; LEMOS FILHO, M. A. F.; BUZETTI, S. Software HIDRISA e o Instituto brasileiro de geografia e estatística- IBGE. **Cidades e Estados do Brasil**. [S. l.], 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/ilha-solteira/panorama>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

HERNANDEZ, F. B. T. **Análise agroclimática da área de influência do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, região noroeste do Estado de São Paulo**. Ilha Solteira: UNESP; FEPISA; SEAP/PR 2007. 27 p. [Convênio 80/2005]. Disponível em:

http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/parque_aquicola_agroclimatologia_noroeste_sp.pdf
Acesso em: 12 fev. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Atlas Nacional Digital do Brasil**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em:
https://www.ibge.gov.br/apps/atlas_nacional/. Acesso em: 13 jan. 2019.

INÁCIO, C.; MILLER, P. **Compostagem**: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos. Brasília: EMBRAPA, 2009. Disponível em: http://livraria.sct.embrapa.br/liv_resumos/pdf/00050740.pdf. Acesso em: 08 abr. 2015.

IQBAL, S. **Duckweed aquaculture**: potentials, possibilities and limitations, for combined wastewater treatment and animal feed production in developing countries. Switzerland: SANDEC, 1999. 91p. (Report, 6).

JOURNEY, W. K.; SKILLICORN, P.; SPIRA, W. **A new aquatic farming system for developing countries**. Washington: World Bank Publicatio, 1993. 67 p.

KIEHL, J. E. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica, 1985. 492 p.

KIEHL, J.E. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. 4 ed. Piracicaba: E. J. Kiehl, 2004.p. 173.

KUTSCHERA, U.; NIKLAS, K. J. Darwin-Wallace demons: survival of the fastest in populations of duckweeds and the evolutionary history of an enigmatic group of angiosperms U. Review article. **Plant Biology**, Amsterdam, v. 17, n. 1, p. 24-32, 2015. [Suplemento].

LACERDA, J. P. **Estudo do impacto ambiental nos cursos d'água causado pelo lançamento de efluentes de indústrias do município de Itabirito/MG**. 2004. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2004.

LANDOLT, E. Lemnaceae. *In*: HUNZIKER, A.T. (ed.). **Flora Fanerogâmica Argentina**. Califórnia: Programa PROFLOA (CONICET), 1996. p.1-8. (Proflora, 21.)

LELIS, M.P.N., PEREIRA NETO, J.T. Usinas de reciclagem de lixo: porque não funcionam. *In*: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, **Anais...** João Pessoa: ABES; p. 1-9, 2001.

LEITE, D. F. M. **Avaliação do uso e operação de composteira em pequena escala que utiliza vermicompostagem**. 2011. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em:

<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/185/6676.pdf?sequence=1>.

Acesso em: 13 mar. 2019.

LENG, R. A.; STAMBOLIE, J. H.; BELL, R. Duckweed: a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. **Livestock Research For Rural Development**, Cali, v. 7, n. 1, p. 1, 1995.

LEONETI, A.B.; PRADO, E.L. OLIVEIRA, V.W.B. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. Universidade de São Paulo. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 2, p. 331-348, 2011.

LOPES, A. M. B. **Acúmulo de amido em lemnas (*Landoltia punctata*) através do enriquecimento de CO₂ visando a produção de bioetanol**. 2017. 136 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

MAGNUS, B. S. **Avaliação do potencial de produção de biometano a partir de lemnas: efeito do pré- tratamento**. 2016. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

MALAVOLTA, E. *et al.* Sobre a composição mineral do aguapé *Eichhornia crassipes* An. **ESALQ**, Piracicaba, n. 46, p. 155-162, 1989.

MARTINS, M. L.; PRIMEL, E. G.; CALDAS, S. S.; PRESTES, O. D.; ADAIME, M. B.; ZANELLA, R. **Microextração líquido-líquido dispersiva (DLLME) fundamentos e aplicações**. São Paulo: [s. n.], 2012. p. 253.

MASSUKATO, L. M. **Compostagem**: nada se cria, nada se perde; tudo se transforma. Brasília, DF: IFB, 2016.

Disponível em: <http://revistaeixo.ifb.edu.br/index.php/editoraifb/article/view/376>.

Acesso em: 25 fev. 2019.

MATAMOROS, V.; GARCÍA, J.; B, J. M. Organic micropollutant removal in a full-scale surface flow constructed wetland fed with secondary effluent. **Water research**, Alabama, v. 42, n. 3, p. 653-660, 2008.

MATSUMOTO, T.; SCHINCARIO, L. C. S. Avaliação do desempenho de uma lagoa de estabilização do tipo facultativa através do perfil de distribuição da DBO. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 8., 1998, João Pessoa. **Anais [...]** João Pessoa: ABES, 1998. p. 232-239.

MEDEIROS, R.M.L., S.R.U.R., A.U.O.S., PINTO, C.L.S.R. Estudo da biomassa de aguapé, para produção do seu concentrado proteico. **Revista da Sociedade**

Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 2, n. 19, p. 226-230, 1999.

MOHEDANO, R. A. **Uso de macrófitas lemnáceas (*Landoltia punctata*) no polimento e valorização do efluente de suinocultura e na fixação de carbono**, 2010. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MONTEIRO, A *et al.* 2007. **Disciplina de botânica**: módulo de Botânica. Disciplina Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 2007. 144 f.

MONTEIRO, M. T. **Fitorremediação de Rejeito Contaminado Proveniente do Canal do Fundão, na Baía de Guanabara-RJ**. 2008. 240 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MORENO, F. N.; SÍGOLO, J. B. Fitoestabilização controlada: proposta de processo de revitalização para passivos de areias de fundição. *In*: MOERI, E.; RODRIGUES, D.; NIETERS, A. (ed.). **Áreas contaminadas**: remediação e revitalização. São Paulo: Signus, 2007. v. 3, p. 81-99.

NUNES, M. U. C.; SANTOS, J. R.; SANTOS, T. C. **Tecnologia para biodegradação da casca de coco seco e de outros resíduos do coqueiro**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 5 p. Disponível em: www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2007/ct-46.pdf. Acesso em: 12 mar. 2019.

NUVOLARI, A; COSTA, R. H. Reúso. *In*: NUVOLARI, A; COSTA, R. H. **Reúso da água**: conceitos, teorias e práticas/ coordenação. São Paulo: Blucher, 2007. Cap. 6, p.51-63.

OLIVEIRA, E.; SARTORI, R.; GARCEZ, T. **Compostagem**. Piracicaba: ESALQ, 2008. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem_000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf. Acesso em: 05 abr. 2015.

OLIVEIRA, E. C. A. *et al.* **Compostagem**. 2008. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem_000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf. Acesso em: 09 mar. 2019.

OLIVEIRA, R. A.; URBINATI, E. Coliformes totais e termotolerantes no solo fertirrigado com águas residuárias de suinocultura tratadas em reatores anaeróbios e aeróbio. *In*: SIMPÓSIO AND AGRICULTURAL E AGROINDUSTRIAL WASTE MANAGEMENT, 2013, São Pedro. **Anais [...]** São Pedro: [s. n.], 2013. Disponível em: http://www.sbera.org.br/3sigera/obras/in_imp_02_RobertoOliveira.pdf. Acesso em: 23 out. 2018.

PALMA-SILVA, C. *et al.* Uso de *Eichhornia crassipes* (mart.) solms para fitorremediação de ambientes eutrofizados subtropicais no sul do Brasil. **Perspectiva**, Florianópolis, v. 36, n. 133, p. 73-82, 2012. Disponível em: <http://www.uricer.edu.br/new/site/pdfs/perspectiva/133_252.pdf>. Acesso em: 29 out. 2018.

PEIXE, M.; HACK, M. B. **Compostagem como método adequado ao tratamento dos resíduos sólidos orgânicos urbano**: experiência do município de Florianópolis/SC. 2014. 13 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia do Ambiente) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

PENA, L. M. A. **Depuração de efluente suinícola por *Lemna minor* e valorização energética da biomassa por co-digestão anaeróbia**. 2014. 47 f. (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2014.

PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 56, p. 15-59, Jan. 2005.

PINHEIRO, M.B. Aplicação da fitorremediação em função de tipologias de Infraestrutura Verde em microbacias urbanas da cidade de São Paulo. Universidade de São Paulo. **Revista LABVERDE**, São Paulo, n. 10, p. 134-154, 2015.

Pires, I. C. G; Ferrão, G. E. Compostagem no Brasil sob a perspectiva da legislação ambiental. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, Boa Vista, v. 9, n. 1, p. 1-18, 2017.

PIVELI, R; CAMPOS, F. Poluição das águas por efluentes urbanos, industriais e agrícolas. *In*: PIVELI, R; CAMPOS, F. **Ciclo ambiental da água, da chuva a gestão**. São Paulo: Blucher, 2013. Cap. 8, p. 218.

RODRIGUES, J. H. A. **Sistema de tratamento de esgoto descentralizado por zonas de raízes, uma proposta para implantação para pousada na Ilha do Mel - PR**. 2012. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

RUIZ, G.; JEISON, D.; CHAMY, R. Nitrification with high nitrite accumulation for the treatment of wastewater with high ammonia concentration. 2003. **Water Research**, v. 37, n. 6, p. 1371-1377. 2003.

SAEV AMBIENTAL DE VOTUPORANGA. **Ecotudo**. Disponível em <<http://saev.com.br/ecotudo-2/>>. Acesso em 27 dez. 2017.

SAEV AMBIENTAL DE VOTUPORANGA. **Tratamento de Esgoto de Votuporanga**. Disponível em <<http://saev.com.br/tratamento-de-esgoto/>>. Acesso em 27 dez. 2017.

SARAIVA, M. **Jardins filtrantes**. Programa Cidades e Soluções. [S. l.], 2011. Disponível em: <http://g1.globo.com/globo-news/cidades-e-solucoes/platb/2011/09/22/jardins-filtrantes/>. Acesso em: 28 dez. 2016.

SAUER, T. **Tratamento de Efluentes de curtume através do processo combinado de degradação fotocatalítica seguida por adsorção em carvão ativado**. 2006. 246 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SILVA, C. E.; OLIVEIRA, J. G. B.; TROLEZI, L. M. **Reutilização de resíduos de poda urbana para produção de adubo verde**. 2015. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Saneamento e Meio Ambiente) - Centro Universitário de Votuporanga – UNIFEV, Votuporanga, 2015.

SILVA N, *et al.* **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. 4. ed. São Paulo: Varela, 2010.

SIQUEIRA, T.M; ASSAD, M.L.R. Compostagem de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 243-264, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/asoc/v18n4/1809-4422-asoc-18-04-00243.pdf> . Acesso em: 07 mar. 2019.

SKILICORN, P. W.; SPIRA, W; JOURNEY, W. **Duckweed aquaculture, a new aquatic farming system for developing countries**. Washington: The World Bank, 1993.

SMANIOTTO *et al.* Quantificação e caracterização da composição química de biomassa da macrófita aquática *Landoltia punctata* produzida no processo de polimento de esgoto doméstico. *In*: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS NO NORDESTE, 13., 2016, Aracaju. **Anais [...]** Aracaju: [s. n.], 2016.

SMANIOTTO, F. **Enriquecimento de amido de biomassa produzida em lagoa de Lemna Utilizando a espécie *Landoltia punctata***. 2016. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2016.

SOLINO, A. C. **Análise de modelos e técnicas de compostagem para o gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares orgânicos**. 2018. 91 f. Trabalho de conclusão de Curso (Bacharelado em ciências Ambientais) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2018. Disponível em: <http://www2.unifap.br/cambientais/files/2014/08/RES%C3%8DDUOS-S%C3%93LIDOS-DOMICILIARES-E-SEUS-IMPACTOS-SOCIOAMBIENTAIS-NA-%C3%81REA-URBANA-DE-MACAP%C3%81-AP-.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2019.

SOOKNAH, R. D.; WILKIE, A. C. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 22, p. 27-42, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857404000205>. Acesso em: 17 nov. 2017.

SOUTO, L. R. F. **Valorização biotecnológica de *Landoltia punctata* com vistas a uma produção de etanol**. 2016. 161 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

TAVARES, F. A. **Reúso de água e polimento de efluentes de lagoas de estabilização por meio de cultivo consorciado de plantas da família Lemnaceae e tilápias**. Florianópolis, 2008. 237 p. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/91471>. Acesso em: 19 ago. 2017.

TONON, G. **Avaliação da eficiência de remoção de nutrientes do esgoto doméstico em lagoas de *lemnas***. 2014. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

TROLEZI, L. M. *et al.* Polimento de esgoto doméstico, em uma Lagoa de *Landoltia punctata*, com recirculação do efluente e reaproveitamento da biomassa para compostagem. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE SANIAMENTO E MEIO AMBIENTE, 29., 2018, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: AESABESP, 2018. p. 1-12.

VASCONCELOS, Y. O melhor do lixo. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo, p. 78-81, 2003. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2003/09/78-agricultura.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2018.

VERMA, R.; SUTHAR, S. **Impact of density loads on performance of duckweed bioreactor: a potential system for synchronized wastewater treatment and energy biomass production**. New York: Wiley Online Library, 2015. Disponível em: wileyonlinelibrary.com. Acesso em: 25 set. 2017.

VIANA, F. T.; CORREIA, T. M. B.; MACHADO, M. I.; COSTA, C. B. A utilização da fitorremediação em áreas contaminadas por petróleo e seus resíduos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PETRÓLEO E GÁS – PDPETRO, 4., 2007, Campinas. **Anais [...]** Campinas, 2007.

VICH, D. V. *et al.* Household food-waste composting using a small-scale composter. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 12, n. 5, p. 1-13, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/928/92852595003.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2019.

VIEIRA, B. **Remoção de nutrientes de efluentes líquidos através de lagoas de *lemnas* com *chicanas***. 2013. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

VITORINO, F. **ETE ecológica de Juturnaíba é considerada a maior da América Latina**. [S. l.]: AECweb. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br>. Acesso em: 22 jan. 2019.

VIVAGREN. **Empresas que utilizam “Wetlands” (Jardins Filtrantes) no Tratamento de Esgoto**. [S. l.], 2016. Disponível em: <http://vivagreen.com.br/agua/empresas-utilizam-wetlands-jardins-filtrantes-no-tratamento-de-esgoto/>. Acesso em: 23 dez. 2017.

VOTUPORANGA. Revisão do Plano Diretor de Arborização Urbana de Votuporanga. Lei Complementar nº268. Dispõe sobre alteração da Lei Complementar nº 145, de 29 de Setembro de 2009 com redação dada pela Lei Complementar nº 223, de 21 de dezembro de 2012 e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 out. 2014. Disponível em:
<https://consulta.siscam.com.br/camaravotuporanga/Documentos/Documento/54432>. Acesso em: 24 set. 2018.

VOTUPORANGA. **Dados geográficos**. Votuporanga, 2013. Disponível em:
www.votuporanga.sp.gov.br. Acesso em: 05 nov. 2017.

VOTUPORANGA. Prefeitura Municipal de Votuporanga. **Plano Local do Plano de Habitação de Interesse Social de Votuporanga**. Votuporanga, 2010. Disponível em:
http://www.votuporanga.sp.gov.br/atool/_arquivo/pasta/7f1171a78ce0780a2142a6eb7bc4f3c8.pdf. Acesso em: 30 dez. 2017.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p.

WALLACE, D.; KNIGHT, R. **Small-Scale constructed wetland treatment systems: feasibility, design criteria and o&m requirements**. London: IWA, 2006.

ZHAO, Y.; FANG, Y.; JIN, Y.; HUANG, J.; BAO, S.; FU, T.; HE, Z.; WANG, F.; ZHAO, H; Potential of duckweed in the conversion of wastewater nutrients to valuable biomass: A pilot- scale comparison with water hyacinth. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 163, p. 82-91, 2014. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852414005136>. Acesso em: 22 set. 2017.