

GILMAR JAVORSKI GOMES DA CRUZ

**O ACÚMULO DE LODO EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NO TRATAMENTO
DE ESGOTO SANITÁRIO DOMÉSTICO: ESTUDO DE CASO DAS LAGOAS DO
MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PARANÁ**

CURITIBA

2013

GILMAR JAVORSKI GOMES DA CRUZ

**O ACÚMULO DE LODO EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NO TRATAMENTO
DE ESGOTO SANITÁRIO DOMÉSTICO: ESTUDO DE CASO DAS LAGOAS DO
MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA, PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, da Universidade Federal do Paraná, em parceria com o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial e a Universität Stuttgart, como requisito à obtenção do título de mestre.

Orientador: Dr. Carlos Alberto Ubirajara Gontarski

Co-orientador: Msc. Cibele Pires Constante

CURITIBA

2013

TERMO DE APROVAÇÃO

GILMAR JAVORSKI GOMES DA CRUZ

**O ACÚMULO DE LODO EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO
NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO DOMÉSTICO:
ESTUDO DE CASO DAS LAGOAS DO
MUNICÍPIO DE PONTA GROSSA - PARANÁ**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com SENAI-PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a): Prof.^a Dr.^a 
CARLOS ALBERTO UBIRAJARA GONTARSKI
MAUI/UFPR


Prof. Dr. **ALEXANDRE KNESEBECK**
DEQ/UFPR


Prof. Dr. **ANDREAS FRIEDRICH GRAUER**
MAUI/STUTT GART





Prof(a). Dr(a). **MARGARETE CASAGRANTE LASS ERBE**
Coordenadora do PPGMAUI-UFPR

Curitiba, 28 de agosto de 2013.

À Celso Savelli Gomes, engenheiro,
professor e cientista, pioneiro no tratamento
de esgotos no Estado do Paraná.

AGRADECIMENTOS

A Adalton Aparecido Rodrigues, Alexandre Knesebeck, André Luiz de Faria, Andréas Friedrich Grauer, Aramis Carneiro Beira, Cynthia Castro Correa Malaghini, Cristiane Cavalcanti de Oliveira Veiga, Décio Jürgensen, Edgard Faust Filho, Edna Farias Barreto, Everton Luiz do Nascimento, Fernanda Ferreira da Silva, Georges Kaskantzis Neto, Gil Alceu Mochida, Hari Deuschle, Iara Borowsky de Borba, Jean Carlos da Silva, João Batista Carlos Chiocca, José Geraldo Machado Filho, Josmar Gomes da Cruz, Maria Suely Javorski da Cruz, Regina Célia de Paula Cruz, Simone Bittencourt, Uékllys Adriano de Paula e Valério Marques, sem os quais a realização deste trabalho não seria possível.

A questão de saber se ao pensamento humano pertence a verdade objetiva não é uma questão da teoria, mas uma questão *prática*. É na práxis que o ser humano tem de comprovar a verdade, isto é, a realidade e o poder, o caráter terreno do seu pensamento. A disputa sobre a realidade ou não realidade de um pensamento que se isola da práxis é uma questão puramente *escolástica*. "

(Karl Marx, Teses sobre Feuerbach)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – ETE Belém, Curitiba, Paraná.....	4
Figura 2 – Lagoa da ETE Verde, Ponta Grossa, Paraná.....	5
Figura 3 – RALF com tratamento complementar por lagoa de estabilização – ETE Olarias.....	7
Figura 4 – Sistema de grade com limpeza manual.....	12
Figura 5 – Sistema de grade com limpeza mecanizada – ETE Verde.....	13
Figura 6 – Desenho esquemático do desarenador ciclônico.....	14
Figura 7 – RALF – ETE Ligeiro, Pato Branco.....	15
Figura 8 – Desenho esquemático do RALF - corte.....	16
Figura 9 – Desenho esquemático do RALF - planta.....	16
Figura 10 – Desenho esquemático do RALF - perspectiva.....	17
Figura 11 – Fluxograma de sistema combinado RALF e lagoas de estabilização – ETE Padilha Sul, Curitiba.....	19
Figura 12 – Distribuição das lagoas no Estado do Paraná.....	22
Figura 13 – Localização das ETE Verde, Ronda e Olarias no município de Ponta Grossa.....	23
Figura 14 – Baliza dos pontos de medição na borda da lagoa – ETE Olarias.....	32
Figura 15 – Profundidade em função do tipo de lagoa.....	40
Figura 16 – Sistema de coleta do efluente das lagoas.....	64
Figura 17 – Mapeamento da altura da camada de lodo na lagoa da ETE Verde.....	65
Figura 18 – Mapeamento da altura da camada de lodo na lagoa da ETE Ronda.....	66
Figura 19 – Mapeamento da altura da camada de lodo na lagoa da ETE Olarias.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Lagoas de estabilização por municípios no Estado do Paraná.....	8
Tabela 2 – Taxa de aplicação em função da temperatura.....	20
Tabela 3 – Variação por região da temperatura mínima no Estado do Paraná....	21
Tabela 4 – Distribuição das ETE com lagoa no Estado do Paraná.....	22
Tabela 5 – Lagoas de estabilização por tipo no Estado do Paraná.....	25
Tabela 6 – Metodologia de análises para DQO e DBO.....	30
Tabela 7 – Metodologia de medição de vazão.....	30
Tabela 8 – Metodologia de análise de sólidos suspensos totais do efluente das lagoas.....	31
Tabela 9 – Metodologia de medição do nível de lodo das lagoas de Ponta Grossa.....	31
Tabela 10 – Metodologia de análise para temperatura, pH e oxigênio dissolvido.....	33
Tabela 11 – Metodologia de análise de nitrogênio amoniacal e fósforo.....	33
Tabela 12 – Metodologia de análise de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis do lodo acumulado nas lagoas.....	34
Tabela 13 – Parâmetros da lagoa da ETE Verde.....	36
Tabela 14 – Parâmetros da lagoa da ETE Ronda.....	36
Tabela 15 – Parâmetros da lagoa da ETE Olarias.....	37
Tabela 16 – Dados construtivos das lagoas.....	40
Tabela 17 – Eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal.....	46
Tabela 18 – Eficiência de remoção de fósforo.....	46
Tabela 19 – Carga orgânica aplicada na lagoa.....	47
Tabela 20 – Dados de vazão, taxas superficiais, cargas volumétricas e TDH das lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias.....	48
Tabela 21 – Eficiência das lagoas.....	51
Tabela 22 – Eficiência RALF.....	51
Tabela 23 – Eficiência global.....	52
Tabela 24 – Volumes e taxas de lodo acumulado.....	55
Tabela 25 – População atendida.....	58

Tabela 26 – Volume de lodo acumulado por carga orgânica removida em DBO.	60
Tabela 27 – Análise de sólidos suspensos totais do efluente das lagoas.....	61
Tabela 28 – Resultado de sólidos totais do lodo acumulado nas lagoas.....	71
Tabela 29 – Resultado de sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis do lodo acumulado nas lagoas.....	72

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Oxigênio dissolvido ao longo da profundidade e de acordo com as posições escolhidas em cada lagoa.....	37
Gráfico 2 – Temperatura na lagoa da ETE Verde em função da profundidade, para as posições escolhidas.....	41
Gráfico 3 – Temperatura na lagoa da ETE Ronda em função da profundidade, para as posições escolhidas.....	42
Gráfico 4 – Temperatura na lagoa da ETE Olarias em função da profundidade, para as posições escolhidas.....	42
Gráfico 5 – Relação entre temperatura e OD entre as camadas a 1 metro e a 10 cm da superfície das lagoas.....	43
Gráfico 6 – Medida do pH na lagoa da ETE Verde em função da profundidade, para as posições escolhidas.....	44
Gráfico 7 – Medida do pH na lagoa da ETE Ronda em função da profundidade, para as posições escolhidas.....	45
Gráfico 8 – Medida do pH na lagoa da ETE Olarias em função da profundidade, para as posições escolhidas.....	45
Gráfico 9 – Vazão média mensal da ETE Verde.....	49
Gráfico 10 – Vazão média mensal da ETE Ronda.....	49
Gráfico 11 – Vazão média mensal da ETE Olarias.....	50
Gráfico 12 – Concentração de DBO afluente e efluente da ETE Verde.....	53
Gráfico 13 – Concentração de DBO afluente e efluente da ETE Ronda.....	53
Gráfico 14 – Concentração de DBO afluente e efluente da ETE Olarias.....	54
Gráfico 15 – Sólidos suspensos totais do efluente da ETE Verde.....	61
Gráfico 16 – Sólidos suspensos totais do efluente da ETE Ronda.....	62
Gráfico 17 – Sólidos suspensos totais do efluente da ETE Olarias.....	62
Gráfico 18 – Velocidade de escoamento de fluxo – ETE Verde – 40 primeiros metros – linhas transversais.....	68
Gráfico 19 – Elevação média anual da camada de lodo por carga orgânica volumétrica aplicada.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CIF – Cost, Insurance and Freight
COV – Carga Orgânica Volumétrica
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO - Demanda Química de Oxigênio
EE.UU. – Estados Unidos da América
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
GWP – Global-Warming Potential
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
OD – Oxigênio Dissolvido
Proálcool – Programa Nacional do Álcool
RALF – Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado
Sanepar – Companhia de Saneamento do Paraná
SEMA – Secretaria Estadual de Meio Ambiente
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SST – Sólidos Suspensos Totais
ST – Sólidos Totais
STF – Sólidos Totais Fixos
STV – Sólidos Totais Voláteis
TDH – Tempo de Detenção Hidráulica
UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanked
US\$ - United States dollar
VMP – Valor Máximo Permitido

LISTA DE SÍMBOLOS

% - porcentagem
°C - graus Celsius
a.C. – antes de Cristo
cm - centímetro
d – dia
g/m³ - grama por metro cúbico
ha – hectare
hab/econ – habitantes por economia
kg – quilograma
kg/d – quilograma por dia
kg/ha x d – kilograma por hectare por dia
km - quilometro
L/d – litro por dia
L/hab x d – litro por habitante por dia
L/s – litro por segundo
m – metro
mg/L – miligrama por litro
m/s – metro por segundo
m³ – metro cúbico
m³/m² x d – metro cúbico por metro quadrado por dia
m³/s – metro cúbico por segundo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
2.1. HISTÓRICO.....	2
2.2. PRINCÍPIOS DO TRATAMENTO DE ESGOTO.....	10
2.3. LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO – CONCEITOS GERAIS.....	18
2.4. LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO – TIPIFICAÇÃO.....	24
2.5. LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO – ASPECTOS OPERACIONAIS.....	27
3. MATERIAL E MÉTODO.....	29
3.1. DADOS HISTÓRICOS.....	29
3.2. PARÂMETROS MEDIDOS.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1. TIPIFICAÇÃO DAS LAGOAS.....	34
4.2. CONDIÇÕES OPERACIONAIS DAS LAGOAS.....	41
4.3. CARGA ORGÂNICA APLICADA.....	47
4.4. EFICIÊNCIA DAS LAGOAS.....	51
4.5. O ACÚMULO DE LODO NAS LAGOAS.....	54
4.6. AVALIAÇÃO DO LODO ACUMULADO NAS LAGOAS.....	71
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	76
REFERÊNCIAS.....	77
ANEXOS.....	80

RESUMO

O avanço dos serviços de saneamento demanda sistemas de baixo custo de implantação e reduzida complexidade operacional, considerando que a média nacional de coleta de esgotos na área urbana é de apenas 53,5 % (SNIS) (2010). O tratamento de esgoto por lagoas de estabilização é importante por apresentar baixo requisito de energia, boa eficiência e custo operacional e de implantação baixo. A necessidade de avaliar a quantidade de lodo presente em lagoas em operação advém da ausência tanto de um indicador que balize o acúmulo de lodo quanto de um procedimento operacional que permita o acompanhamento da performance operacional das lagoas. O objetivo geral deste trabalho é avaliar o acúmulo de lodo de esgoto em três lagoas de estabilização no município de Ponta Grossa, tendo como objetivos específicos as relações de acúmulo de lodo em função das taxas de aplicação orgânica, eficiências, tempos de detenção hidráulica (TDH) e tempo de operação das lagoas. Foram realizadas medições de altura da camada de lodo em 736, 680 e 297 pontos nas lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias, nesta ordem, resultando em 23.614, 15.587 e 7.246 m³ de lodo respectivamente. Para avaliação das condições operacionais das lagoas foram realizados 60 pontos de medição de pH, temperatura e oxigênio dissolvido. As avaliações de carga orgânica, eficiência e arraste de sólidos consideraram um histórico de 13 anos e para vazão dados históricos de 6 anos. A avaliação de remoção de nutrientes e qualidade do lodo acumulado foi realizada por análise pontual. Todas as lagoas apresentaram zonas aeróbias e anaeróbias, sendo tipificadas como facultativas. O efluente tratado nas lagoas apresentou baixa concentração de DBO, entre 25 e 35 mg/L e não foi identificada remoção de nitrogênio e fósforo. O acúmulo de lodo nas lagoas é diretamente proporcional à carga orgânica aplicada, à carga orgânica removida e ao tempo de operação. Para fins operacionais, o indicador de melhor referência para o acúmulo é a elevação média anual da camada de lodo, em centímetros por ano, variável entre 2,9 a 4,6 nas lagoas avaliadas. O TDH e a carga orgânica volumétrica aplicada influenciaram a concentração e a estabilidade do lodo na lagoa.

Palavras-chave: Tratamento de Esgoto, Lodo de Esgoto, Acúmulo de Lodo em Lagoas, Lagoas de Estabilização.

ABSTRACT

The advancement of sanitation demand low cost of deployment and reduced operational complexity systems, considering that the national average of sewage in urban areas is only 53,5 % (SNIS) (2010). The sewage treatment ponds of stabilization is important for presents low requirement of energy, good efficiency and reduced operational cust and of implantation. By treating of a sistem of high dimensions, the ponds accumulate sludge by a lot of years without high losses to the operation. However, once saturated the pond with sludge, the drag of solids together with the effluent may increase the concentration of treated sewage and generate environmental damage. The general objective of this job is avaliate the accumulation of sludge on three ponds of stabilization on the city of Ponta Grossa, having as specifical objectives the relationships accumulation of sludge in function of rates of organical application, efficiencies, hydraulic retention time (HRT) and the time of operation of ponds. Measurements were made of height of the sludge layer on 736, 680 e 297 points on ponds of WWTP Verde, Ronda and Olarias, this order, resulting in 23.614, 15.587 e 7.246 m³ of sludge, respectively. The operational conditions from ponds were performed by measuring on 60 points of temperature and dissolved oxygen. The organic load avaliation, efficiency and the drag of solids considered a history of 13 years and for flow with historys from 6 years. The quality avaliation of accumulated aludge were taken by specific analysis. All the ponds presents aerobical and anaerobics zones, being typified as optional. The treated effluent presented low BOD concentration, between 25 and 35 mg/L. The accumulation of sludge on ponds is directly proportional to the organical load aplied, to the organical load removed and to the operation time. For operational purposes, the Best indicator of referenceto the accumulation is the elevation average annual increase of sludge layer, in centimeters by year, variable between 2,9 to 4,6. The HRT and the volumetric organical load appllied influenced the concentration and the stability of sludge on the pond.

Key-words: Sewage Treatment, Sewage Sludge, Sludge Accumulation in Ponds, Stabilization Ponds.

1. INTRODUÇÃO

Por volta de 3.750 a.C., conforme Azevedo Netto e Alvarez (1985), possivelmente foi executada a primeira obra de esgotamento sanitário na região da baixa mesopotâmia.

Entre hipóteses e suposições, o fato é que as primeiras civilizações que se desenvolveram foram viáveis tão somente às margens de rios, como o Tigre, Eufrates, Nilo, Amarelo e Indo.

Seja no sentido de que a história da civilização tenha início com a necessidade do homem em controlar as cheias, seja na tese de que o homem tenha conseguido se fixar a partir da revolução agrícola em áreas alagadas, a ligação entre o homem e o rio é tão antiga como sua própria existência.

Ao longo do tempo, entre avanços e retrocessos, conglomerados urbanos têm contribuído significativamente para as mudanças ambientais, muitas vezes gerando impactos relevantes, como a geração de águas residuais.

As altas densidades populacionais têm exigido cada vez mais soluções em termos de coleta, tratamento e disposição final dos esgotos em sistemas coletivos centralizadores.

Apesar dos crescentes investimentos em saneamento básico, "o atual quadro sanitário nacional ainda é precário, já que a maioria da população de baixa renda está à margem do acesso à saúde e aos serviços de saneamento urbano" (BONATTO, 2000, p. 164).

O crescimento populacional em ritmo superior à oferta de saneamento básico cria um déficit difícil de ser solvido em relação à qualidade de vida. Em Curitiba e Região Metropolitana 26,1 %¹ da população urbana não conta com serviço de coleta de esgotos.

Considerando ainda o déficit nacional de coleta de esgotos, com média na área urbana de apenas 53,5 %, segundo dados do sistema nacional de informações sobre saneamento (SNIS) (2010), a alternativa de tratamento por lagoas é altamente

¹ Fonte: Companhia de Saneamento do Paraná, Relatórios de Indicadores Estratégicos, 2011.

viável economicamente, sobretudo nas regiões mais pobres do Brasil.

Azevedo Netto e Lothar Hess (1970) considera as lagoas como uma alternativa vantajosa se analisados fatores como baixo requisito de energia, boa eficiência, custo operacional e de implantação baixo e grande flexibilidade no que tange à variação de carga de esgoto bruto, além da simples operacionalização.

A ausência de procedimentos operacionais para acompanhamento do acúmulo de lodo em lagoas de estabilização gera um problema ambiental, uma vez que esta deposição ao longo do tempo pode gerar dano ambiental pela perda de eficiência do sistema de tratamento.

A necessidade de avaliar a quantidade de lodo presente em lagoas em operação advém da ausência tanto de um indicador que balize o acúmulo de lodo quanto de um procedimento operacional que permita o acompanhamento da performance operacional das lagoas.

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o acúmulo de lodo de esgoto em três lagoas de estabilização no município de Ponta Grossa. As relações do acúmulo de lodo em função das taxas de aplicação orgânica, eficiências de remoção de carga orgânica, tempos de detenção hidráulica (TDH) e tempo de operação das lagoas foram os objetivos específicos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. HISTÓRICO

A origem do tratamento de esgotos, segundo Jordão e Pessoa (2011), teve início na França com Louis Mouras, em 1860, na localidade de Veoul. Após duas décadas, a fossa Mouras foi patenteada, sendo amplamente difundida pela Europa.

Modelos otimizados de reatores sépticos foram desenvolvidos simultaneamente na Inglaterra e Alemanha, com os tanques Travis e Imhoff, em 1903.

Na Inglaterra, desde 1897, foram testados sistemas de filtração, complementares aos reatores anaeróbios. Foi a partir deste sistema que uma importante melhoria acabou por revolucionar o tratamento de esgotos.

É atribuído a Angres Smith o primeiro trabalho de aeração do meio filtrante dos filtros biológicos. Contudo, partiu de Gilbert John Fowler, em 1913, a iniciativa de remover o meio filtrante e manter a biomassa aerada suspensa. Estava assim desenvolvido o primeiro sistema de lodos ativados.

Conforme Jordão e Pessôa (2011) em 1914 foi construída a primeira estação de lodos ativados em Salford, Inglaterra.

Ao longo do século XX o sistema de tratamento por lodos ativados se consolidou, sobretudo nos países desenvolvidos. Até hoje este modelo de tratamento é reconhecidamente um processo de excelente eficácia em termos de remoção de carga orgânica e nitrogenada. Sua melhor variante, a aeração prolongada, confere ao esgoto tratado qualidade excepcional.

Conceitualmente, no processo de lodos ativados,

no reator ocorrem reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica e, em determinadas condições, da matéria nitrogenada. A biomassa se utiliza do substrato presente no esgoto bruto para se desenvolver. No decantador secundário ocorre a sedimentação dos sólidos (biomassa), permitindo que o efluente final saia clarificado. (VON SPERLING, 2000, p.11-12).

Já a modalidade aeração prolongada ocorre "caso a biomassa permaneça no sistema por um período mais longo, da ordem de 18 a 30 dias, recebendo a mesma carga de DBO do esgoto bruto que o sistema convencional" (VON SPERLING, 2000, p. 14).

A manutenção da taxa ideal de biomassa para a depuração dos esgotos no tanque de aeração é obtida através da recirculação de parte do lodo sedimentado no decantador secundário. A parcela que não é recirculada para o tanque de aeração é descartada, sendo encaminhada para as unidades de tratamento do lodo.

A tecnologia de lodos ativados por aeração prolongada foi implementada no Estado do Paraná a partir da execução do projeto da estação de tratamento de esgoto (ETE) Belém, inaugurada em 1979.

A ETE Belém foi também a primeira estação de grande porte do município de Curitiba, com capacidade para atendimento de 450.000 habitantes.

Para o município de Ponta Grossa, em 1980, foram concluídos três projetos para implantação de ETE, com tecnologia de lodo ativado, similar a Belém.

Neste contexto, os projetos das ETE do município de Ponta Grossa foram desenvolvidos a partir desta tecnologia, concomitantemente à finalização da obra da ETE Belém.

A figura 1 apresenta uma visão geral da ETE Belém.

Figura 1 - ETE Belém, Curitiba, Paraná.



Fonte: Sanepar, 2013.

O projeto singular da ETE Belém tem destaque com amplitude nacional, contudo possui desvantagens, onde,

no Brasil o principal exemplo de valo de oxidação do tipo Carrossel foi adotado na concepção da ETE Belém, em Curitiba, Paraná. A vazão de projeto original (máxima) era de 2,2 m³/s, prevista para atender uma população equivalente de 500.000 habitantes. Na experiência de operação desta estação de tratamento, questiona-se o elevado consumo de energia, típico dos processos de aeração prolongada, e que constituem, na verdade, sua principal desvantagem (JORDÃO e PESSÔA, 2011, p. 669-671).

A então realidade econômica mundial e, sobretudo, brasileira, agravada pela conjuntura no setor energético, inviabilizou a execução em curto prazo daqueles projetos.

A revolução islâmica no Irã e seus desdobramentos tiveram impactos significativos na situação econômica do Brasil, que ainda sentia os efeitos da crise do petróleo de 1973,

para agravar ainda mais a situação, os preços médios CIF de importação de petróleo pelo Brasil, que ficaram relativamente estáveis de 1974 até o final de 1978, subiram abruptamente em cerca de US\$ 14,00 por barril de janeiro

de 1979 até março de 1980 (...) esta elevação de preços acarretou para o Brasil perda permanente de US\$ 5,1 bilhões por ano (...) o governo aprofunda sua tentativa de controlar diretamente todos os preços da economia, chegando a pré-fixar o índice de correção monetária e a taxa de câmbio para todo o ano de 1980 (CAMPOS MARTINS, 1980, p. 2).

Diversas medidas governamentais foram implementadas em reação à crise energética, a exemplo do programa nacional do álcool (Proálcool).

Devido à crise do petróleo, o Programa Nacional do Álcool – Pró-Álcool é criado para substituir o uso dos combustíveis veiculares derivados de petróleo por biocombustíveis. A substituição de gasolina por álcool etílico resultou em 10 milhões de automóveis consumidores de gasolina a menos rodando no Brasil, o que diminuiu a dependência do País do petróleo importado. (BRASIL, 2013, p.1).

Como medida compensatória à inviabilidade momentânea na execução dos projetos das ETE de Ponta Grossa, a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) executou no local projetado para a ETE Verde, de maior porte previsto entre as três estações, uma lagoa de estabilização para pronto tratamento dos esgotos, conforme observado na figura 2. A conclusão das obras e início de operação desta lagoa ocorreu no ano de 1983.

Figura 2 – Lagoa da ETE Verde, Ponta Grossa, Paraná.



Foto: do autor.

A questão do custo energético, naquele contexto, foi preponderante na

alteração da tecnologia de tratamento, resultando em uma alternativa mais simples de tratamento, considerando,

os custos das lagoas de estabilização são bastante competitivos (...) os custos operacionais são desprezíveis, em comparação com outros métodos de tratamento. A eficiência do sistema é usualmente satisfatória, podendo chegar a níveis comparáveis à da maior parte dos tratamentos secundários (VON SPERLING, 1996, p. 17).

A Sanepar seguiu desenvolvendo a partir da década de 1980 uma tecnologia própria para tratamento de esgoto, inspirada nos reatores anaeróbios holandeses, solução esta que não requisitasse demanda energética com aeração.

No final dos anos 70 surgiu na Holanda um modelo de reator anaeróbio (...) desenvolvido pelo Prof. Gatzke Letinga e sua equipe, na Universidade de Wageningen (...) no Estado do Paraná a empresa concessionária SANEPAR adotou integralmente o processo como padrão para suas estações de tratamento, devendo-se fazer jus ao entusiasmo e pioneirismo do eng. Celso Savelli Gomes (JORDÃO E PESSÓA, 2011, p. 829).

Cabe destacar que o desenvolvimento do reator anaeróbio da Sanepar ocorreu simultaneamente ao reator holandês.

Enquanto que o reator holandês foi difundido como Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), o reator da Sanepar recebeu a denominação de reator anaeróbio de lodo fluidizado (RALF), nome este proposto pelo engenheiro Arvid Ericsson.

Assim, pode-se considerar o RALF como contemporâneo ao UASB, tendo um projeto e desenvolvimento paralelo e independente.

O RALF é portanto uma tecnologia de tratamento de esgoto desenvolvida por técnicos da Sanepar, em especial pelo engenheiro Celso Savelli Gomes em parceria com o engenheiro Décio Jürgensen.

Este desenvolvimento culminou na elaboração, em 1984, de um projeto alternativo para a ETE Verde, com tecnologia contemplando RALF. A nova configuração proposta era a execução de três RALF à montante da lagoa recém implantada.

Desta forma, em 1986 a obra dos RALF foi finalizada e a ETE Verde passou a contar com o processo de tratamento por RALF seguido de lagoa de estabilização.

A figura 3 apresenta um modelo de ETE com RALF seguido por lagoa de estabilização.

Figura 3 – RALF com tratamento complementar por lagoa de estabilização – ETE Olarias.



Foto: do autor.

Em 1987 uma réplica do projeto de RALF com lagoa foi executado para a ETE Ronda, passando rapidamente para a fase de obra, a qual foi concluída em 1988.

O mesmo procedimento ocorreu para a ETE Olarias, começando a operar com a mesma tecnologia das demais estações de Ponta Grossa em 1993.

A necessidade de projetos de baixo custo de implantação e operação se mantém, considerando o atual quadro econômico-ambiental brasileiro, essencial para a universalização dos serviços de saneamento.

Neste sentido, os RALF possibilitaram que o tratamento de esgoto no Paraná se difundisse, ultrapassando a barreira dos grandes centros urbanos e econômicos, atingindo pequenos municípios do interior do Estado.

Já em 1854 John Snow relacionava certas doenças com a qualidade da água. Segundo Stobart citado por Azevedo Netto (1977) "não há melhor índice de civilização e de cultura do que o bom saneamento".

Desde o primeiro RALF implantado na ETE Caiçaras, em 1981 no município de Curitiba, foram executadas estações de tratamento com reatores anaeróbios em 152 cidades do Paraná, existindo atualmente mais de 200 ETE com esta tecnologia.

A lista com os municípios do Estado do Paraná que possuem estações de

tratamento de esgotos com unidades de reatores anaeróbios pode ser observada no anexo I.

O tratamento de esgoto por sistema de lagoas foi desenvolvido apenas na década de 1940. Contudo, há séculos algumas lagoas já eram utilizadas acidentalmente,

lagoas naturais ou artificiais que recebiam despejos de animais, de usos domésticos e de pequenas comunidades que, sem que os especialistas se dêem conta, realizavam os fenômenos típicos e próprios de depuração das lagoas de estabilização. (JORDÃO e PESSOA, 2001, p. 701).

O primeiro sistema de tratamento por lagoas foi aplicado para a cidade de Dakota do Norte, Estados Unidos da América (EE.UU), em 1948 (YÁNEZ, 1993, p. 5).

Na América Latina os primeiros sistemas de tratamento por lagoas de estabilização surgiram na Costa Rica e no Panamá, ambas construídas em 1958.

Já no Brasil a primeira lagoa foi operada em 1959, no município de São José dos Campos, estado de São Paulo.

Ao todo a Sanepar conta com 70 lagoas de estabilização em todo o Estado do Paraná.

A tabela 1 relaciona as estações de tratamento que utilizam lagoas e os respectivos municípios em que se localizam.

Tabela 1 – Lagoas de estabilização por municípios no Estado do Paraná (continua).

ETE	Município
Água Bela	Goioerê
Água da Peroba	Alto Paraná
Água de Todos os Santos	Loanda
Água do Braz	Santa Fé
Água Limpa	Ivaté
Águas de Tuneiras	Tuneiras do Oeste
Antas	Cascavel
Antinha	Cruzeiro do Oeste
Araras	Santa Mariana
Atlântico	Mandaguaçu
Bandeirantes	Arapongas
Bandeirantes do Sul	Paçandu
Boguaçu-Mirim	Guaratuba
Boi Pintado	Santo Antonio da Platina
Bonina	Itambé
Cafezal	Rolândia
Cafezal	Londrina
Cambará	São Pedro do Ivaí
Cambará	Santo Inácio

Tabela 1 – Lagoas de estabilização por municípios no Estado do Paraná (continuação).

ETE	Município
Campinho	Arapongas
Catingueiro	Cianorte
Caxangá	Nova Esperança
CIC Xisto	Curitiba
Córrego Baiano	Assis Chateaubriand
Escrita	Rosário do Ivaí
Fazenda Rio Grande	Fazenda Rio Grande
Gabiroba	São João
Indiana	Bela Vista do Paraíso
Invernadinha	Arapoti
Ipiranga	Cidade Gaúcha
Ipiranga	Ribeirão do Pinhal
Isolina	Guaraniaçu
Itararé	Salto do Itararé
Jaboticabal	Astorga
João Simão	São João do Ivaí
Lageado Barreiro	Ivaí
Lontras	Barbosa Ferraz
Mamborê	Mamborê
Marabá	São João do Caiuá
Martinópolis	São José dos Pinhais
Menino Deus	Quatro Barras
Nova Laranjeiras	Nova Laranjeiras
Olarias	Ponta Grossa
Pacheco	Vera Cruz do Oeste
Padilha Sul	Curitiba
Palmital	Corumbataí do Sul
Peroba	Assai
Pinhalzinho	Umuarama
Pitanga	Pitanga
Quati	Cascavel
Rio das Antas	Irati
Rio do Campo	Campo Mourão
Rio do Prado	Altônia
Rio do Rato	Rondon
Rio KM 119	Campo Mourão
Riozinho	Rebouças
Ronda	Ponta Grossa
Santa Cruz	Vera Cruz do Oeste
Santa Fé	Palotina
Santa Helena	Santa Helena
São Lourenço	Londrina
São Tomé	Cianorte
Sarandi	Iporã
Tabarana	Engenheiro Beltrão
Taquari	Astorga
Ubazinho	Cândido de Abreu
Verde	Ponta Grossa
Vila City	Paranavaí
Vila Nova	Mangueirinha
Vila Operária	Paranavaí

2.2. PRINCÍPIOS DO TRATAMENTO DE ESGOTO

O tratamento de esgoto é importante para a manutenção da qualidade das águas, "visando a remoção dos principais componentes (...) o tratamento de esgoto é responsável por uma nova alteração na qualidade do líquido" (VON SPERLING, 2008, p. 25).

O tratamento de esgoto objetiva tratar um fluido, denominado esgoto sanitário ou simplesmente esgoto, constituído por grande parcela de esgotos domésticos acrescido de menores porções de água de infiltração e contribuição pluvial parasitária.

Além destas contribuições, há a possibilidade de haver cargas provenientes de esgotamento de fossas sépticas, em locais onde não há coleta por sistema de rede coletora. Estes despejos na ETE são realizados por meio de caminhões auto-fossas.

Eventualmente, o esgoto a ser tratado pode conter efluente industrial despejado clandestinamente ou mesmo lançado mediante autorização, dentro de padrões de conformidade aceitáveis, definidos em contrato entre a Sanepar e a empresa geradora do efluente.

Qualitativamente, "a concentração das substâncias existentes nos esgotos depende da quantidade de água consumida por habitante em um dia bem como dos hábitos alimentares" (IMHOFF e IMHOFF, 2002, p.22).

Esta qualidade do esgoto varia principalmente em função da característica das bacias de esgotamento e dos materiais empregados na coleta.

Sistemas de esgotamento sanitários antigos, constituídos por tubulações e conexões em material cerâmico, tendem a admitir maiores vazões de infiltração, o que poderá caracterizar um esgoto mais diluído.

Esta característica de esgoto diluído poderá ocorrer ainda em sistemas grandes, com percursos longos de deslocamento do esgoto dentro das tubulações. No sentido oposto, esgotos mais concentrados são observados em sistemas de coleta menores, com trechos curtos, e ainda em sistemas executados recentemente ou constituídos em material plástico ou de qualidade superior.

Conforme Von Sperling (2005), a matéria orgânica presente nos esgotos é uma característica de primordial importância. Os principais componentes orgânicos são constituídos de proteínas, carboidratos, gorduras e óleos, além de uréia,

surfactantes, fenóis e pesticidas, entre outros em menor quantidade.

Apesar do esgoto conter uma série de componentes orgânicos, segundo Von Sperling (2005) não é necessário a quantificação individual dos parâmetros, podendo ser utilizados métodos indiretos para quantificação, sendo os mais usuais a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO).

A forma mais utilizada para se medir a quantidade de matéria orgânica presente é através da determinação bioquímica de oxigênio (DBO). A quantidade de matéria orgânica presente – indicada pela determinação de DBO – é importante para se conhecer o grau de poluição de uma água residuária, para se dimensionar as estações de tratamento de esgotos e medir sua eficiência. (JORDÃO e PESSÔA, 1975, p. 29)

Em relação a estes parâmetros de carga, há uma vantagem de ordem prática da DQO sobre a DBO, onde, segundo Chagas (1977), "a DQO é uma determinação que requer muito menos tempo que a DBO e é executada em aproximadamente 3 horas ou menos". Além desta vantagem, a DQO não sofre interferências como a DBO, que possui,

uma série de variáveis ainda não controladas, enquanto que a oxidação química que tem lugar na DQO não está sujeita a influências tais como a toxidez e semeadura, fatores limitantes para a DBO (CHAGAS, 1977, p. 28).

O princípio de funcionamento da DQO é apresentado em Jordão e Pessôa (1975), que estabelece que "a DQO corresponde à quantidade de oxigênio necessária para oxidar a fração orgânica de uma amostra que seja oxidável pelo permanganato ou dicromato de potássio em solução ácida".

Quantitativamente, o volume de esgoto para tratamento está ligado diretamente com o consumo de água do sistema.

Variações de vazão ao longo do dia são típicas, sendo bastante comuns picos de vazão bem definidos, normalmente próximos ao horário de almoço e no início da noite. Ocorrem ainda variações ao longo da semana, em função da característica das bacias de esgotamento envolvidas e do perfil da população e mesmo variações sazonais, ao longo do ano, onde o fator climático influi no consumo de água.

O processo de tratamento de esgotos compreende a uma série de etapas objetivando basicamente a remoção de resíduos sólidos, sedimentos minerais, carga orgânica, nutrientes e agentes patogênicos.

A primeira etapa de tratamento de uma ETE é composta por um sistema denominado preliminar, correspondendo a duas unidades operacionais, uma para

gradeamento do esgoto e outra para desarenação.

Os sistemas de gradeamento objetivam a separação de material sólido, geralmente lixo, adequando o esgoto para tratamento complementar. Podem ser constituídos por cestos, grades paralelas ou peneiras.

A figura 4 apresenta um modelo de gradeamento com limpeza manual, semelhante aos utilizados nas ETE Ronda e Olarias.

Figura 4 – Sistema de grade com limpeza manual.



Foto: do autor.

O sistema de grades paralelas é provido de dispositivo de limpeza mecanizado para a ETE Verde, conforme observado na figura 5.

Figura 5 – Sistema de grade com limpeza mecanizada – ETE Verde.



Foto: do autor.

Os sistemas de desarenação objetivam a separação de areia e materiais similares, como pedras, pedriscos, pedregulhos, cascalhos, entre outros. Podem ser constituídos por desarenadores de canais paralelos, desarenadores ciclônicos ou desarenadores quadrados.

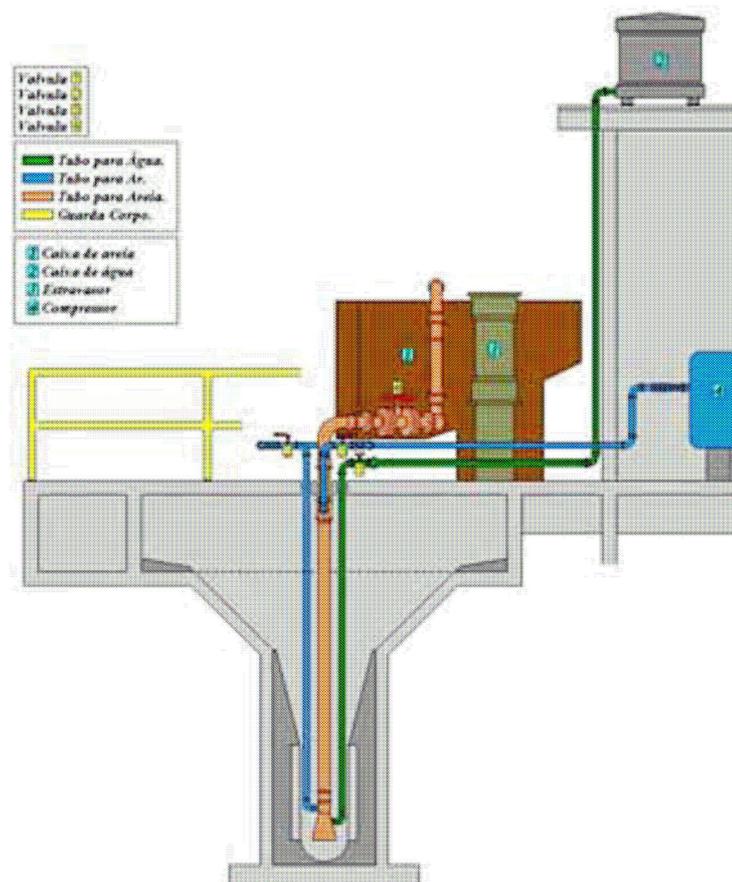
O mecanismo básico de retenção de areia é o da sedimentação. As partículas de maior dimensão e mais densas vão para o fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica sujeita à sedimentação mais lenta permanece em suspensão, seguindo para as unidades seguintes de tratamento.

A retenção da areia ocorre com o fluxo do esgoto mantido em velocidade média de 0,3 m/s. Velocidades acima desse valor podem ocasionar o arraste destas partículas. Velocidades inferiores a 0,15 m/s podem causar a deposição de matéria orgânica no desarenador, gerando odor.

Os desarenadores ciclônicos, disponíveis nas ETE em questão, são tanques em forma cônica, com entrada superficial tangencial, de modo a estabelecer um movimento de fluxo espiral, conforme observado no desenho esquemático da figura 6. Este movimento encaminha a areia para o centro, que ficará depositada em um cone profundo. Esta areia é retirada por sistema de elevação por ejetor a ar

comprimido. Este equipamento conduz o material sedimentado até uma caixa para drenagem. A figura 6 apresenta um desenho esquemático do desarenador ciclônico.

Figura 6 – Desenho esquemático do desarenador ciclônico.



Fonte: Sanepar, 2013.

Após a etapa preliminar de remoção de material inerte o esgoto sanitário doméstico segue para um sistema de tratamento biológico.

Conforme já exposto, o principal sistema de tratamento biológico utilizado na Sanepar é o RALF. O reator anaeróbio de lodo fluidizado é um sistema de tratamento secundário, anaeróbio, que tem por principal finalidade remover matéria orgânica.

A figura 7 apresenta um reator anaeróbio de lodo fluidizado em operação na Sanepar.

Figura 7 – RALF – ETE Ligeiro, Pato Branco.



Foto: do autor.

O RALF, a partir de seu desenvolvimento por técnicos da Sanepar no final do anos 1970, vem sofrendo uma série de modificações com a finalidade de otimizar seu processo de tratamento, com inserção de mecanismos como sistemas de distribuição, coleta de gases, separadores trifásicos, vertedores triangulares, dispositivos de coleta de espuma, entre outros componentes.

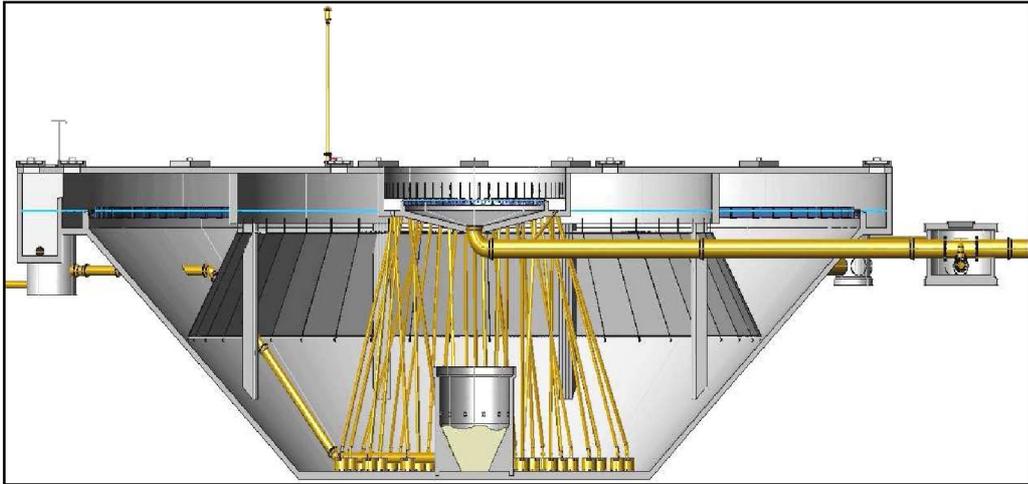
Como este desenvolvimento ocorreu e ainda ocorre ao longo do tempo, existem diversos modelos de reatores existentes, com diferentes incrementos técnicos e particularidades distintas.

Basicamente, o RALF corresponde a um tanque onde o esgoto é introduzido junto ao fundo, seguindo em fluxo ascendente até sair pela superfície. A sedimentação do material sólido do esgoto ocorre até que se forme uma camada de lodo na parte inferior do tanque. Esta camada de lodo é composta por microorganismos que se alimentam da matéria orgânica presente no esgoto.

A ação da gravidade age sobre as partículas sólidas presentes no fluxo de esgoto, fazendo-as sedimentarem. Em contrapartida, o fluxo ascendente arrasta os sólidos novamente para cima. A atividade anaeróbia forma gás que também tem fluxo ascendente. Esta combinação de fluxos contrários movimentam continuamente o manto de lodo, produzindo o chamado efeito fluidizado do RALF.

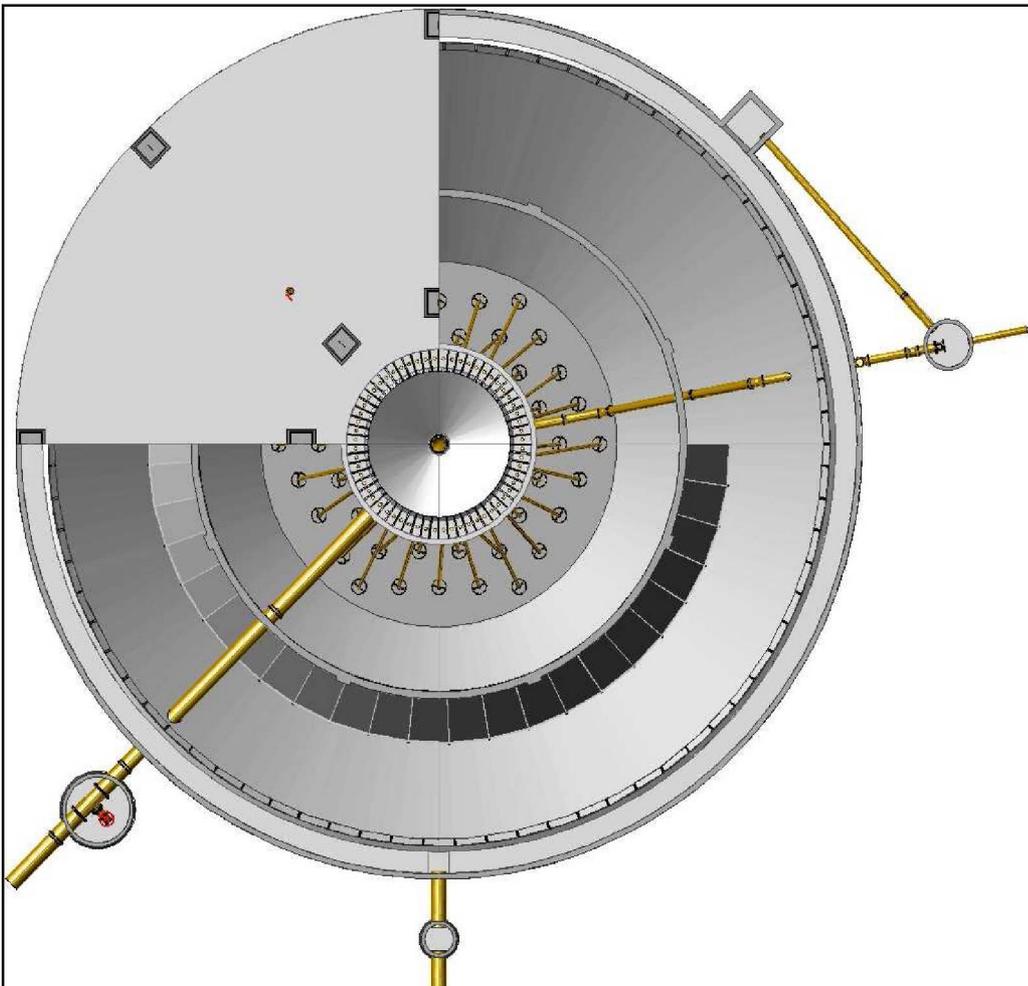
As figuras 8, 9 e 10 apresentam desenhos esquemáticos do RALF.

Figura 8 – Desenho esquemático do RALF - corte.



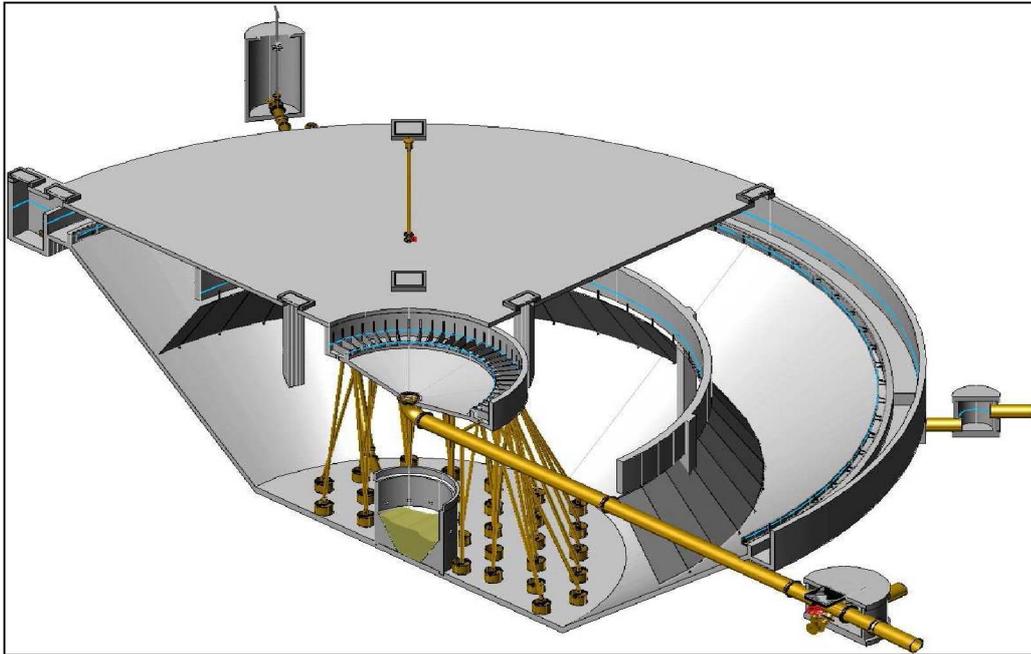
Fonte: Sanepar, 2013.

Figura 9 – Desenho esquemático do RALF – planta.



Fonte: Sanepar, 2013.

Figura 10 – Desenho esquemático do RALF – perspectiva.



Fonte: Sanepar, 2013.

Diversas reações interdependentes e simultâneas ocorrem dentro do reator. Em síntese, a matéria orgânica é hidrolisada, fracionando as cadeias longas em cadeias menores. A partir de então bactérias acidogênicas convertem a matéria orgânica em ácidos graxos voláteis. Bactérias acetogênicas transformam estes ácidos em acetatos. As bactérias metanogênicas utilizam o acetato para produção de gás metano. Com este conjunto de reações a matéria orgânica é convertida em gás carbônico, gás metano e água. Concomitantemente bactérias sulforreductoras convertem o sulfato a sulfeto produzindo gás sulfídrico, que deve ser tratado para evitar maus odores.

No tratamento dos esgotos o RALF gera três produtos: o efluente tratado, o lodo de esgoto e o biogás.

O efluente tratado apresenta geralmente 20 % de carga orgânica remanescente do esgoto bruto.

O lodo de esgoto é a massa sólida residual retida no reator. Dentro do RALF sofre processos de degradação e adensamento. Desta forma o lodo removido do reator deve conter uma fração de sólidos voláteis abaixo de 40 % e concentração de sólidos totais na ordem de 3 %.

O biogás corresponde a uma mistura de gases na qual o metano é o principal componente, representando entre 65 e 75 % do volume total do fluido. Este gás é

um produto altamente energético, porém com potencial de aquecimento global Global-Warming Potential (GWP) 21. O gás carbônico é o segundo principal componente do biogás, com volume parcial na mistura entre 20 e 30 %. Outros gases também estão disponíveis em menores concentrações, como o isopentano, propano, N-butano, gás sulfídrico, entre outros.

O processo de tratamento de esgoto está em plena evolução. Sistemas de tratamento complementares aos reatores têm sido desenvolvidos, existindo hoje diferentes alternativas para o tratamento do efluente dos RALF.

Desta forma, diversos princípios podem ser adotados, desde físicos, como os sedimentadores de placas paralelas, passando pelos biológicos, como os filtros biológicos anaeróbios, aeróbios e aerados submersos, até processos físico-químicos, a exemplo da decantação acelerada e da flotação por ar dissolvido.

O sistema em evidência neste trabalho é o tratamento complementar do esgoto dos RALF por lagoas de estabilização.

2.3. LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO – CONCEITOS GERAIS

Em termos gerais, lagoas de estabilização correspondem a um tanque escavado na terra, com profundidade máxima de 5 metros, projetada para "tratar esgoto por meio de interação da biomassa (algas, protozoários, bactérias e matéria orgânica a ser removida) com outros processos naturais (submodelos hidráulicos e fatores químicos, físicos e meteorológicos)" (YÁNEZ, 1993, p. 47).

As lagoas têm por finalidade estabilizar a carga de esgotos simulando o processo que ocorreria naturalmente no meio ambiente. Por este motivo, são unidades de tratamento construídas em dimensões elevadas, se comparadas com outros modelos de tratamento.

Imhoff e Imhoff (2002) considera que "os processos envolvidos no tratamento são semelhantes aos dos rios e lagos naturais".

Já para Jordão e Pessoa (2001) as lagoas de estabilização são sistemas biológicos em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica e redução fotossintética das algas.

A figura 11 apresenta uma ETE composta de sistema RALF com lagoas de estabilização.

Figura 11 – Fluxograma de sistema combinado RALF e lagoas de estabilização – ETE Padilha Sul, Curitiba.



Fonte: Sanepar, 2013.

As lagoas possuem profundidades variadas de acordo com a finalidade específica, desde 0,5 até 5 m e tempo de detenção também variável, entre 4 e 20 dias.

Os requisitos construtivos são relativamente simples, devendo conter um dique bem estabilizado, geralmente revestido por placas de concreto. O fundo pode ser revestido ou mesmo compactado com o próprio solo, mas deve garantir certa estanqueidade da unidade.

As lagoas possuem de um a quatro pontos de entrada, comumente tubulados e junto ao fundo. Da mesma maneira apresenta entre um e quatro pontos de saída, geralmente por comportas, com sistema de retenção superficial para acúmulo de algas e eventual material sobrenadante.

Ainda que existam vários condicionantes para aplicação, Yánez (1993) considera o processo de tratamento por lagoas de estabilização como um dos mais importantes, sobretudo para países em desenvolvimento. Esta aplicação é viabilizada para locais onde o custo da área é relativamente baixo, o clima com temperaturas e intensidade solar é favorável e onde há grande variação de carga orgânica do esgoto bruto.

Em climas tropicais a taxa de aplicação em termos de carga orgânica é algumas vezes superior se comparada a regiões subtropicais, chegando até a uma taxa de 370 kg de DBO por hectare por dia.

Esta vantagem climática também é evidenciada em Azevedo Netto e Lothar Hess (1970) onde a taxa recomendada nos EE.UU. para lagoas de estabilização está entre 10 e 50 kg DBO / ha x d e em países tropicais poderá ser superior a 100 kg DBO / ha x d.

A experiência alemã relatada por Imhoff e Imhoff (2002), mostra requisitos de área igual ou superior a 10 m² por habitante em climas frios, com tempo de detenção hidráulica relativamente alto, de no mínimo 20 dias. Logo, a temperatura é um fator de destaque para as lagoas.

Azevedo Netto e Lothar Hess (1970) ainda relaciona outros fatores climáticos importantes para o processo de lagoas, como intensidade solar, tempo médio de insolação, nebulosidade, precipitação, taxa de evaporação e velocidade dos ventos.

Imhoff e Imhoff (2002) relaciona taxas em função da temperatura do ar no mês mais frio do ano, conforme tabela 2.

Tabela 2 – Taxa de aplicação em função da temperatura.

Temperatura (° C)	Lagoa Primária (Kg DBO / ha x d)	Lagoa Secundária (Kg DBO / ha x d)
14	220	156
16	260	184
18	300	212
20	340	240
22	380	268
24	420	290
26	460	324

Considerando os dados da tabela 2, quanto maior a temperatura atmosférica maior poderá ser a taxa de aplicação de carga orgânica. O mesmo raciocínio pode ser feito quanto à eficiência. Mantida uma mesma quantidade de carga orgânica em uma lagoa, quanto maior a temperatura melhor será o desempenho da lagoa para depuração da carga admitida.

Em relação aos tipos de lagoas apresentados na tabela 2, lagoas primárias são aquelas que recebem diretamente o esgoto bruto, enquanto que lagoas secundárias recebem esgoto previamente tratado em um sistema biológico.

De acordo com dados do Instituto Tecnológico Simepar, historicamente o mês mais frio do ano no estado do Paraná é julho. A tabela 3 mostra a variação de temperatura por região.

Tabela 3 – Variação por região da temperatura mínima no Estado do Paraná.

Região	Temperatura Mínima Julho (°C)	Temperatura Mínima Ano (°C)
Litoral	12,7	18,0
Capital	8,4	13,3
Centro	8,4	13,1
Sul	8,2	13,2
Sudoeste	9,9	14,7
Oeste	11,2	15,9
Norte	13,3	16,8
Norte Pioneiro	10,6	16,2

Fonte: Simepar – dados extraídos do mapa histórico de temperatura mínima e tabela média de temperatura mínima anual.

Os valores expressos na tabela 3 correspondem às médias das menores temperaturas diárias desde o ano de 1975 até fevereiro de 2013.

Avaliando os dados climáticos das regiões do estado do Paraná, apresentados na tabela 3, as regiões com temperaturas mais adequadas para o sistema de tratamento de esgotos por lagoas são as regiões norte, norte pioneiro, oeste e litoral.

De maneira geral, as regiões do Estado ao sul do trópico de capricórnio apresentam clima tipicamente subtropical úmido, com temperaturas sensivelmente mais baixas que as regiões ao norte. Esta diferença de temperatura é mais brusca durante o inverno.

Contudo, os sistemas de tratamento por lagoas estão distribuídos livremente por todo o território do Estado do Paraná. A opção por esta alternativa, ao que tudo indica, foi influenciada por questões diferentes às condições climáticas.

A tabela 4 correlaciona o número de ETE com lagoa de estabilização com o número total de ETE distribuídas por região do estado do Paraná.

Tabela 4 – Distribuição das ETE com lagoa no Estado do Paraná.

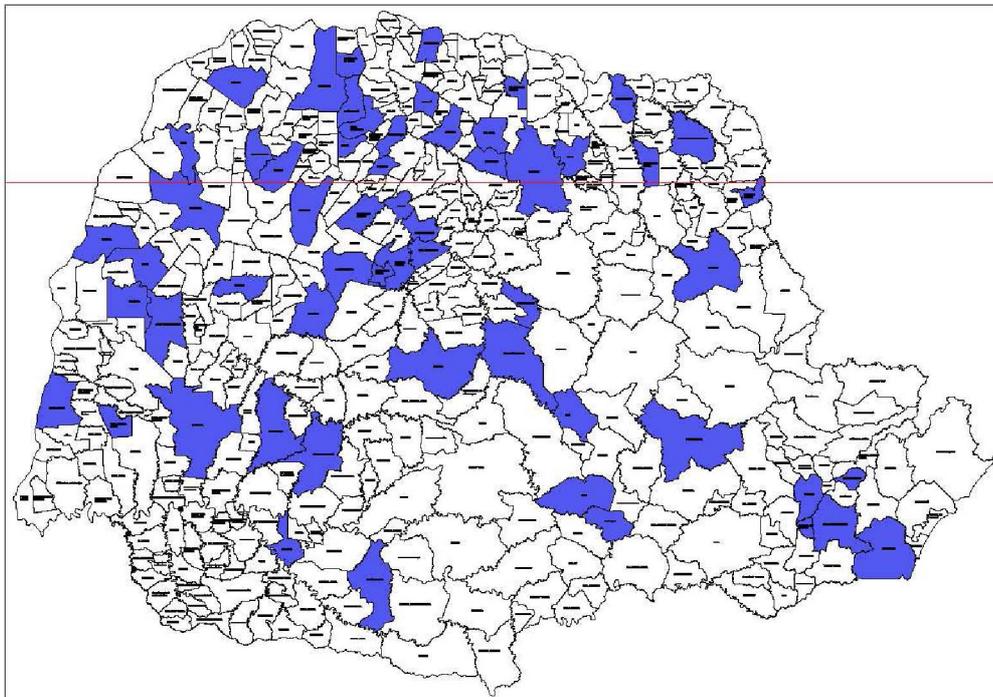
Região	Nº ETE com lagoa	Nº total de ETE	% ETE com lagoa
Litoral	1	5	20
Capital	5	24	21
Centro	8	48	17
Sul	1	15	7
Sudoeste	2	16	13
Oeste	8	32	25
Norte	39	65	60
Norte Pioneiro	6	20	30
Total	70	225	31

Fonte: Banco de Dados Sanepar (ano base 2013).

Apesar de mantidas as relações entre condições climáticas e sistema de lagoas, no sentido de preferência desta alternativa de tratamento para as regiões norte, oeste e norte pioneiro e preterimento para as regiões sul, centro e sudoeste, houve uma tendência de uso na capital e de desuso no litoral.

A figura 12 apresenta o mapa do Estado do Paraná com os municípios destacados que contam com tratamento de esgoto por lagoas de estabilização.

Figura 12 – Distribuição das lagoas no Estado do Paraná.



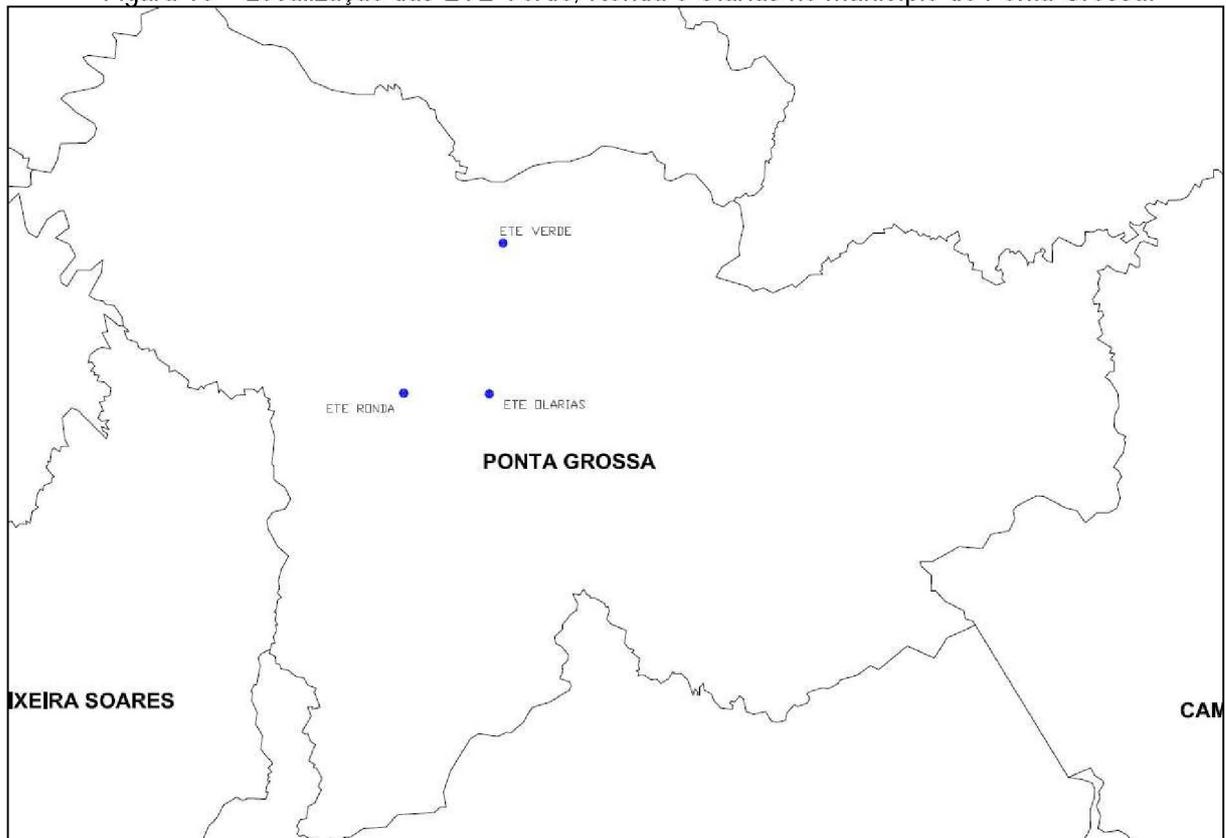
Fonte: Sanepar, 2013.

O município de Ponta Grossa está localizado na região dos Campos Gerais, centro do estado do Paraná, a 103 km da capital Curitiba.

O clima da cidade de Ponta Grossa é "subtropical mesotérmico úmido, com temperatura média na estação de inverno de 13 °C e temperatura média de 21 °C durante o verão". (PONTA GROSSA, 2013).

A figura 13 apresenta o mapa do município de Ponta Grossa com a localização das ETE Verde, Ronda e Olarias.

Figura 13 – Localização das ETE Verde, Ronda e Olarias no município de Ponta Grossa.



Fonte: Sanepar, 2013.

Além destas estações, o município de Ponta Grossa conta com mais cinco ETE de menor porte, denominadas Congonhas, Gertrudes, Tibagi, Cara-Cará e Cristo Rei. Estas estações não contam com processos de tratamento por lagoas de estabilização.

Segundo Banco de Dados Sanepar (2013) o percentual de coleta de esgotos na área urbana do município de Ponta Grossa é de 85,25 %. A capacidade de tratamento do sistema, compreendendo as oito ETE, é de 545 L/s, sendo que a rede coletora de esgoto apresenta 715 km de extensão.

Em relação à carga orgânica aplicada, de uma maneira geral a média das

temperaturas mínimas do mês mais frio do ano indica que, conforme tabela 2, a carga máxima aplicada dificilmente poderia ser superior a 220 kg DBO / ha x d para todas as regiões do estado do Paraná, isto considerando o tratamento para lagoas primárias. Para lagoas secundárias a taxa de aplicação cai para 156 kg DBO / ha x d.

A questão preponderante da temperatura no dimensionamento das lagoas é evidenciada também por Von Sperling (1996), que relaciona uma taxa de 240 a 350 kg DBO / ha x d para climas quentes, 120 a 240 kg DBO / ha x d para climas moderados e 100 a 180 kg DBO / ha x d para climas frios.

Embora a relação de carga orgânica aplicada de DBO se estabeleça costumeiramente em função do clima, e neste caso em relação à temperatura do ar, algumas referências estabelecem taxas associando também ao tipo de lagoa.

Esta observação é clara em Imhoff e Imhoff (2002) onde, conforme observado na tabela 2, uma escala entre 14 e 26 °C correlaciona taxas conforme o tipo de lagoa em questão.

2.4. LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO - TIPIFICAÇÃO

Não existe um consenso para classificar lagoas. De maneira geral, são classificadas quanto à disponibilidade de oxigênio em aeróbias, anaeróbias e facultativas. Se a introdução do oxigênio é forçada, por meio de equipamentos mecânicos, é denominada lagoa aerada.

De modo geral,

a característica principal das lagoas de estabilização se dá na competição entre algas e bactérias na fase superior da lagoa e a decomposição anaeróbia na parte do fundo. (YÁNEZ, 1993, p. 21).

Um sistema pode ser composto por uma ou mais lagoas, tendo a possibilidade de apresentar configuração em série ou em paralelo.

Esta combinação de lagoas remonta à década de 1940, onde Parker e colaboradores conseguiram melhor desempenho com menores requisitos de área mesclando lagoas anaeróbias com lagoas aeróbias. Assim surgiu o mundialmente difundido sistema de lagoas denominado modelo australiano:

foi na Austrália que pela primeira vez se projetou e construiu lagoas facultativas precedidas por lagoas anaeróbias. Este sistema, que recebeu o

nome de "sistema australiano", apresenta na verdade muitas vantagens. (JORDÃO e PESSÔA, 2011, p. 742).

A tabela 5 demonstra os tipos e quantidades de lagoas existentes na Sanepar.

Tabela 5 – Lagoas de estabilização por tipo no Estado do Paraná.

Tipo de Lagoa	Quantidade
Anaeróbia seguida de facultativa em série	8
Anaeróbia seguida de 3 Facultativas e 1 aeróbia em série (sistema australiano)	3
Facultativa	43
Facultativas em Paralelo	2
Facultativas em Série	11
Aerada seguida de sedimentação	3

Cabe ressaltar que os tipos de lagoas apontados na tabela 5 são aqueles idealizados em função de alguns conceitos internalizados na Sanepar.

Neste sentido, as lagoas são simplificadaamente classificadas de acordo com a carga orgânica aplicada, o tipo de esgoto a ser tratado e algumas características construtivas.

A primeira distinção se dá entre lagoas anaeróbias e lagoas de polimento e, para tanto, é considerado apenas o tipo de esgoto a ser tratado. Lagoas anaeróbias recebem esgoto bruto, apenas gradeado e desarenado. Já as lagoas de polimento recebem efluente de RALF para tratamento complementar ou mesmo efluente de outra lagoa, no caso de lagoas em série.

Segundo Manual de Tratamento de Esgoto Sanepar (2013), entre as lagoas de polimento, podem existir lagoas aeradas, lagoas de sedimentação, lagoas facultativas e lagoas de maturação.

As lagoas de estabilização aeradas são dotadas de aeradores mecânicos para promoção da oxigenação artificial do meio líquido. Podem conter aeradores potentes o suficiente para a mistura completa do líquido da lagoa ou aeradores que promovam apenas a mistura parcial, permitindo a deposição do lodo no fundo da lagoa.

Imhoff e Imhoff (2002) considera que as lagoas aeradas devem conter entre 1 a 1,5 kg de oxigênio disponível para cada kg de DBO.

As lagoas de sedimentação geralmente são construídas após um sistema de lagoas aeradas de mistura completa. Funcionam como uma unidade de decantação superdimensionada e têm como vantagem promover não só a separação das fases líquida e sólida, mas também degradação de parcela de matéria orgânica ainda não

biodegradada.

As lagoas de estabilização facultativas apresentam camadas anaeróbias e aeróbias. Não possuem aeração artificial, porém, com uma combinação de intensidade solar e nutrientes presentes no esgoto, favorecem o desenvolvimento de algas, as quais, durante a fotossíntese, produzem oxigênio.

O oxigênio produzido pelas algas permite o desenvolvimento de microrganismos aeróbios, que contribuem na degradação da matéria orgânica. Nas camadas inferiores da lagoa, as bactérias anaeróbias degradam o esgoto e estabilizam o lodo sedimentado.

As algas fazem a fotossíntese durante as horas do dia sujeitas à radiação luminosa (...) o balanço entre a produção (fotossíntese) e consumo (respiração) de oxigênio favorece amplamente (...) as algas produzem cerca de 15 vezes mais oxigênio. (VON SPERLING, 1996, p. 61).

Os tipos de algas mais comumente encontradas são: Chlorella, Scenedesmus, Euglena, Chlamydomonas, Microcystis, Aphanizomenon, entre outras de menor ocorrência. Um quilo de algas pode produzir até 1,5 quilos de oxigênio por dia.

O crescimento das algas é desejável até um certo ponto, já que um aumento excessivo pode ocasionar odores, eutrofização do corpo receptor, redução da incidência solar na lagoa, entre outros inconvenientes.

Em especial a eutrofização do corpo receptor é importante, pois,

a degradação gerada pela eutrofização pode comprometer ou mesmo inviabilizar seu uso tanto para abastecimento público como para outras atividades humanas e em especial para preservação de comunidades aquáticas. (ANDREOLI et. al., 2005, p. 274).

O controle destas algas deve ser periodicamente observado, conforme Azevedo Netto e Lothar Hess (1970) "as algas devem ser removidas, bem como o lodo, preferencialmente de maneira constante".

As lagoas de maturação apresentam profundidade não superior a 0,5 m. Devem receber esgoto com baixa concentração de matéria orgânica. Pela intensidade solar em toda a lagoa espera-se remover organismos patogênicos por radiação. Ovos de helmintos também podem ser removidos por deposição.

2.5. LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO – ASPECTOS OPERACIONAIS

Em relação à operação, Azevedo Netto e Lothar Hess (1970) considera que alguns quesitos mínimos devem ser observados, como a manutenção periódica do sistema, proteção contra erosão dos taludes, controle de macrófitas e mosquitos, segurança patrimonial e controle do nível da lagoa.

No tocante ao nível das lagoas, Imhoff e Imhoff (2002) indica que os fatores de influencia são: vazão acrescida de precipitação contra infiltração somada à evaporação. O controle do nível da lagoa influencia outras taxas como tempo de detenção hidráulica, profundidade, entre outras.

Conforme Yáñez (1993) "as lagoas de forma geral não removem satisfatoriamente nitrogênio e fósforo, ineficaz para prevenção da eutrofização, mas interessante para o reuso agrícola do efluente na irrigação".

Entretanto, Von Sperling (2006) considera vantajoso o uso de lagoas pela remoção de nutrientes, principalmente de nitrogênio por volatilização da amônia e assimilação de nitrato pelas algas, além de considerável redução por processos de nitrificação e desnitrificação. Considera ainda que parte do nitrogênio orgânico particulado é removido por sedimentação no fundo das lagoas.

Como todo processo que envolve reações de transformação, o tratamento de esgotos gera subprodutos gasosos e sólidos.

A fração de sólidos é basicamente constituída por lodo de esgoto, que se acumula por força da gravidade no fundo das lagoas.

Segundo Jürgensen (2006), "para o bom funcionamento dos sistemas de tratamento de esgotos, seja por processos aeróbios ou anaeróbios, é indispensável o descarte do lodo". Portanto, para garantia da qualidade do esgoto tratado por essas lagoas, a remoção do lodo de fundo acumulado é fundamental.

Em relação à remoção do lodo das lagoas, poucas referências existem em literatura.

Yáñez (1996) indica remoção após alguns anos de operação, devendo ser procedida caso o lodo esteja acima de um metro de altura. A única forma de medição possível é realizada por meio de batimetria.

A batimetria consiste em um sistema de medição da altura da camada de lodo, identificando a interface entre o lodo e o líquido, sendo desta maneira possível a quantificação do volume de lodo acumulado na lagoa.

Como todo o sistema de tratamento de esgoto, "as lagoas de estabilização produzem lodo aos quais deverá se assegurar a gestão conveniente, isto é, deverá ser prevista uma remoção regular" (FRANCI apud VASEL e BORGHT, 1987, p. 2).

Por possuir grandes dimensões e capacidade de retenção de lodo por anos, sem prejuízo à qualidade do tratamento, a remoção do lodo das lagoas acaba recebendo, por parte dos operadores das unidades de tratamento, importância secundária, onde:

tal fato emerge como a principal constatação da enquete nacional realizada pela UFES em 1997. Cerca de 90 % de um total de 36 lagoas nunca sofreram remoção de lodo. (Franci, 1999, p.1)

Tal evidência também é observada na Sanepar onde, dentre as 70 ETE em operação com tratamento envolvendo lagoas de estabilização, apenas 8 sofreram remoção parcial de lodo.

A utilização do modelo de tratamento para esgotos domésticos com reatores anaeróbios sucedidos por lagoas de estabilização vai de encontro aos princípios da agenda global, tanto sob o enfoque econômico, na redução de consumo de fontes energéticas, como no aspecto ambiental, possibilitando a redução de carga poluidora aos limites da legislação.

Neste sentido, avaliar o acúmulo de lodo em lagoas de estabilização e suas relações com variáveis operacionais pode fornecer dados significativos para otimização deste importante processo de tratamento.

Comparando a modelos convencionais para tratamento de esgotos, a lagoa apresenta dimensões elevadas. Enquanto outros sistemas de tratamento possuem tempos de detenção hidráulica na ordem de horas, para as lagoas este parâmetro é medido em dias. Assim, as lagoas de estabilização possuem grande capacidade de armazenamento de lodo. Neste sentido o acúmulo de lodo em lagoas ocorre ao longo dos anos, sendo perceptível os efeitos deste processo após muitos anos de operação.

Paradoxalmente, o excessivo acúmulo de lodo pode rapidamente alterar a dinâmica de uma lagoa. Caso o lodo esteja acumulado em regiões próximas à saída do efluente, o arraste de sólidos junto ao esgoto prejudicará a qualidade do tratamento.

No Estado do Paraná a Resolução número 21 de 2009 da Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA) estabelece os limites de 90 e 225 mg/L para DBO e

DQO, nesta ordem, para lançamento de efluentes em corpos receptores.

Contudo, as licenças de operação de cada estação de tratamento podem estipular valores mais restritivos, o que de fato ocorre para as ETE Verde, Ronda e Olarias, onde os limites são 50 e 125 mg/L para DBO e DQO, respectivamente.

O limite de lançamento do parâmetro sólidos suspensos totais é definido nas outorgas de lançamento das ETE, sendo 50 mg/L para as estações Verde e Olarias e 60 mg/L para a ETE Ronda.

A busca por indicadores de acúmulo de lodo é relevante para implementação de ferramentas de gestão e planejamento de intervenções nas lagoas de estabilização, resguardando a qualidade do sistema e a permanência dos padrões de lançamento aos limites legais.

A manutenção adequada das lagoas, portanto, no tocante à remoção do lodo acumulado, é imprescindível para a garantia da performance operacional deste processo de tratamento.

3. MATERIAL E MÉTODO

As três lagoas em estudo estão localizadas no município de Ponta Grossa, estado do Paraná. Todas as estações possuem a mesma configuração de tratamento, com gradeamento, desarenador ciclônico e reatores anaeróbios à montante das lagoas.

Cada RALF possui capacidade de tratar 70 L/s de vazão média. A ETE Verde possui três reatores, a ETE Ronda dois e a ETE Olarias um, apresentando assim as estações capacidades de tratamento de 210, 140 e 70 L/s, respectivamente.

As lagoas possuem formatos, TDH e cargas aplicadas distintas, dados estes apresentados no tópico resultados e discussões.

3.1. DADOS HISTÓRICOS

O estudo das taxas e cargas aplicadas e eficiências, ambas em termos de DBO e DQO, foi realizado através de análises executadas nos laboratórios da Sanepar, obedecendo as metodologias citadas na tabela 6.

Tabela 6 – Metodologia de análises para DQO e DBO.

Parâmetro	Método	Referência
DQO	Titrimetria e Fotometria	STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 20ª Ed. 1998, 21ª Ed. 2005 e 22ª Ed. 2012 SANEPAR IT/LAB/615.
DBO	Respirométrico	STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 20ª Ed. 1998, 21ª Ed. 2005 e 22ª Ed. 2012 SANEPAR IT/LAB/614.

A eficiência foi calculada subtraindo a concentração do parâmetro na entrada do sistema pela concentração do parâmetro na saída. Este resultado foi dividido pela concentração do parâmetro na entrada e multiplicado por 100.

Foram avaliados dados de DQO e DBO disponíveis desde o ano 2000 até março de 2013, nos pontos entrada da ETE, entrada da lagoa e saída da lagoa.

A DBO neste trabalho corresponde à análise realizada em 5 dias em temperatura de 20 °C.

O tempo de detenção hidráulica, calculado a partir da divisão do volume da lagoa pelo volume diário de esgoto tratado, considerou dados de vazão desde o ano de 2007 até fevereiro de 2013. As medições de vazão foram realizadas por equipamento específico, conforme tabela 7.

Tabela 7 – Metodologia de medição de vazão.

Parâmetro	Método	Referência
Vazão	Ultrassônico	Nivetec PED-215-1 (manual do equipamento)

O equipamento de medição de vazão exibe os dados em tempo real, emitindo uma atualização a cada 3 segundos. Todas as medições são registradas e armazenadas.

Para este estudo foi calculada a vazão média de cada ETE a partir das vazões totalizadas ao final do mês, dentro do período de análise.

A análise dos sólidos suspensos totais do efluente das lagoas foi realizada através de histórico entre os anos 2000 e 2013, ensaios estes realizadas nos laboratórios da Sanepar através do método apresentado na tabela 8.

Tabela 8 – Metodologia de análise de sólidos suspensos totais do efluente das lagoas.

Parâmetro	Método	Referência
Sólidos Suspensos Totais	Gravimétrico	STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 20 ^a Ed. 1998, 21 ^a Ed. 2005 e 22 ^a Ed. 2012 SANEPAR IT/LAB/1146

3.2. PARÂMETROS MEDIDOS

A quantificação do volume de lodo acumulado foi realizada determinando a altura da camada de lodo em pontos equidistantes a cada 5 metros e multiplicando este valor pela área correspondente ao ponto, neste caso por 25 m².

Assim, foram realizadas medições de altura da camada de lodo em 736, 680 e 297 pontos nas lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias, nesta ordem.

A identificação desta interface líquido-lodo foi determinada através de diferença de densidade, por equipamento medidor de nível de lodo, conforme tabela 9.

As medições foram realizadas por equipe própria da Sanepar.

Tabela 9 – Metodologia de medição do nível de lodo das lagoas de Ponta Grossa.

Parâmetro	Método	Referência
Identificação da interface líquido-lodo	Sensor Óptico	Aqua CKC Kagaru (manual do equipamento)

Para medição nos pontos fixados a sonda foi deslocada através de um barco, tendo como baliza demarcações nas bordas, conforme demonstra a figura 14.

Figura 14 – Baliza dos pontos de medição na borda da lagoa – ETE Olarias.



Foto: do autor.

A borda da lagoa foi escalonada a cada 5 metros lineares, recebendo cada ponto uma codificação alfanumérica. No sentido longitudinal as demarcações foram numeradas e no sentido transversal receberam letras alfabéticas, sequencialmente.

O barco foi movimentado manualmente com auxílio de um cabo, fixado nas bordas da lagoa, perpendicular ao fluxo da lagoa. Esta operação permitiu o posicionamento e a ancoragem do barco nos pontos exatos para operação da sonda e medição dos pontos.

A ordem das medições foi realizada, por conveniência de logística, no sentido do fluxo do esgoto para a lagoa da ETE Olarias e contrário ao fluxo nas ETE Verde e Ronda.

Em relação às determinações de temperatura, pH e oxigênio dissolvido (OD), em pontos dentro das lagoas, estas foram realizadas por sonda, em campo, conforme tabela 10.

Tabela 10 – Metodologia de análise para temperatura, pH e oxigênio dissolvido.

Parâmetro	Método	Referência
Temperatura	Resistência Elétrica	DIN-IEC 751/85
pH	Potenciométrico	STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 22ª Ed. 2012 SANEPAR IT/LAB/0025
Oxigênio Dissolvido	Luminescência	EPA 10360 SANEPAR IT/LAB/1233.

Foram selecionados os pontos L5, S18, D18, K20 e L28 para medições na lagoa da ETE Verde, I4, M11, E18, H29 e J36 para a lagoa da ETE Ronda e F12, C16, I20, F23 e F26 para a lagoa da ETE Olarias.

Estes pontos de medição foram selecionados prevendo apenas como critério a distribuição dos pontos ao longo da lagoa, tanto longitudinalmente como transversalmente, a fim de determinar os parâmetros em diferentes regiões da lagoa.

Para cada lagoa, estas medições foram realizadas em cinco pontos e em quatro alturas diferentes, sendo: 10 cm da superfície, 1 m da superfície, interface lodo-líquido e junto ao fundo da lagoa.

Estas avaliações foram realizadas em todas as lagoas no dia 14 de maio de 2013, entre 10 e 16 horas, onde a temperatura do ar variou de 28 a 30 °C, medições estas realizadas nos locais.

A avaliação de remoção de nutrientes das lagoas foi realizada através de análise de nitrogênio amoniacal e fósforo, nos pontos de entrada e saída das lagoas, ensaios estes executados no laboratório da Sanepar, em Curitiba, conforme método apresentado na tabela 11.

Tabela 11 – Metodologia de análise de nitrogênio amoniacal e fósforo.

Parâmetro	Método	Referência
Nitrogênio Amoniacal	Titrimetria	STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 22ª Ed. 2012 SANEPAR IT/LAB/1246
Fósforo Total	Fotometria (cloreto estanoso)	STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 22ª Ed. 2012 SANEPAR IT/LAB/0136

Foram selecionados dois pontos em cada uma das lagoas, um no início e outro no final, no sentido do fluxo do esgoto, para coleta de amostra do lodo acumulado. Nestas amostras foram determinados sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis.

A análise de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis do lodo das lagoas foi realizada no laboratório da Sanepar, em Curitiba, através do método apresentado na tabela 12.

Tabela 12 – metodologia de análise de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis do lodo acumulado nas lagoas.

Parâmetro	Método	Referência
Sólidos Totais	Gravimétrico	STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 22ª Ed. 2012 SANEPAR IT/LAB/0146
Sólidos Totais Fixos		
Sólidos Totais Voláteis		

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Previamente à análise do lodo acumulado e suas relações com as variáveis correspondentes, a avaliação das condições operacionais das lagoas, bem como do enquadramento destas dentro da tipificação adequada, se fez necessária.

4.1. TIPIFICAÇÃO DAS LAGOAS

Em relação ao conceito de tipificação das lagoas o modelo internalizado na Sanepar, conforme Manual de Tratamento de Esgoto Sanepar (2013), diverge sensivelmente da classificação convencional em literatura.

Um exemplo claro está na constatação de que na Sanepar não são utilizados os termos lagoas primárias e lagoas secundárias, os quais são substituídos por lagoas anaeróbias e lagoas de polimento, respectivamente.

Conforme Yánez (1993) lagoas primárias recebem esgoto bruto, enquanto que lagoas secundárias recebem efluente de um sistema prévio de tratamento.

Para o caso das lagoas em questão, considerando que o esgoto aplicado às lagoas é oriundo de reatores anaeróbios, sistemas estes com capacidade de remoção de carga orgânica, pode-se indicar que se tratam de lagoas secundárias.

Com este entendimento, a distinção entre lagoas anaeróbias e lagoas facultativas merece um novo enfoque.

As lagoas anaeróbias são as que "predominam processos de fermentação anaeróbia, logo àquelas onde o processo de depuração da matéria orgânica ocorre na ausência do oxigênio" (JORDÃO e PESSÔA, 2011, p. 231).

Nas lagoas facultativas ocorre predominância de processos anaeróbios na camada junto ao fundo e de processos aeróbios na camada próxima à superfície.

Nas lagoas facultativas (...) a disponibilidade de oxigênio varia conforme a profundidade e a hora do dia. Na parte superior as bactérias heterotróficas decompõem a matéria orgânica em compostos inorgânicos solúveis e gás carbônico. As algas utilizam este gás carbônico para produzir oxigênio utilizado pelas bactérias. (YÁNEZ, 1993, p. 28).

As medições realizadas de oxigênio dissolvido nas lagoas do município de Ponta Grossa tiveram o objetivo de avaliar a presença ou ausência deste parâmetro em função da profundidade.

A expectativa neste teste consistiu em identificar se havia nas lagoas em estudo regiões com condições distintas em função da presença de OD, caracterizando desta maneira as zonas aeróbias e anaeróbias.

As tabelas 13, 14 e 15 apresentam os resultados das medições de pH, temperatura e OD medidos nas lagoas do município de Ponta Grossa.

Tabela 13 – Parâmetros da lagoa da ETE Verde.

Posição do ponto amostrado na profundidade (a partir da superfície)	PH	Temp. (°C)	O.D. (mg/L)
Ponto 1 (L5)			
10cm.	7.00	24.2	3.72
1m	6.82	21.5	1.33
Interface	6.64	20.8	0.30
Lodo	6.61	20.7	0.25
Ponto 2 (S18)			
10cm	6.83	24.5	4.20
1m	6.63	20.2	3.20
Interface	6.64	20.8	0.66
Lodo	6.63	20.7	0.33
Ponto 3 (D18)			
10cm	6.63	24.0	4.30
1m	6.66	21.8	2.35
Interface	6.66	20.8	0.35
Lodo	6.62	20.7	0.24
Ponto 4 (K20)			
10cm	6.67	22.8	1.20
1m	6.67	21.6	0.60
Interface	6.62	20.8	0.25
Lodo	6.60	20.7	0.20
Ponto 5 (L28)			
10cm	6.66	24.0	2.71
1m	6.65	22.0	0.54
Interface	6.63	20.9	0.20
Lodo	6.61	20.8	0.21

Tabela 14 – Parâmetros da lagoa da ETE Ronda.

Posição do ponto amostrado na profundidade (a partir da superfície)	PH	Temp. (°C)	O.D. (mg/L)
Ponto 1 (I4)			
10cm.	6.59	22.6	0.35
1m	6.60	22.0	0.19
Interface	6.55	21.9	0.11
Lodo	6.50	21.9	0.09
Ponto 2 (M11)			
10cm	6.51	22.1	0.30
1m	6.51	21.9	0.19
Interface	6.46	21.9	0.14
Lodo	6.45	21.9	0.12
Ponto 3 (E18)			
10cm	6.64	25.1	4.00
1m	6.53	22.2	0.48
Interface	6.49	22.0	0.17
Lodo	6.45	21.9	0.10
Ponto 4 (H29)			
10cm	6.51	23.7	3.50
1m	6.49	22.0	0.28
Interface	6.47	21.9	0.17
Lodo	6.40	21.9	0.11
Ponto 5 (J36)			
10cm	6.38	22.6	0.17
1m	6.41	22.0	0.30
Interface	6.40	22.0	0.16
Lodo	6.39	21.9	0.13

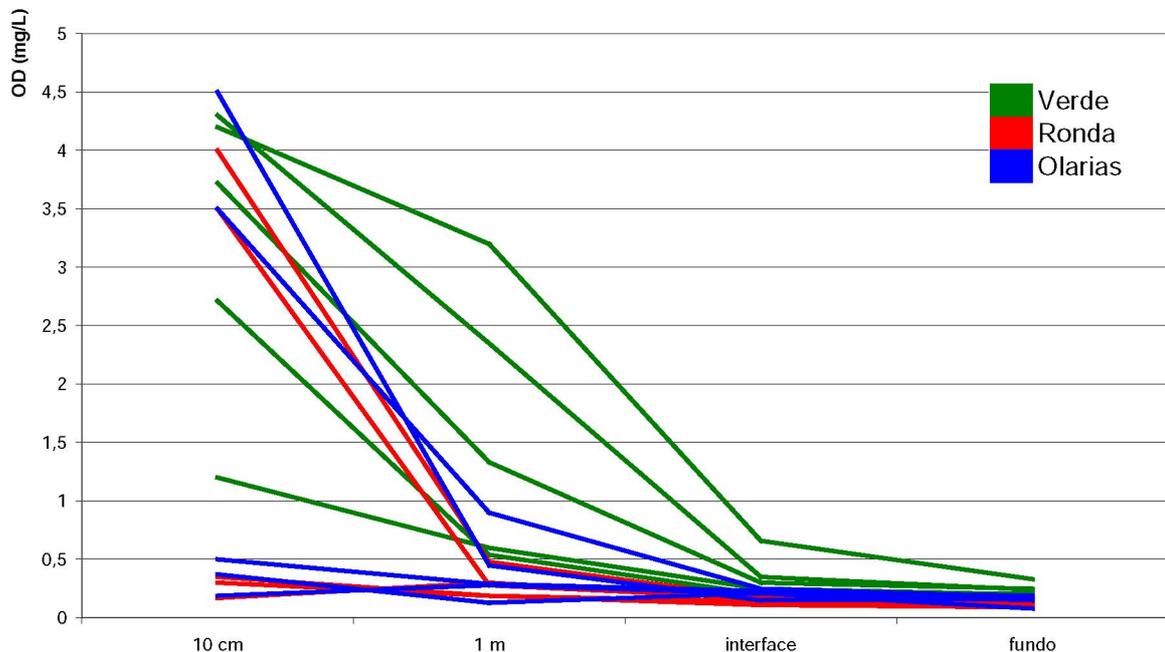
Tabela 15 – Parâmetros da lagoa da ETE Olarias.

Posição do ponto amostrado	PH	Temp. (°C)	O.D. (mg/L)
Ponto 1 (F12)			
10cm.	6.49	21,6	0,37
1m	6.61	21,0	0,13
Interface	6.77	21,4	0,21
Lodo	6.40	21,1	0,08
Ponto 2 (C16)			
10cm	6.78	21,1	0,50
1m	6.52	21,4	0,29
Interface	6.56	21,7	0,23
Lodo	6.47	21,8	0,19
Ponto 3 (I20)			
10cm	6.66	24,1	3,50
1m	6.65	23,1	0,90
Interface	6.59	22,5	0,25
Lodo	6.39	22,9	0,18
Ponto 4 (F23)			
10cm	6.54	22,7	4,50
1m	6.64	22,0	0,45
Interface	6.41	22,9	0,15
Lodo	6.41	22,9	0,16
Ponto 5 (F26)			
10cm	6.39	22,6	0,19
1m	6.48	22,2	0,28
Interface	6.48	22,2	0,21
Lodo	6.38	21,9	0,15

Conforme as tabelas 13, 14 e 15, há disponibilidade de oxigênio na primeira camada de todas as lagoas avaliadas. A concentração de oxigênio dissolvido no meio líquido decresceu na medida em que o detector da sonda foi inserido nas camadas mais profundas das lagoas.

O gráfico 1 apresenta a concentração de oxigênio dissolvido ao longo da profundidade e de acordo com as posições escolhidas em cada lagoa.

Gráfico 1 – Oxigênio dissolvido ao longo da profundidade e de acordo com as posições escolhidas em cada lagoa.



Considerando estes dados, a questão do enquadramento das lagoas em função da disponibilidade de oxigênio dissolvido é resolvida. Nesta condição, as lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias são facultativas.

Cabe ressaltar que a distribuição dos pontos de medição nas lagoas foi aleatória, objetivando apenas localizar pontos de medição em diferentes regiões, porém sem critérios como equidistância dos pontos, zonas de maior ou menor acúmulo de lodo, entre outras variáveis.

O foco na avaliação da quantidade de oxigênio dissolvido foi determinar a condição aeróbia ou anaeróbia das lagoas pela presença ou ausência deste parâmetro, objetivando o enquadramento das lagoas como anaeróbias ou facultativas.

Portanto, este estudo teve como objetivo avaliar a condição de oxigenação entre os pontos nas lagoas.

Apenas para registro, houve tendência de valores mais elevados de oxigênio dissolvido nas regiões mais próximas ao ponto de saída do efluente das lagoas. Isto é em parte explicado pelo fato de que, nestes pontos, a carga orgânica presente é menor.

Ainda quanto à questão da tipificação das lagoas, Azevedo Netto e Lothar Hess (1970) sintetiza que as lagoas aeradas "tratam-se de modelos onde parte do oxigênio é fornecido por algas e parte do oxigênio é fornecido por aeração mecânica". Este entendimento é compartilhado na Sanepar que considera como aeradas todas as lagoas providas de aeradores mecânicos.

Contudo, Yánez (1993) estratifica as lagoas aeradas em facultativa com agitação mecânica, aerada facultativa, mistura completa e aerada submersa.

A lagoa facultativa com agitação mecânica, apesar de estar formalmente enquadrada entre as lagoas aeradas, tem todo oxigênio disponível gerado a partir de algas.

Esta agitação mecânica, que pode ser realizada por um tipo específico de aerador, daí possivelmente a explicação do porquê do enquadramento, tem o objetivo tão somente de misturar a massa líquida, homogeneizando a lagoa a fim de reduzir eventuais diferenças entre gradientes de temperatura das diferentes profundidades da lagoa.

A lagoa aerada facultativa combina oxigenação por fotossíntese, ainda que com um papel muito reduzido, à aeração mecânica, maior responsável pelo

fornecimento de oxigênio.

Conforme o enquadramento de Yánez (1993) o modelo de mistura completa requer grande recurso energético, pois todo o oxigênio é introduzido por aeradores e não há presença visível de algas.

Jordão e Pessôa (2011) ainda denomina esta modalidade como lagoa aerada aeróbia, onde apresenta-a como um modelo funcional próximo ao sistema de lodos ativados, porém sem recirculação de lodo. O mesmo conceito é compartilhado por Imhoff e Imhoff (2002) que reafirma se tratar de um sistema "similar à um processo de lodo ativado sem recirculação".

O último modelo, sistema de aeração submersa, alterna períodos de máxima oxigenação durante o inverno e aeração complementar durante o verão, suplementar ao promovido por fotossíntese. O sistema de injeção de ar é submersível. Geralmente os conjuntos de aeradores ou sopradores ficam fora da lagoa, sendo o ar distribuído por dutos no fundo destas.

Neste sentido, cabe ressaltar que um estudo específico das lagoas aeradas da Sanepar, em relação à medição do oxigênio dissolvido durante o dia e a noite, pode efetivamente verificar a contribuição de oxigenação dos aeradores frente às algas.

Esta análise poderá possibilitar uma melhor estratificação do enquadramento das lagoas e assim contribuir com elementos para otimização da performance operacional destas unidades.

Em relação às recomendações de profundidade das lagoas, estas se dão basicamente em função do tipo de lagoa, contudo existem referências divergentes.

Von Sperling (1996) estabelece 4 a 5 metros para lagoas anaeróbias, 1,5 a 3 metros para facultativas, 2,5 a 4,5 metros para aeradas facultativas e de mistura completa seguida por decantação e 0,8 a 1,5 metros para lagoas de maturação.

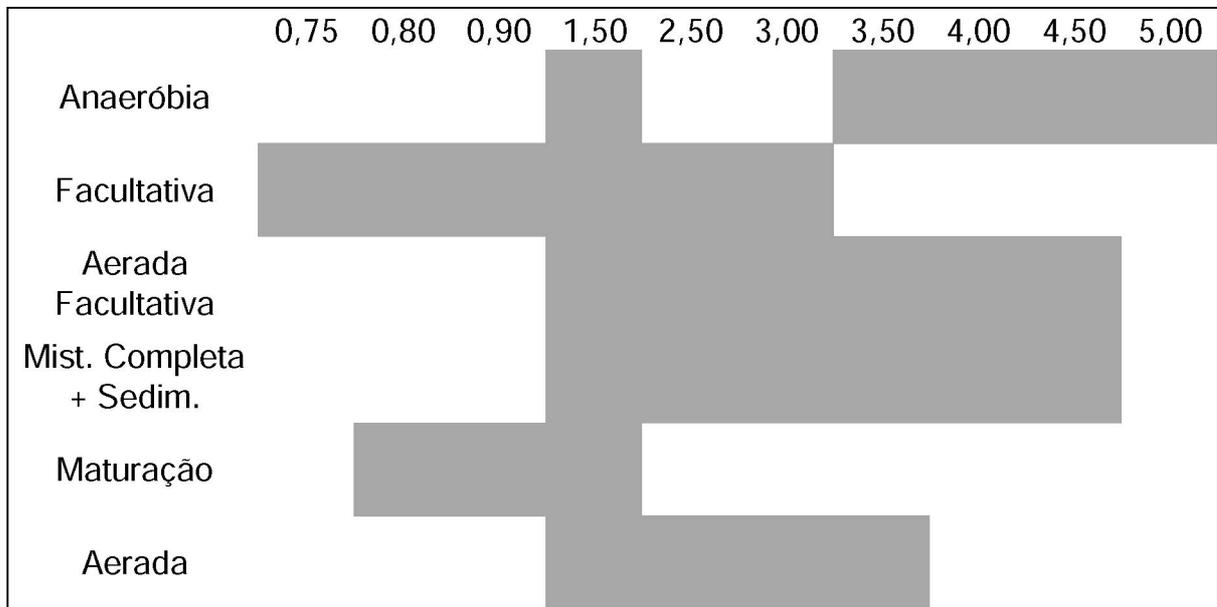
Já Azevedo Netto e Lothar Hess (1970) diverge neste quesito quando se tratam de lagoas facultativas, onde a profundidade deve estar abaixo de 1,5 metros.

Imhoff e Imhoff (2002) relaciona uma profundidade ainda menor para lagoas facultativas, na ordem de 0,75 a 0,9 metros e é mais abrangente ao recomendar 1,5 a 3,5 metros para lagoas aeradas. Contudo, define em 1,5 metros de profundidade em se tratando de lagoas anaeróbias.

Já Yánez (1993) volta a estabelecer profundidades maiores para lagoas facultativas, em torno de 1,5 a 2,5 metros.

A figura 15 apresenta as diferentes recomendações de profundidade em função do tipo de lagoa.

Figura 15 – Profundidade em função do tipo de lagoa.



As lagoas das ETE Verde e Ronda possuem 4 metros de profundidade, enquanto que a lagoa da ETE Olarias apresenta 2 metros, conforme apresentado na tabela 16.

Tabela 16 – Dados construtivos das lagoas.

ETE	Comprimento (m)	Largura (m)	Profundidade (m)	Volume (m ³)
Verde	160	130	4	83.200
Ronda	203	104	4	84.448
Olarias	135	58	2	15.660

Pelos apontamentos em literatura, a profundidade indicada para as lagoas das ETE Verde e Ronda remete às lagoas anaeróbias, enquanto que a referência de profundidade para a ETE Olarias é para lagoa facultativa.

Contudo, a medição de oxigênio dissolvido nas camadas das lagoas fornece um indicador mais preciso para a determinação das fases aeróbias e anaeróbias. Como todas apresentaram estas duas fases, permanecem caracterizadas como lagoas facultativas, independente da profundidade.

Neste sentido, a própria região de lodo acumulado junto ao fundo da lagoa

forma uma zona de digestão anaeróbia.

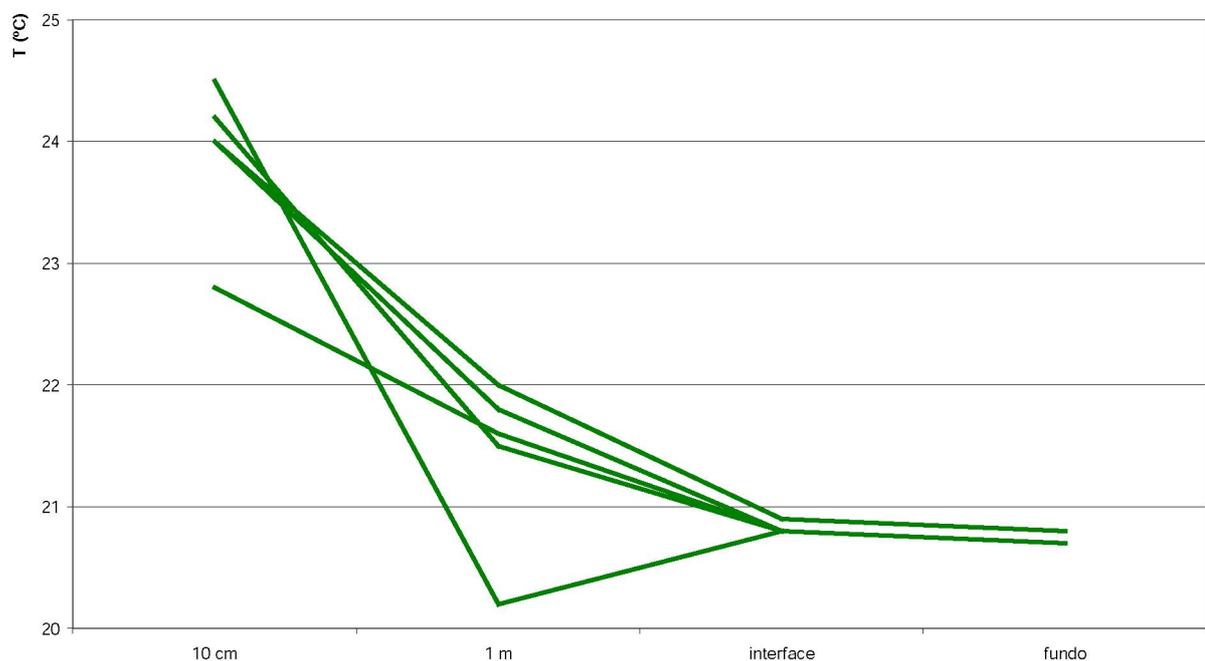
Em um caso hipotético, se fosse descontada uma faixa de acúmulo de lodo de cerca de 1 metro, sendo considerada apenas a altura do líquido, a altura útil destas lagoas seria de aproximadamente 3 metros.

4.2. CONDIÇÕES OPERACIONAIS DAS LAGOAS

Cabe destaque neste contexto a questão das avaliações de parâmetros físico-químicos em função das zonas de profundidade das lagoas.

Uma importante evidência é observada na ETE Verde, conforme gráfico 2. A temperatura medida na camada mais próxima à superfície foi em média 2,5 °C maior que a mensurada na camada a 1 metro de profundidade.

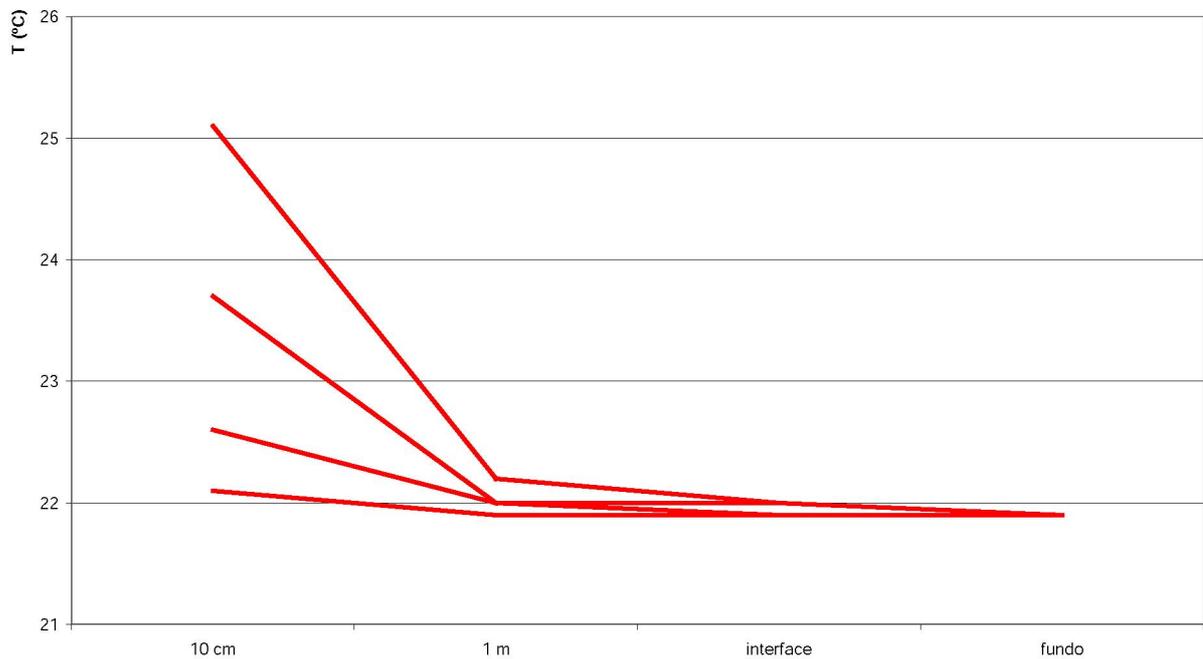
Gráfico 2 – Temperatura na lagoa da ETE Verde em função da profundidade, para as posições escolhidas.



Tendência similar de decréscimo de temperatura conforme a profundidade da lagoa é observada na ETE Ronda, porém com variação mais tênue, da ordem, em média, de 1,2 °C.

O gráfico 3 apresenta a variação de temperatura conforme a profundidade na lagoa da ETE Ronda.

Gráfico 3 – Temperatura na lagoa da ETE Ronda em função da profundidade, para as posições escolhidas.

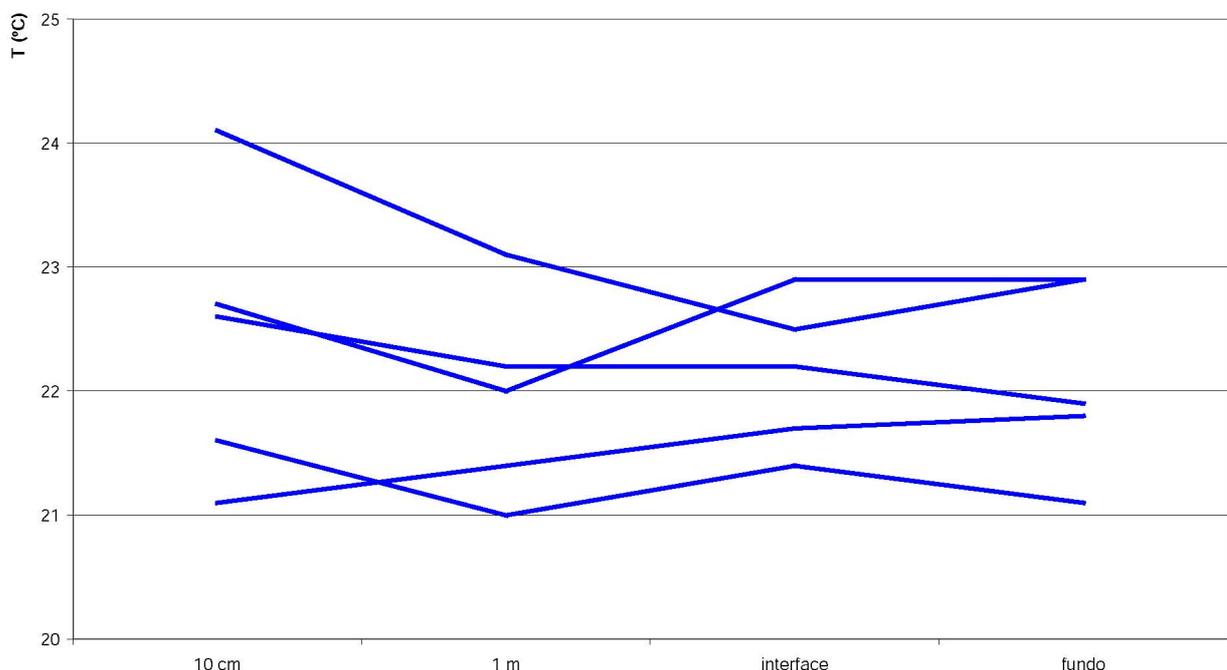


Dos cinco pontos medidos na ETE Olarias, um não apresentou tendência de decréscimo de temperatura entre a camada a 10 cm e a camada a 1 metro da superfície.

Se considerados os quatro pontos de decréscimo de temperatura, a redução de temperatura, em média, foi de 0,7 °C.

O gráfico 4 apresenta a variação de temperatura conforme a profundidade na lagoa da ETE Olarias.

Gráfico 4 – Temperatura na lagoa da ETE Olarias em função da profundidade, para as posições escolhidas.



Cabe ressaltar que a lagoa da ETE Olarias possui profundidade de apenas 2 metros, fato este que poderia ter atenuado a diferença de temperatura entre as faixas de profundidade desta lagoa.

Estas medições de temperatura foram realizadas em um dia com tempo ensolarado, com temperaturas que variaram entre 28 e 30 °C.

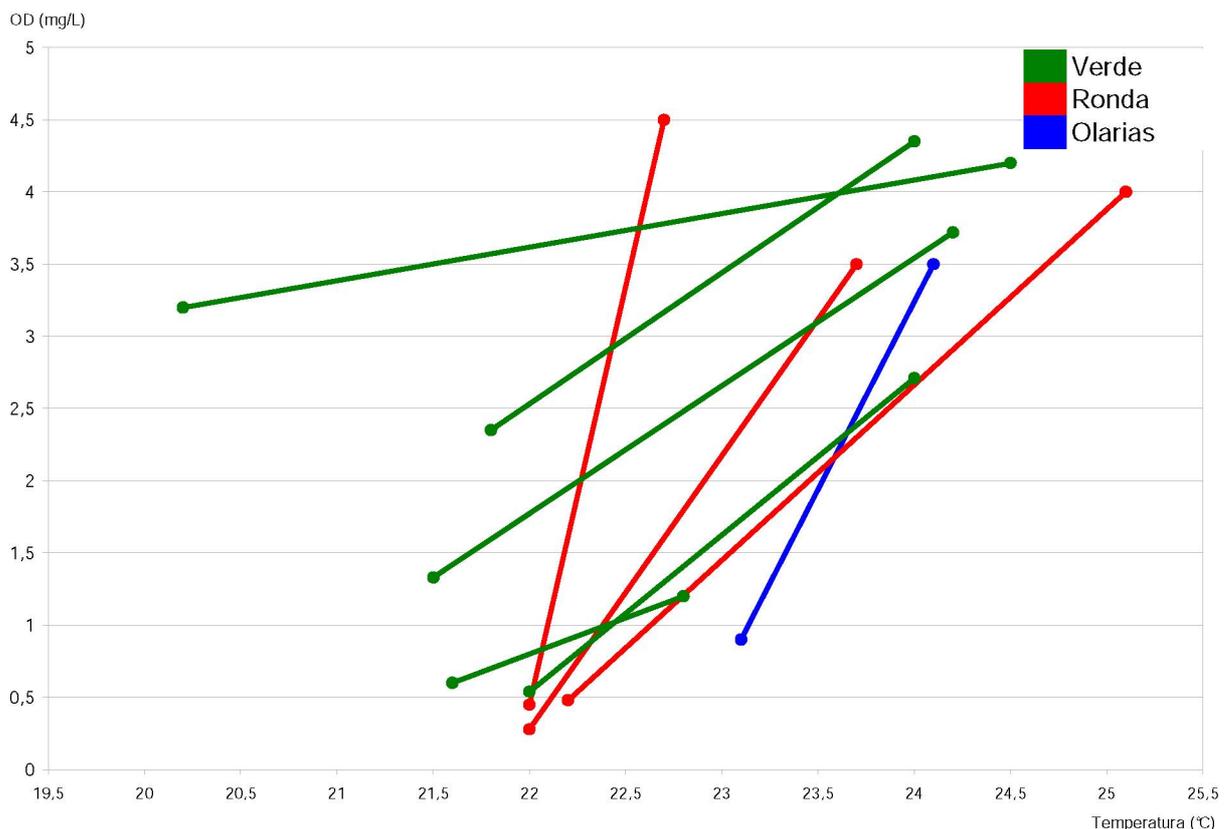
A temperatura é um parâmetro importante para as lagoas. A faixa de temperatura para crescimento de algas se situa entre 5 e 35 °C, sendo a faixa ótima entre 25 e 30 °C (YÁNEZ, 1993, p. 63).

Todas as lagoas avaliadas estão com temperaturas dentro da faixa de crescimento de algas.

Considerando que a região de crescimento de algas é junto à superfície da lagoa, as temperaturas medidas estão levemente abaixo da faixa considerada ótima para o desenvolvimento destes organismos.

Esta tendência foi observada considerando oxigênio dissolvido e temperatura. Na região junto à superfície da lagoa a temperatura mais elevada proporcionou um desenvolvimento de algas que produziram OD, valor este mais elevado que no ponto de medição na camada imediatamente abaixo, conforme demonstra o gráfico 5.

Gráfico 5 – Relação entre temperatura e OD entre as camadas a 1 metro e a 10 cm da superfície das lagoas.



No gráfico 5, os pontos à esquerda representam as medições na camada a 1 metro de profundidade enquanto que os pontos à direita representam as medições na camada a 10 cm da superfície.

Cabe destacar que a temperatura não é o único parâmetro de influência, já que a intensidade solar maior nas primeiras camadas das lagoas é imprescindível para o crescimento das algas.

Quanto ao pH medido nas diferentes camadas das lagoas, há uma tendência de decréscimo conforme a profundidade, maior nas ETE Verde e Ronda e menor na ETE Olarias, conforme gráfico 6, 7 e 8.

Gráfico 6 – Medida do pH na lagoa da ETE Verde em função da profundidade, para as posições escolhidas.

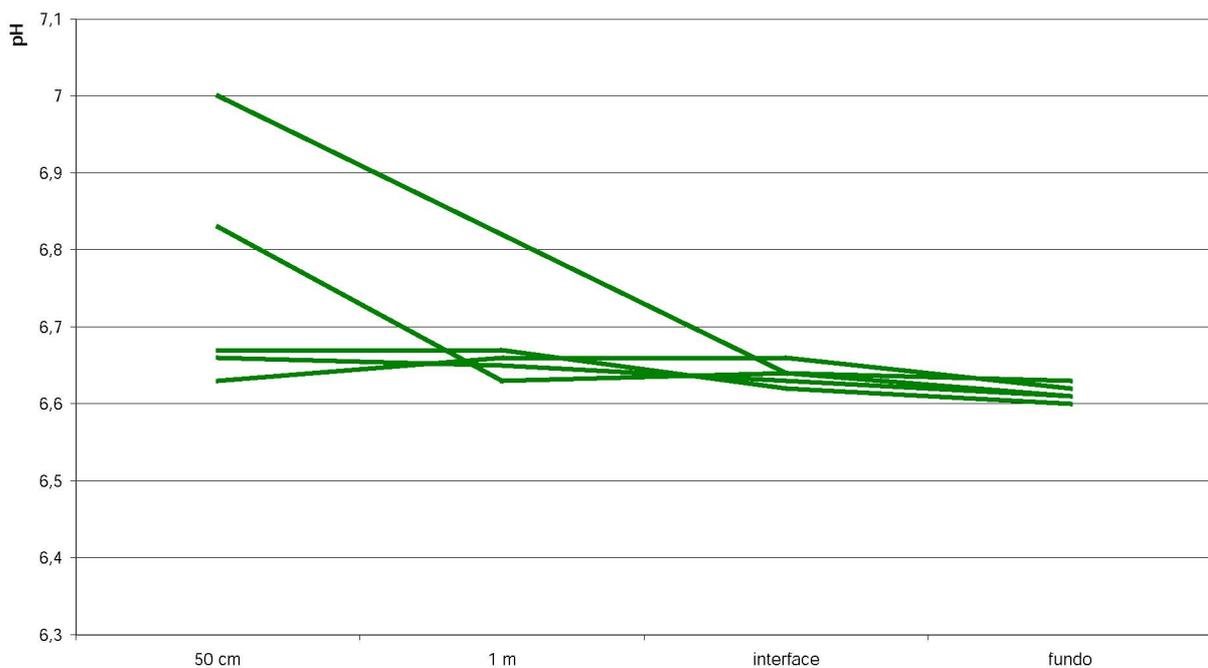


Gráfico 7 – Medida do pH na lagoa da ETE Ronda em função da profundidade, para as posições escolhidas.

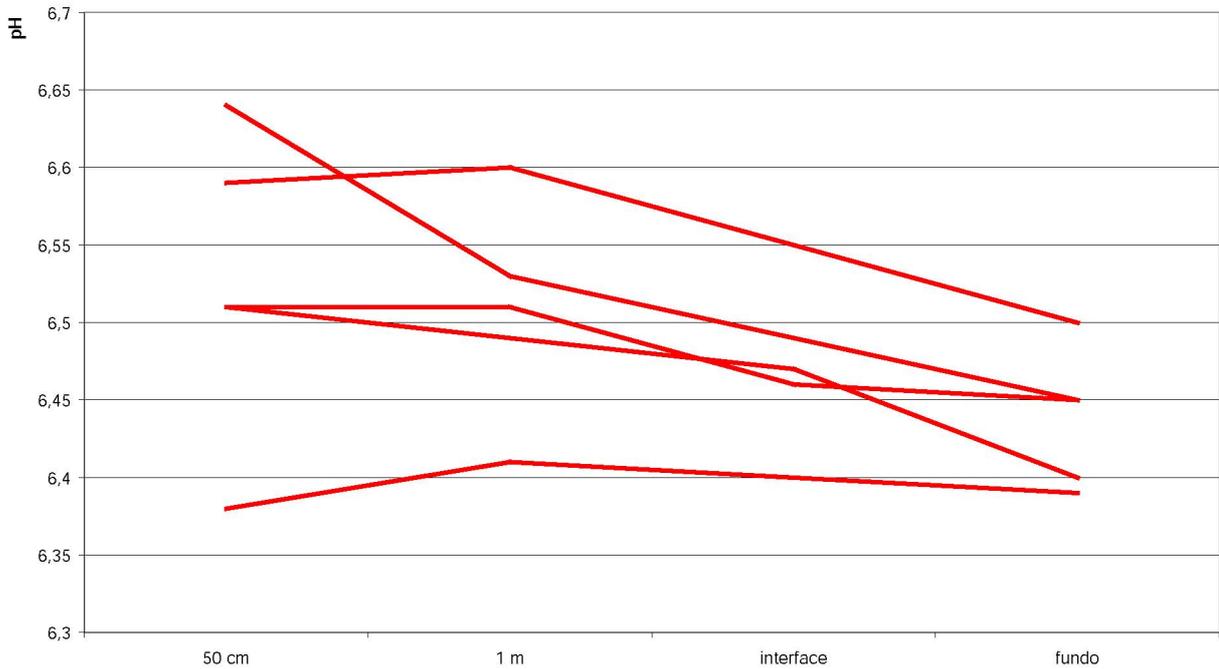
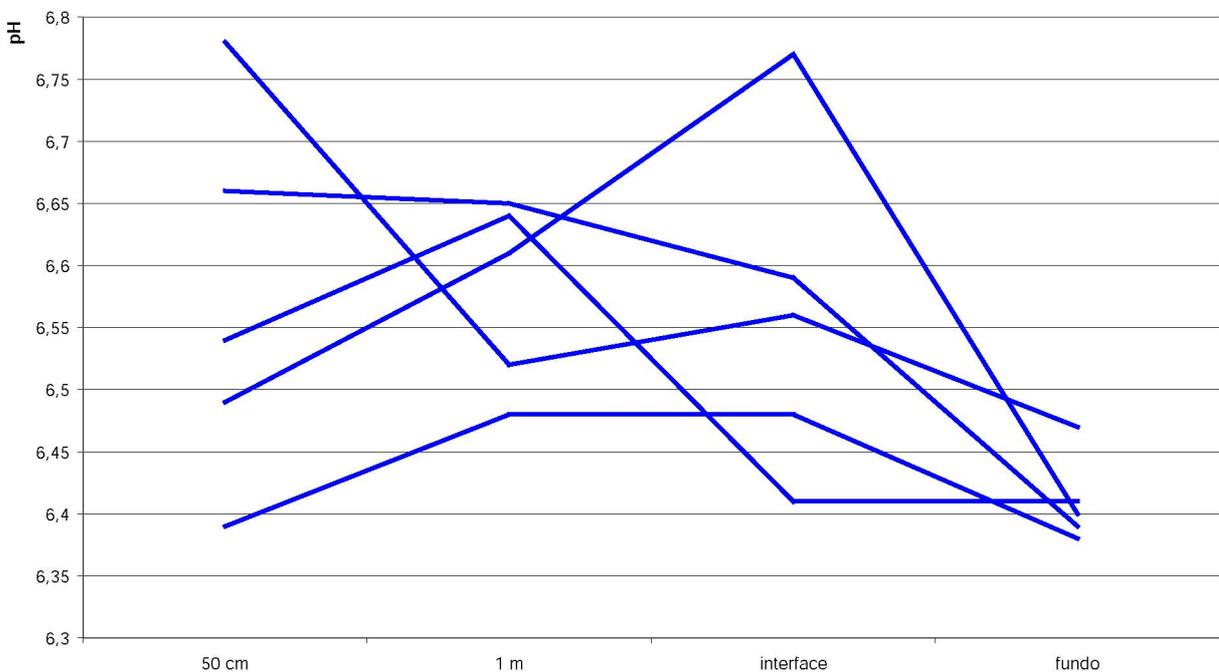


Gráfico 8 – Medida do pH na lagoa da ETE Olarias em função da profundidade, para as posições escolhidas.



A expectativa na medição do pH foi evidenciar o decréscimo deste parâmetro na medida em que a profundidade fosse maior, devido às atividades de fotossíntese das algas ocorridas na camada das lagoas a 10 cm da superfície.

De acordo com Von Sperling (1996) o pH na lagoa varia ao longo do dia e da profundidade.

O pH depende da fotossíntese e da respiração, onde esta produz gás carbônico, conseqüentemente reduzindo o pH; e aquela consome gás carbônico, elevando o pH do meio.

Uma leve tendência neste sentido foi observada na ETE Verde e em algumas medições nas ETE Ronda e Olarias.

Em relação à remoção de nutrientes, representados neste caso pelos parâmetros nitrogênio amoniacal e fósforo total, não houve redução entre os pontos de entrada e saída das lagoas nas amostras coletadas, conforme evidenciado nas tabelas 17 e 18.

Tabela 17 – Eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal.

ETE	N-NH₃ entrada lagoa (mg/L)	N-NH₃ saída lagoa (mg/L)
Verde	24	27
Ronda	23	21
Olarias	44	43

Tabela 18 – Eficiência de remoção de fósforo.

ETE	Fósforo Total entrada lagoa (mg/L)	Fósforo Total Saída lagoa (mg/L)
Verde	0,22	0,23
Ronda	0,22	0,21
Olarias	0,41	0,41

Os valores medidos de entrada e saída, tanto de nitrogênio amoniacal como de fósforo, foram próximos, sendo considerada a diferença, para efeito de cálculo de eficiência, dentro da faixa de erro do procedimento analítico.

Estas avaliações não são decisivas para a avaliação da ocorrência ou não da nitrificação, no caso do nitrogênio amoniacal. Isto porque não existem históricos de monitoramento deste parâmetro. A avaliação deste trabalho corresponde a uma única amostragem no mês de julho, período adverso em relação às condições climáticas.

A ausência de histórico se aplica também para o parâmetro fósforo total. A

baixa concentração já nos pontos afluente às lagoas também dificultou a análise.

Desta forma, estes dados podem servir como referência inicial para estudos complementares, avaliando diferentes condições de operação.

4.3. CARGA ORGÂNICA APLICADA

A questão climática é decisiva para a relação de taxa de aplicação de carga orgânica nas lagoas.

A tabela 19 apresenta as cargas e taxas orgânicas aplicadas nas lagoas do município de Ponta Grossa.

Tabela 19 – Carga orgânica aplicada na lagoa.

ETE	Área (ha)	DQO entrada média (mg/L)	Carga Total Aplicada DQO (kg/d)	Taxa Superficial Aplicada DQO (kg/ha x d)	DBO entrada média (mg/L)	Carga Total Aplicada DBO (kg/d)	Taxa Superficial Aplicada DBO (kg/ha x d)
Verde	2,08	115	1.838	884	51	827	400
Ronda	2,11	139	937	444	63	422	201
Olarias	0,78	120	456	585	54	205	254

Mesmo para climas moderados, segundo Von Sperling (1996), a taxa limitante de carga de DBO se situa em 240 kg DBO / ha x d.

Neste sentido, as lagoas das ETE Ronda e Olarias, com 201 e 254 kg DBO / ha x d, respectivamente, estão dentro da faixa limite de aplicação de carga orgânica.

Já a ETE Verde, com taxa de 400 kg DBO / ha x d, está acima da faixa recomendada em função do clima da região correspondente ao município de Ponta Grossa.

As medições de carga orgânica foram executadas tanto em DQO como em DBO, porém, para efeitos de avaliação da carga aplicada, consideramos apenas a DBO por ser o parâmetro de referência da literatura técnica correspondente.

Diferentemente da associação da carga ao clima, Azevedo Netto e Lothar Hess (1970), prefere estabelecer a taxa de aplicação de carga orgânica em função

do tipo de lagoa, considerando uma taxa de 450 kg DBO / ha x d para lagoas anaeróbias, 160 kg DBO / ha x d para lagoas facultativas e 150 kg DBO / ha x d para lagoas aeradas.

Esta observação é importante, pois cabe ressaltar que originalmente a lagoa da ETE Verde foi projetada para operar como lagoa anaeróbia. Neste sentido a carga aplicada na ETE Verde está compatível ao seu projeto original.

Um elemento fundamental nesta análise é que o fator que determina esta elevada taxa aplicada na ETE Verde é a vazão do esgoto.

A tabela 20 apresenta as médias de vazão, as taxas superficiais, cargas volumétricas e os TDH de projeto e operação das lagoas das ETE avaliadas.

Tabela 20 – Dados de vazão, taxas superficiais, cargas volumétricas e TDH das lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias.

ETE	Vazão de Projeto (L/s)	Vazão Operacional (L/s)	Volume da Lagoa (m ³)	Taxa de Aplicação Superficial (m ³ /m ² x d)	Carga Orgânica Volumétrica Aplicada (g DBO/m ³)	TDH projeto (dia)	TDH operação (dia)
Verde	210	185	83.200	0,77	14	5	5
Ronda	140	78	84.448	0,32	6	7	13
Olarias	70	44	15.660	0,49	24	3	4

Para cálculo da taxa de aplicação superficial foi considerada a vazão aplicada em m³ por dia dividido pela área da lagoa.

Para cálculo da carga orgânica volumétrica aplicada foi considerada a DBO aplicada em gramas dividido pelo volume útil da lagoa.

Os gráficos 9, 10 e 11 apresentam a variação das vazões, médias mensais, entre 2007 e 2013, das ETE Verde, Ronda e Olarias, respectivamente.

Gráfico 9 – Vazão média mensal da ETE Verde.

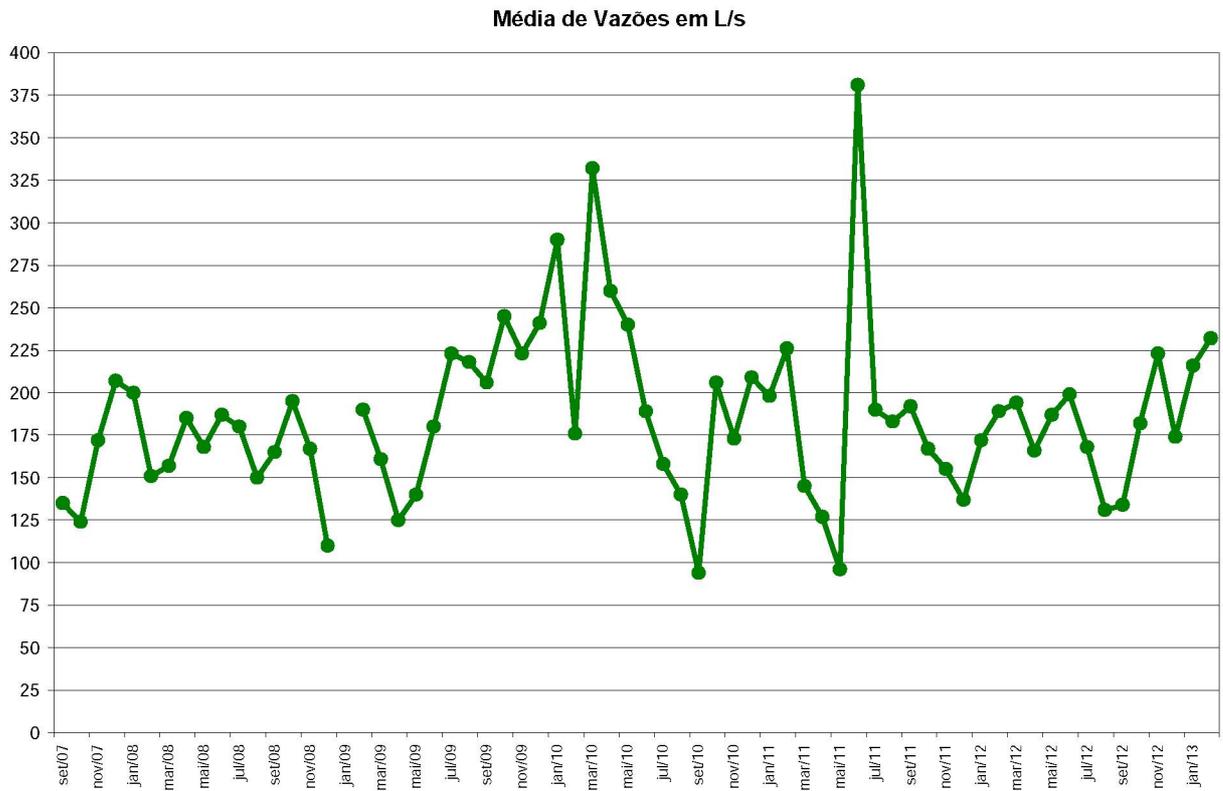


Gráfico 10 – Vazão média mensal da ETE Ronda.

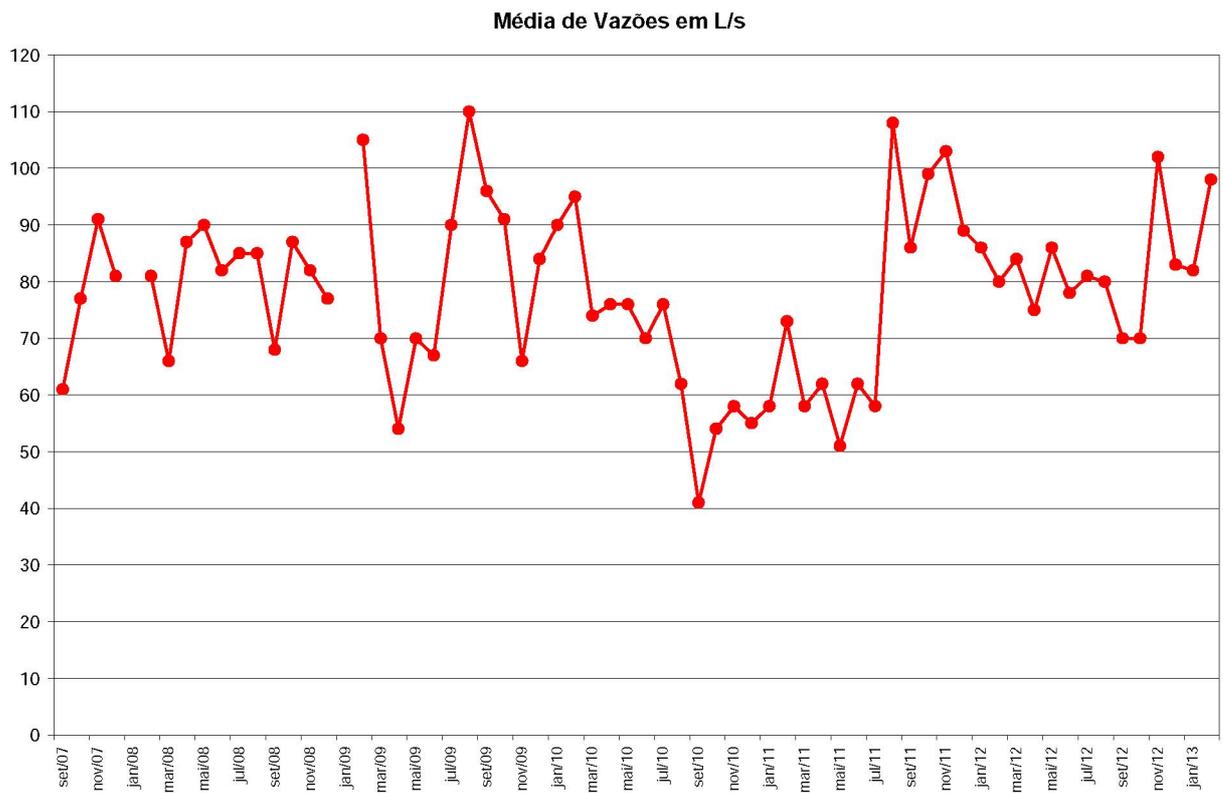
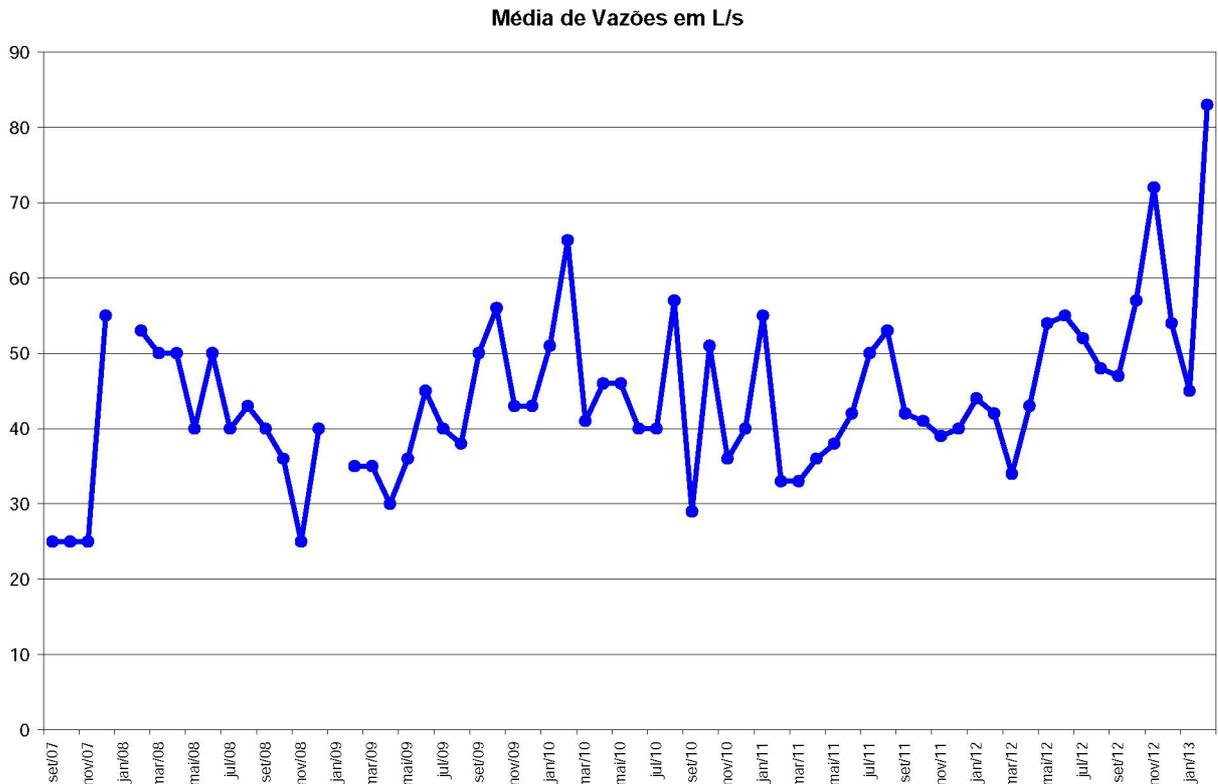


Gráfico 11 – Vazão média mensal da ETE Olarias.



Cabe destacar em relação às vazões que foram consideradas médias de dados totalizados ao final de cada mês, ao longo do período considerado para análise.

Comparativamente, a lagoa da ETE Ronda possui volume de 84.448 m³, enquanto que a lagoa da ETE Verde possui volume praticamente similar, de 83.200 m³. Contudo, a vazão de tratamento da ETE Ronda é de 78 L/s, enquanto que na ETE Verde a vazão operacional média é 185 L/s.

Assim, o tempo de detenção hidráulica da ETE Verde é de 5 dias, enquanto que o TDH da ETE Ronda é de 13 dias.

Em relação ao tempo de detenção hidráulica, Von Sperling (1996), estabelece 3 a 6 dias para lagoas anaeróbias, enquanto que Jordão e Pessoa (2011) considera razoável TDH entre 2 e 5 dias. Já estes autores convergem para o TDH entre 15 e 45 dias para lagoas facultativas.

O mesmo raciocínio quanto ao TDH se aplica no comparativo entre lagoas das ETE Verde e Ronda, onde aquela foi dimensionada para operar como lagoa anaeróbia e esta como lagoa facultativa.

Contudo, o TDH da ETE Olarias de 4 dias, a profundidade de 2 metros e a carga orgânica aplicada de 254 kg DBO/ha x d são taxas bastante distintas.

Caso a ETE Olarias operasse dentro da vazão de projeto, isto é, 70 L/s, o tempo de detenção hidráulica seria de apenas 3 dias.

4.4. EFICIÊNCIA DAS LAGOAS

As eficiências em termos de DBO das lagoas apresentaram 33, 60 e 44 % para as ETE Verde, Ronda e Olarias, respectivamente, conforme observado na tabela 21.

Tabela 21 – Eficiência das lagoas.

ETE	DQO média entrada LAGOA (mg/L)	DQO média saída LAGOA (mg/L)	Eficiência LAGOA DQO (%)	DBO média entrada LAGOA (mg/L)	DBO média saída LAGOA (mg/L)	Eficiência LAGOA DBO (%)
Verde	115	94	18	52	35	33
Ronda	139	85	39	63	25	60
Olarias	120	93	23	54	30	44

Se consideradas as indicações de Riva Mijares (1978) que prevê eficiência entre 73 e 95 % de DBO para lagoas de estabilização de uma forma geral, as eficiências das lagoas avaliadas estão abaixo do esperado.

Contudo, a questão da eficiência em percentual é relativa, já que o bom desempenho dos reatores anaeróbios fornece um esgoto já com concentração relativamente baixa, conforme demonstra a tabela 22.

Tabela 22 – Eficiência RALF.

ETE	DQO média entrada RALF (mg/L)	DQO média saída RALF (mg/L)	Eficiência RALF DQO (%)	DBO média entrada RALF (mg/L)	DBO média saída RALF (mg/L)	Eficiência RALF DBO (%)
Verde	529	115	78	202	52	74
Ronda	432	139	68	198	63	68
Olarias	474	120	75	214	54	75

Individualmente, as lagoas apresentaram eficiência razoável, contudo cabe ressaltar que o esgoto afluente já é oriundo de RALF com desempenho satisfatório, de 74, 68 e 75 % para as ETE Verde, Ronda e Olarias, respectivamente.

Neste sentido, o bom desempenho das lagoas é evidenciado pelos resultados medidos no efluente final, com concentrações variáveis entre 25 e 35 mg/L de DBO.

Jordão e Pessoa (2001) indica eficiência de 50 a 75 % de remoção em termos de DBO para lagoas anaeróbias. Contudo, considera padrão um efluente apresentar DBO entre 20 e 50 mg/L, podendo até ser reduzido entre 15 a 30 caso haja separação das algas do meio líquido.

As médias de DBO efluente das lagoas, de 35, 25 e 30 mg/L para as lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias, nesta ordem, apontam desempenho satisfatório.

As eficiências globais das ETE são relativamente boas, com 83, 87 e 86 % de remoção de DBO, conforme apresentado na tabela 23.

Tabela 23 – Eficiência global.

ETE	DQO média entrada ETE (mg/L)	DQO média saída ETE (mg/L)	Eficiência ETE DQO (%)	DBO média entrada ETE (mg/L)	DBO média saída ETE (mg/L)	Eficiência ETE DBO (%)
Verde	529	94	82	202	35	83
Ronda	432	85	80	198	25	87
Olarias	474	93	80	214	30	86

Nesta avaliação o destaque se dá em função da estabilidade dos resultados das lagoas, isto é, apesar da grande variação de concentração de carga afluente, o esgoto tratado não sofreu variações bruscas de qualidade, conforme demonstram os gráficos 12, 13 e 14.

Gráfico 12 – Concentração de DBO afluente e efluente da ETE Verde.

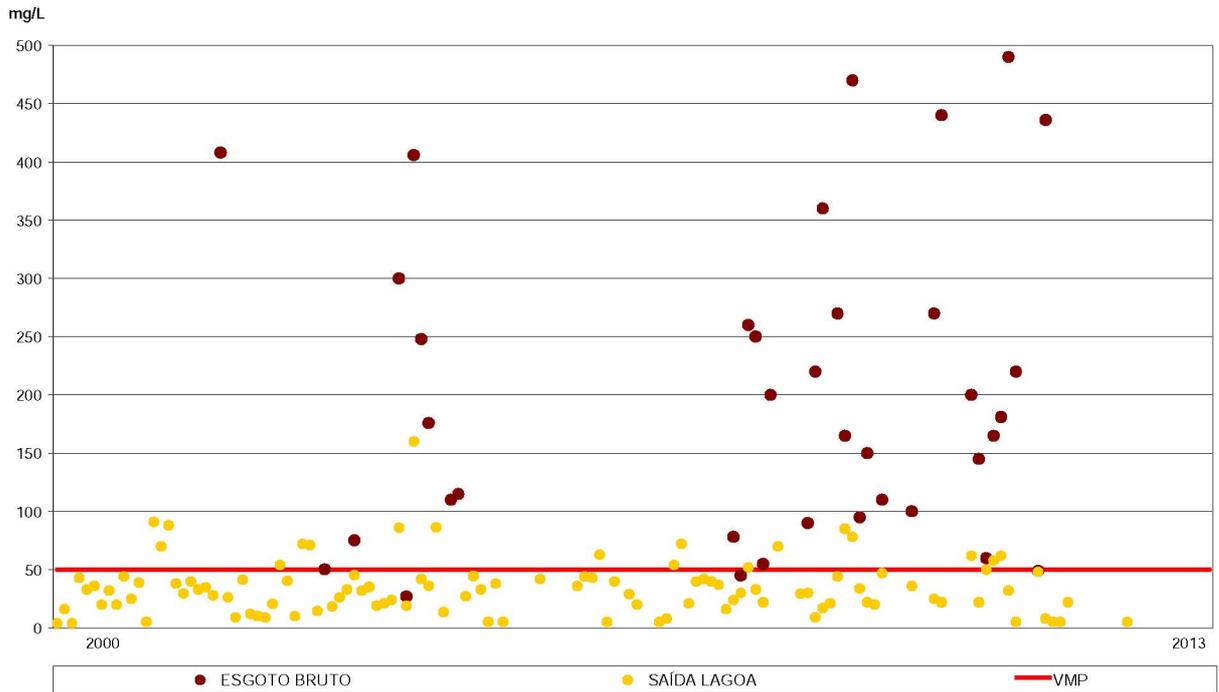


Gráfico 13 – Concentração de DBO afluente e efluente da ETE Ronda.

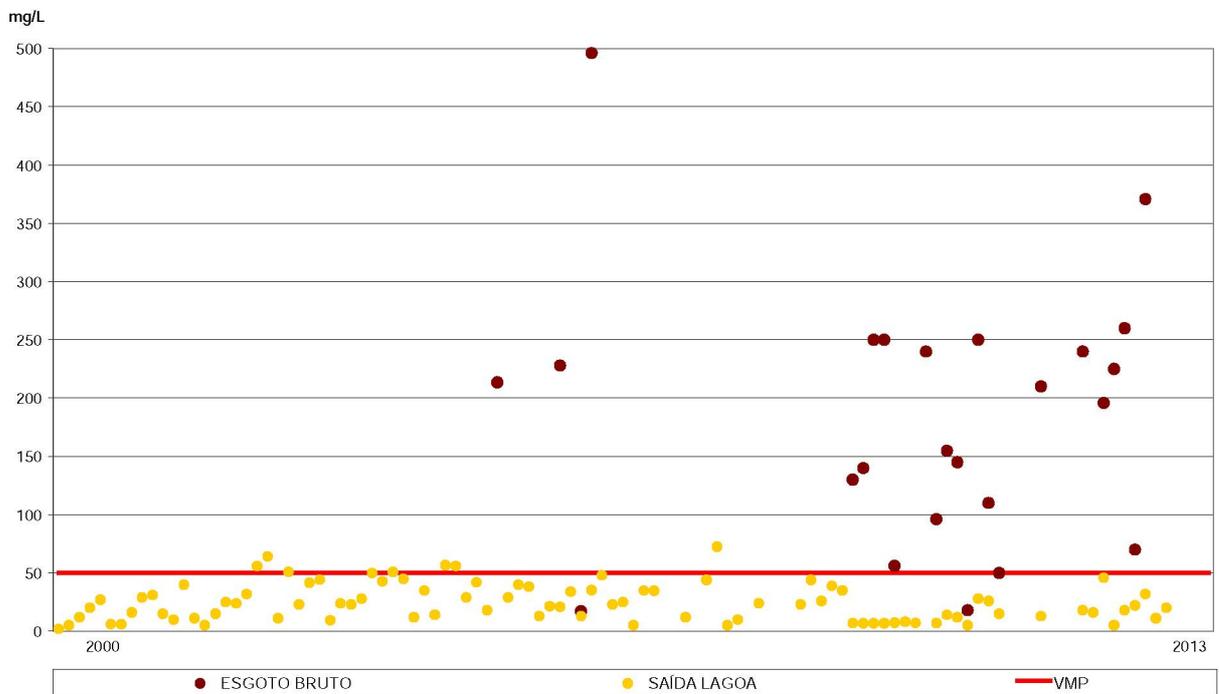
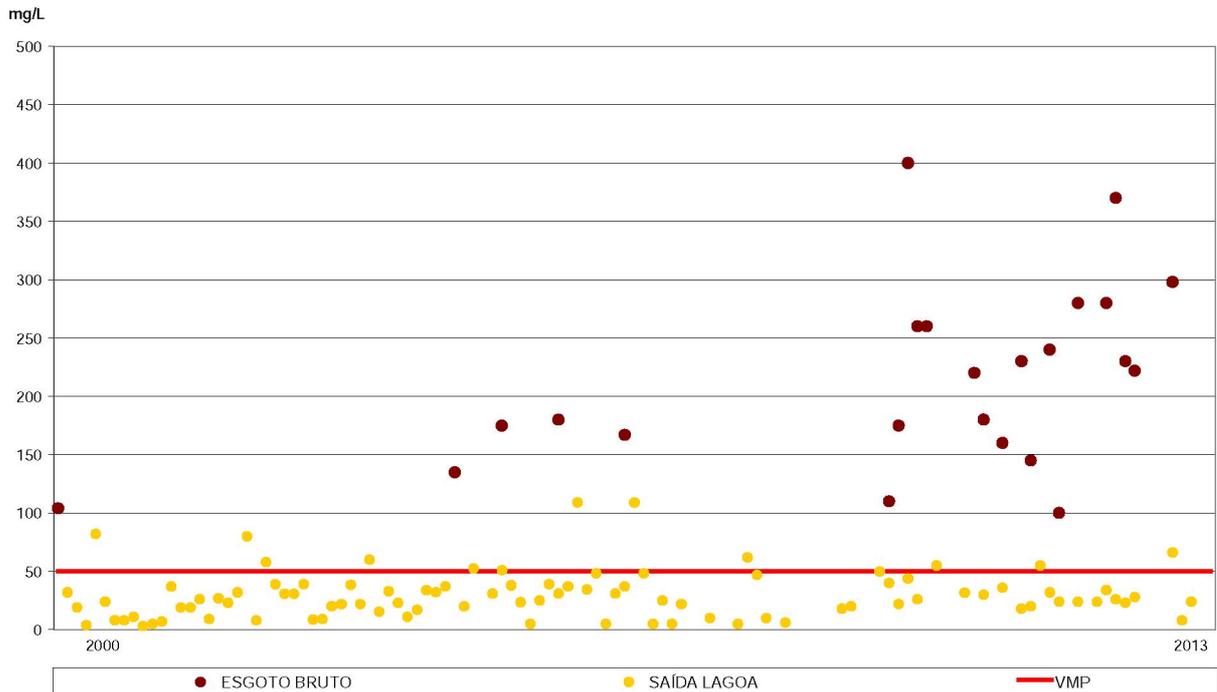


Gráfico 14 – Concentração de DBO afluente e efluente da ETE Olarias.



As ETE Verde, Ronda e Olarias não recebem cargas de fossas sépticas provenientes de caminhões auto-fossas, bem como não possuem, dentro da área de abrangência da rede coletora correspondente ao esgoto afluente à estas estações, ligações formais de esgoto oriundo de atividades industriais.

O ponto preponderante, cabe mais uma vez este destaque, é a estabilidade dos resultados, já que nas avaliações dos últimos 13 anos foram observados poucas amostras fora da faixa típica do padrão de tratamento.

4.5. O ACÚMULO DE LODO NAS LAGOAS

A essência deste trabalho é a quantificação do volume de lodo acumulado e suas relações com as diferentes taxas e condições operacionais das lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias.

Em Franci (1999) alguns fatores são relacionados os quais influenciam diretamente na acumulação do lodo. São eles: carga aplicada, tempo de uso da lagoa, eficiência de remoção de sólidos à montante do tratamento e eficiência de remoção da carga orgânica.

A questão da eficiência de remoção de sólidos à montante das lagoas é aplicável sobretudo para lagoas primárias. Por este motivo esta influência foi desconsiderada da análise, já que o esgoto tratado nas lagoas passa por um tratamento prévio por meio de gradeamento e desarenador e ainda é tratado biologicamente em reatores anaeróbios.

O tempo de detenção hidráulica, apesar de não ter relação direta com o acúmulo de lodo, foi considerado na avaliação, pois diversas recomendações de projeto e operação relacionam este parâmetro.

Das avaliações de medição de lodo acumulado, foram calculados 23.614, 15.587 e 7.246 m³ de lodo para as ETE Verde, Ronda e Olarias, nesta ordem, conforme apresentado na tabela 24.

Tabela 24 – Volumes e taxas de lodo acumulado.

ETE	Volume Lodo (m³)	Saturação (%)	Média Anual de Elevação da Camada de Lodo (cm/ano)	Acúmulo de Lodo por População Atendida (L / hab x d)
Verde	23.614	28	3,8	336
Ronda	15.587	20	2,9	371
Olarias	7.246	46	4,6	114

Algumas relações diretas do acúmulo de lodo podem ser feitas, considerando carga orgânica aplicada, eficiência e tempo de operação.

Em relação à carga orgânica aplicada em DBO, temos 827, 422 e 205 kg/d para as ETE Verde, Ronda e Olarias, respectivamente.

Neste sentido, a relação de carga aplicada é diretamente proporcional ao acúmulo de lodo, ou seja, quanto maior a carga aplicada maior foi o volume de lodo medido nas lagoas.

Em relação à eficiência das lagoas, temos que a ETE Verde apresenta remoção de 33 % da carga orgânica em DBO, enquanto que a ETE Ronda 60 % e a ETE Olarias 44 %. Assim, as ETE Verde, Ronda e Olarias removem em média 270, 246 e 91 kg/d de DBO.

A análise em termos de volume de lodo acumulado considerando a eficiência de remoção acompanha a mesma relação de carga aplicada, onde quanto maior foi a remoção de DBO maior foi o volume de lodo acumulado.

A questão da eficiência em termos percentuais tem relação direta com o TDH e a condição operacional da lagoa, esta última em relação ao deslocamento do fluxo. Para efeito de acúmulo de lodo a eficiência neste caso se aplica para a determinação da carga orgânica removida.

Embora a ETE Verde apresente a menor eficiência em termos percentuais, para efeito de avaliação do acúmulo de lodo, por receber maior carga afluente acaba removendo uma quantidade maior de DBO em kg/d, o que gera maior quantidade de lodo.

Por fim, nestas avaliações de influência direta, quanto maior o tempo de operação maior foi o volume de lodo acumulado, já que as lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias operam há 30, 25 e 20 anos, respectivamente.

Cabe destacar que estas análises prévias são relações diretas em função do volume total de lodo medido.

Três relações de acúmulo referenciadas em literatura foram destacadas, as quais serão comparadas com os dados obtidos nas lagoas em questão.

Estas taxas de acúmulo são importantes no sentido de fornecerem um indicador que possa balizar a tomada de ações para intervenção nas lagoas, atividades estas objetivando a remoção do lodo acumulado, mantendo assim as lagoas em condições operacionais ideais para fornecerem bons resultados no tratamento do esgoto.

A primeira relação é estabelecida em Franci (1999) onde são consideradas várias lagoas em operação por períodos superiores a 15 anos com mais de 50 % do seu volume útil ocupado por lodo, com relações complexas de remoção.

Dois casos no Estado do Espírito Santo, nas lagoas de Camburi e Valparaíso, onde foram esvaziadas as lagoas, por semanas, sendo que (...) o lodo ainda estava com umidade relativamente elevada. Em Valparaíso foi necessário a ruptura do talude para remoção do lodo (FRANCI, 1999, p. 1).

Do volume total das lagoas, 28 % é ocupado por lodo na ETE Verde, 20 % na ETE Ronda e 46 % na ETE Olarias.

A primeira observação cabe a relação de 46 % de lodo acumulado em função do volume total da lagoa da ETE Olarias. Este valor foi destacado em comparação com as outras lagoas, onde, apesar de estarem operando por mais tempo, apresentaram uma relação entre volume de lodo e volume total da lagoa menor.

Contudo, mesmo a ETE Olarias apresenta menos que 50 % de volume útil ocupado por lodo, ficando assim todas as lagoas avaliadas abaixo da referência de 50 % de saturação em lagoas com operação contínua superior a 15 anos.

A maior saturação de lodo na ETE Olarias deve ter ocorrido em função do tamanho da lagoa. A taxa de acúmulo de lodo da lagoa da ETE Olarias em relação à população correspondente de atendimento da estação, relação esta detalhada a seguir, é similar ao da ETE Ronda, mas carga orgânica volumétrica aplicada, de 24 g/m³, possivelmente foi responsável pela relação maior entre volume de lodo e volume total da lagoa.

Em Silva apud Von Sperling (1996), através de medições em duas lagoas facultativas no Estado de São Paulo, o acúmulo de lodo foi relacionado ao aumento da altura da camada de lodo na lagoa, onde foram considerados acréscimos médios de 1,5 a 2,3 cm de lodo por ano de operação das lagoas.

Nestes termos, a média de acúmulo de lodo por ano foi de 3,8, 2,9 e 4,6 cm para as lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias, nesta ordem.

Para esta relação de crescimento médio anual da camada de lodo, em todas as lagoas avaliadas as taxas de acúmulo ficaram acima do referenciado.

A taxa de acúmulo em relação à elevação média anual da camada de lodo, de 4,6 cm na ETE Olarias, é a maior entre as lagoas avaliadas, pois neste quesito foi considerada a área de decantação, em metros quadrados, relativamente menor nesta lagoa.

A lagoa da ETE Olarias, apesar de apresentar taxa de aplicação volumétrica de 0,49 m³ / m² x d, não muito superior à taxa de 0,32 m³ / m² x d da ETE Ronda, merece maior atenção, pois é a mais rasa dentre todas, com apenas 2 metros de profundidade.

Assim, se a relação de elevação média anual da camada de lodo é maior, sendo a lagoa de menor profundidade, a saturação da lagoa nesta ETE é a que ocorrerá primeiro dentre as avaliadas.

Tal fato foi constatado nas medições, já que em 20 anos de operação a ETE Olarias já apresentou 46 % do volume útil ocupado por lodo e a maior elevação média anual da camada de lodo, 4,6 cm/ano.

Franci (1999) considera taxas de acumulação de lodo desde 0,08 até 0,4 L / hab x d e mesmo taxas menores, de 0,03 a 0,08 (Franci apud Arceivala) (1981).

As taxas de acúmulo de lodo encontradas foram 0,015 L / hab x d para a

lagoa da ETE Verde e 0,028 L / hab x d para as lagoas das ETE Ronda e Olarias.

Estas taxas de acúmulo em função da quantidade de população atendida ficaram abaixo do referenciado em todas as ETE avaliadas.

Conforme apontamento, a ETE Verde apresentou praticamente a metade da taxa de acúmulo das demais ETE.

Esta taxa menor na ETE Verde foi influenciada pela maior vazão de operação, que reduz o TDH consideravelmente e eleva a carga orgânica e volumétrica aplicada.

Considerando isoladamente as taxas de acúmulo e comparando a ETE Verde com a ETE Ronda, pelo fato de que esta possui a taxa de acúmulo praticamente o dobro daquela, a tendência é avaliar que a ETE Ronda acumula mais lodo que a ETE Verde.

Entretanto, esta relação não se aplica considerando que a camada de lodo acumulado na ETE Ronda cresce em média 2,9 cm de altura por ano, enquanto que na ETE Verde o acréscimo é de 3,8 cm por ano.

Nesta avaliação, a taxa de acúmulo de lodo considerando a população atendida é bastante relativa, pois não considera o tempo de detenção hidráulica da lagoa e a taxa volumétrica aplicada.

A tabela 25 apresenta os dados de população atendida das ETE de Ponta Grossa.

Tabela 25 – População atendida.

ETE	Vazão Média (L/s)	Consumo Médio Economias (L/d)	Taxa de Ocupação (hab / econ)	População Atendida (n°)
Verde	185	358,26	3,25	145.000
Ronda	78	358,26	3,25	61.265
Olarias	44	358,26	3,25	34.560

O cálculo da quantidade de habitantes atendida por uma ETE considera o volume diário de tratamento da estação dividido pelo consumo médio diário de água por habitante.

Este consumo *per capita* é estimado a partir da média das medições da quantidade de água consumida em uma residência, medida através de hidrômetros, dividido pela taxa de ocupação dos imóveis, identificada no censo do instituto

brasileiro de geografia e estatística (IBGE).

Desta forma, a ETE Verde, por atender uma população aproximada de 145.000 habitantes, acaba tendo sua taxa de acúmulo em função da população atendida reduzida, já que a ETE Ronda atende aproximadamente 61.265 habitantes e a ETE Olarias 34.560 habitantes.

Neste sentido, os volumes e as áreas das lagoas das ETE Verde e Ronda são praticamente similares, contudo as relações de TDH, carga orgânica e volumétrica aplicada e população atendida são bastante distintas.

As medições do volume de lodo acumulado forneceram, portanto, três parâmetros: percentual de saturação da lagoa, taxa de lodo acumulado e elevação da altura da camada de lodo.

O percentual de saturação é derivado da relação entre volume de lodo e volume da lagoa.

A taxa de lodo acumulado considera volume de lodo, população atendida e tempo de operação.

A elevação média anual da camada de lodo considera volume de lodo, área da lagoa e tempo de operação.

Conforme já explicitado, operacionalmente a busca por um indicador para o acúmulo de lodo no sentido de prever o momento adequado de intervenção nas lagoas é fundamental.

Neste sentido, o primeiro parâmetro, percentual de saturação, é descoberto apenas quando é realizada a medição do volume de lodo da lagoa. Portanto é um indicador de condição operacional de momento, não se aplicando para previsões.

O segundo parâmetro, que considera a população atendida e tempo de operação, conforme demonstrado, não é um indicador preciso, já que não considera a lagoa em si, mas o esgoto a ser tratado.

O terceiro parâmetro, elevação média anual da camada de lodo, balizado em área da lagoa e tempo de operação, considera apenas a lagoa e despreza o esgoto a ser tratado.

Dos três parâmetros, o indicador mais aplicável para projeções do momento de intervenção na lagoa para remoção de lodo é a elevação média anual da camada de lodo.

Isto é justificável através de uma simulação, utilizando-se, a título de demonstração, a ETE Ronda, de menor acúmulo em termos de elevação média

anual da camada de lodo, de 2,9 cm / ano.

Multiplicando-se 2,9 cm / ano por 25 anos de operação, a altura média da camada de lodo da lagoa da ETE Ronda é 72,5 cm. Cabe lembrar que estes são dados reais.

Agora, alterando a taxa de acúmulo da ETE Ronda pela taxa da ETE Olarias, a maior entre as avaliadas, de 4,6 cm / ano, a altura média da camada de lodo da lagoa da ETE Ronda passa a ter 115 cm, uma diferença média de 42,5 cm em uma altura útil de 4 metros, o que representa um erro da ordem de 10 %.

Esta margem de erro é admissível sob enfoque operacional, podendo este indicador orientar a operação para tomada de ações, planejando a execução dos trabalhos para remoção de lodo a longo prazo.

O volume de lodo acumulado pode ser associado à carga orgânica removida, em termos de DBO, ao longo do tempo de operação das lagoas, conforme apresentado na tabela 26.

Tabela 26 – Volume de lodo acumulado por carga orgânica removida em DBO.

ETE	Tempo de Operação (ano)	DBO Removida média (kg/d)	DBO Removida Total (kg)	Volume de Lodo Acumulado (m ³)	Taxa de Acúmulo (L/kg DBO)
Verde	30	270	2.956.500	23.614	8,0
Ronda	25	246	2.244.750	15.587	6,9
Olarias	20	91	664.300	7.246	10,9

Neste exercício, considerando as médias de 270, 246 e 91 kg/d de carga de DBO removida nas lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias, respectivamente, temos 2.956.500, 2.244.750 e 664.300 kg de DBO total removida nos tempos de operação correspondentes. Dividindo os volumes de lodo acumulado, 23.614, 15.587 e 7.246 m³ para as lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias, nesta ordem, pela carga total de DBO removida de cada lagoa, temos 8,0, 6,9 e 10,9 litros de lodo acumulado para cada kg de DBO removida.

Cabe destacar que a performance operacional da lagoa deve ser levada em conta. Se uma ETE está tendo um bom desempenho em termos de remoção de carga orgânica, todos os cuidados devem ser tomados para que esta condição não seja prejudicada, já que a remoção do lodo acabará alterando toda a dinâmica da

lagoa, tanto em termos hidráulicos como microbiológicos.

O parâmetro sólidos suspensos totais (SST) pode indicar arraste de lodo com o efluente, evidenciando uma eventual situação crítica.

Os valores médios, máximos e mínimos dos sólidos suspensos totais do efluente das lagoas avaliadas podem ser observados na tabela 27.

Tabela 27 – Análise de sólidos suspensos totais do efluente das lagoas.

ETE	SST Média (mg/L)	SST Máximo (mg/L)	SST Mínimo (mg/L)
Verde	22	55	5
Ronda	26	53	6
Olarias	30	52	5

Os gráficos 15, 16 e 17 apresentam os resultados de sólidos suspensos totais das lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias, respectivamente.

Gráfico 15 – Sólidos suspensos totais do efluente da ETE Verde.

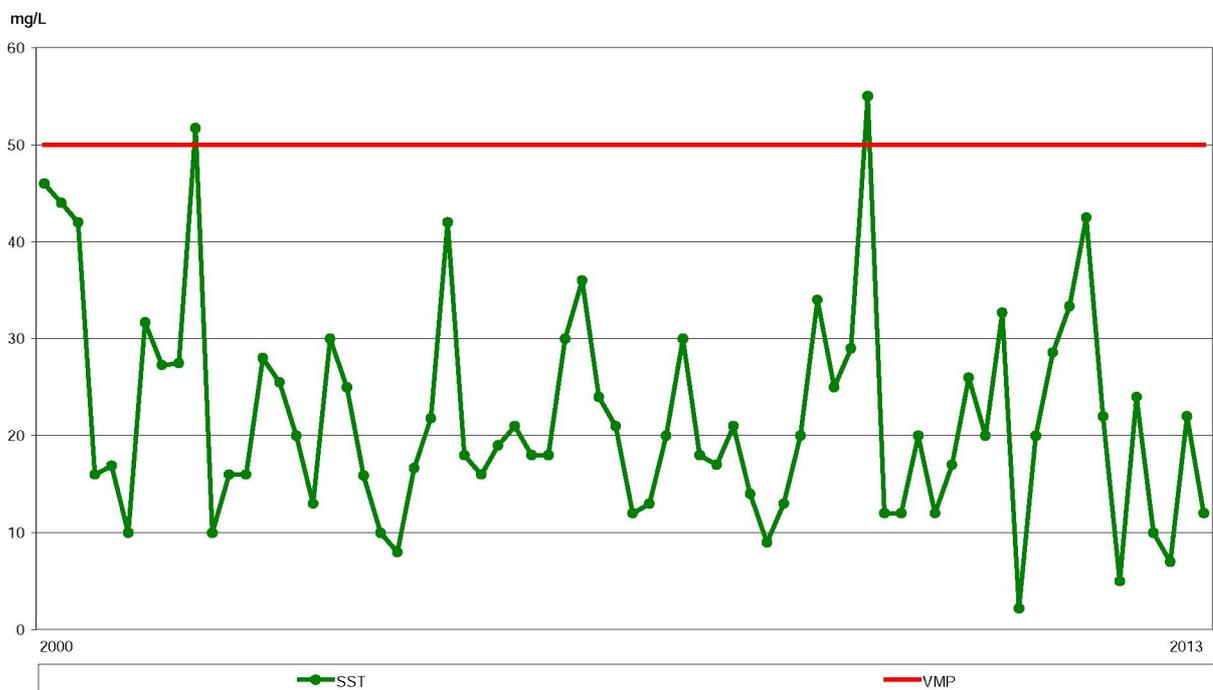


Gráfico 16 – Sólidos suspensos totais do efluente da ETE Ronda.

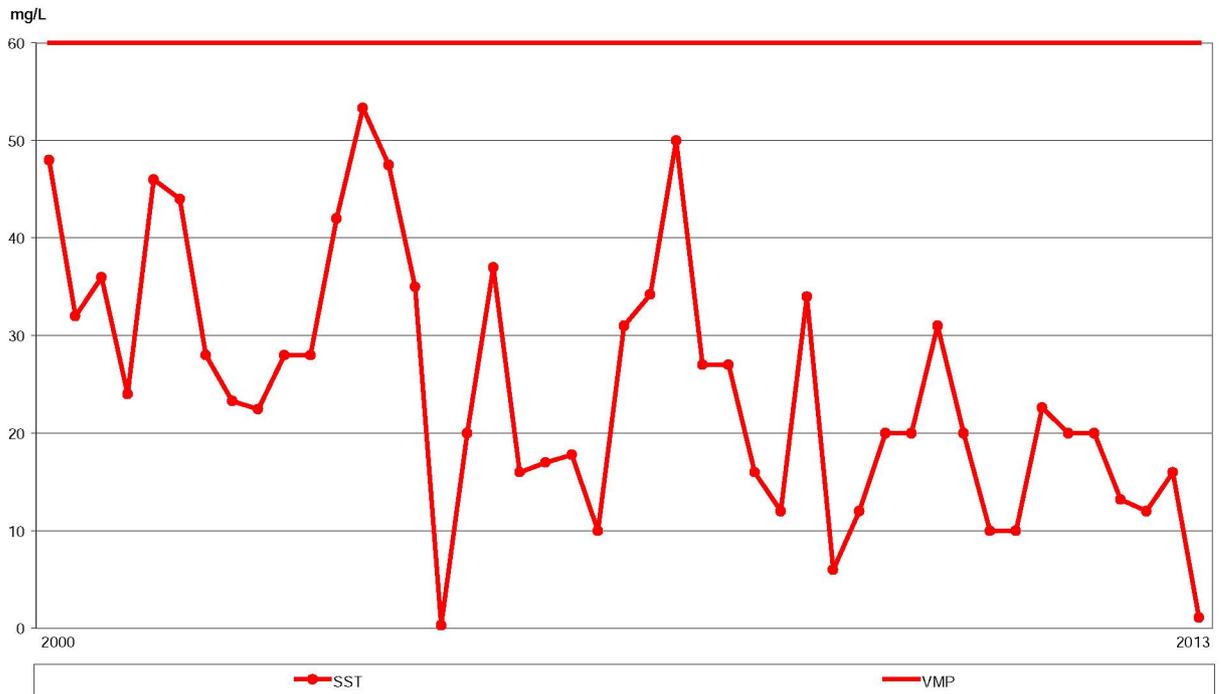
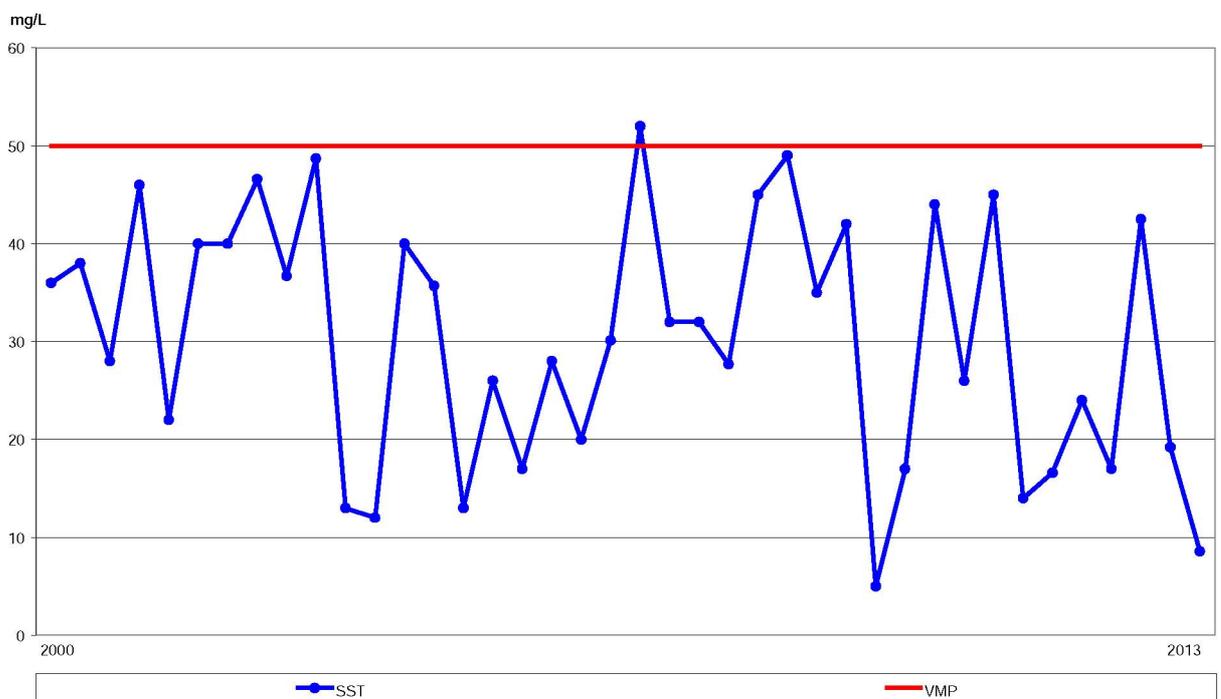


Gráfico 17 – Sólidos suspensos totais do efluente da ETE Olarias.



Conforme observado nos gráficos 16, 17 e 18, não há uma tendência de aumento na quantidade de sólidos suspensos totais ao longo do tempo nas lagoas

avaliadas.

Em geral, os resultados são variáveis conforme o dia da coleta, com amplitude entre 5 e 50 mg/L. A ETE Ronda é a que apresenta resultados mais estáveis.

Na média, o parâmetro SST resultou em 22, 26 e 30 mg/L nas lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias, nesta ordem, resultados estes satisfatórios, considerando que os valores máximos permitidos variam entre 50 e 60 mg/L.

Apesar de não apresentar tendência de aumento no SST, o que poderia indicar arraste de lodo junto ao efluente e conseqüente necessidade de intervenção na lagoa para remoção do lodo acumulado, esta análise não se aplica para estabelecimento de um indicador.

Esta conclusão é estabelecida pelo fato de que, se a necessidade de remoção de lodo fosse evidenciada pela quantidade excessiva de SST no efluente da lagoa, considerando que esta fase do tratamento é a última, ou seja, o efluente após tratamento nas lagoas é lançado diretamente ao corpo receptor, a percepção da necessidade de remoção de lodo ocorreria muito possivelmente após a estação sair do padrão de qualidade.

Assim, a análise de sólidos suspensos totais indica uma situação de momento, já crítica, não se aplicando como indicador, onde o foco é a previsão a longo prazo para planejamento das ações de intervenção.

Neste sentido, uma atenção especial deve ser dada à região de acúmulo de lodo nas lagoas.

Considerando que o efluente é coletado a 30 cm abaixo da superfície, por comportas, conforme observado na figura 16, a presença de bancos de lodo em altura elevada próximo à saída pode ocasionar a alteração no padrão de qualidade do efluente da lagoa.

Figura 16 – Sistema de coleta do efluente das lagoas.



Neste sentido, uma análise da distribuição do lodo acumulado ao longo da lagoa pode fornecer um diagnóstico mais consistente que a avaliação do padrão de qualidade.

As figuras 17, 18 e 19 apresentam a disposição do lodo nas lagoas. Em todas as figuras a parte superior do desenho corresponde ao lado da entrada do fluxo e a parte inferior o lado de saída. As tubulações de entrada e saída estão representadas nas figuras. Em azul, nas bordas, estão as codificações dos pontos

Figura 17 – Mapeamento da altura da camada de lodo na lagoa da ETE Verde.

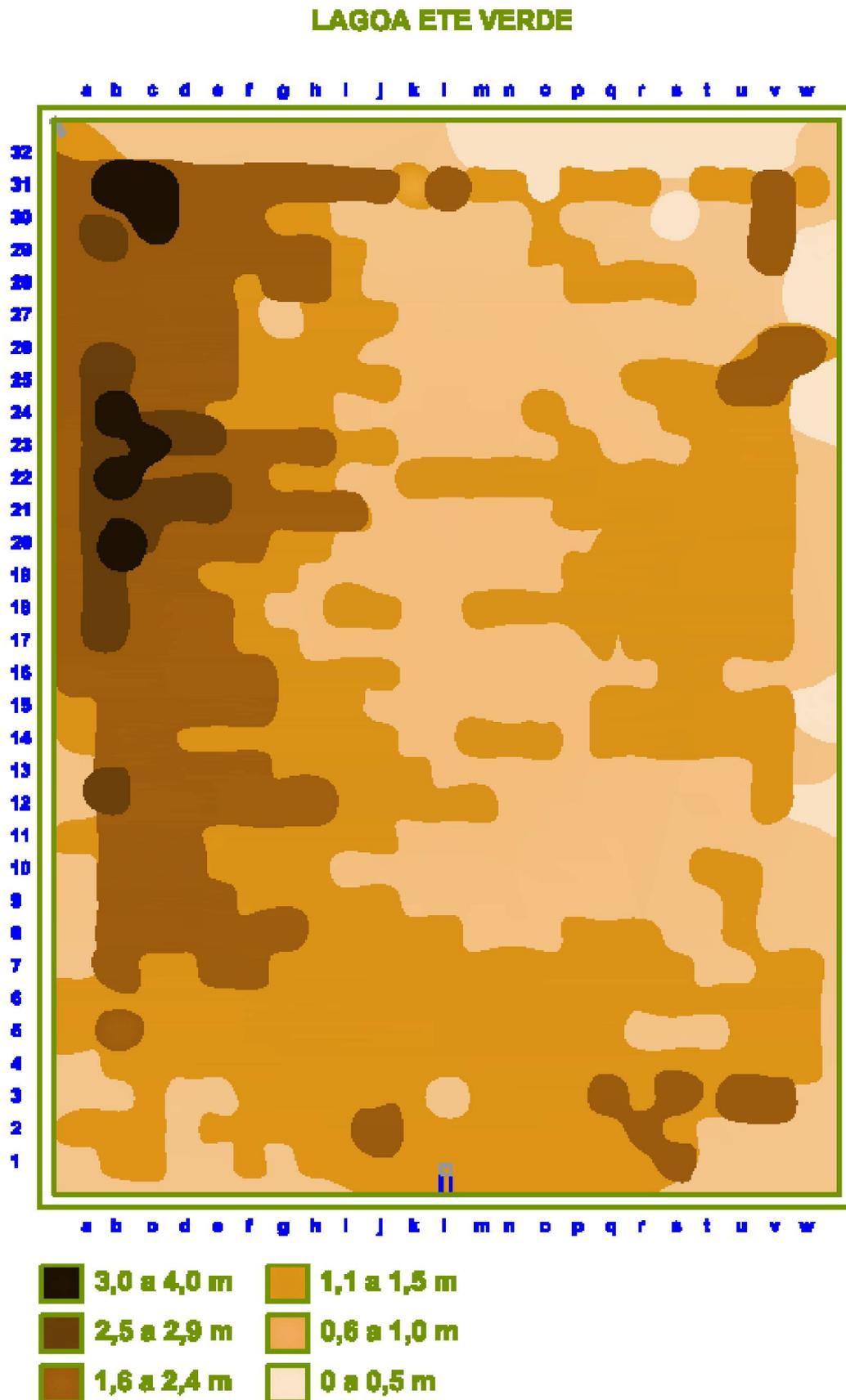
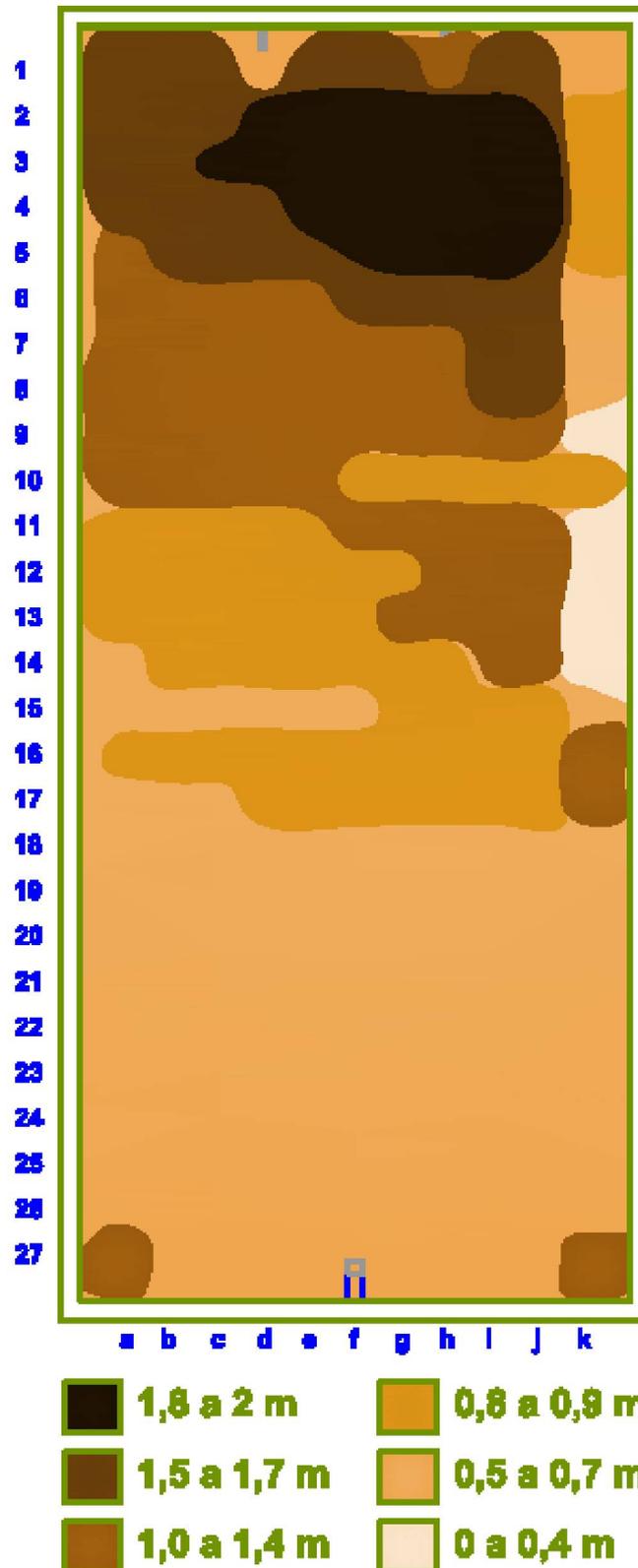


Figura 18 – Mapeamento da altura da camada de lodo na lagoa da ETE Ronda.



Figura 19 – Mapeamento da altura da camada de lodo na lagoa da ETE Olarias.

LAGOA ETE OLARIAS



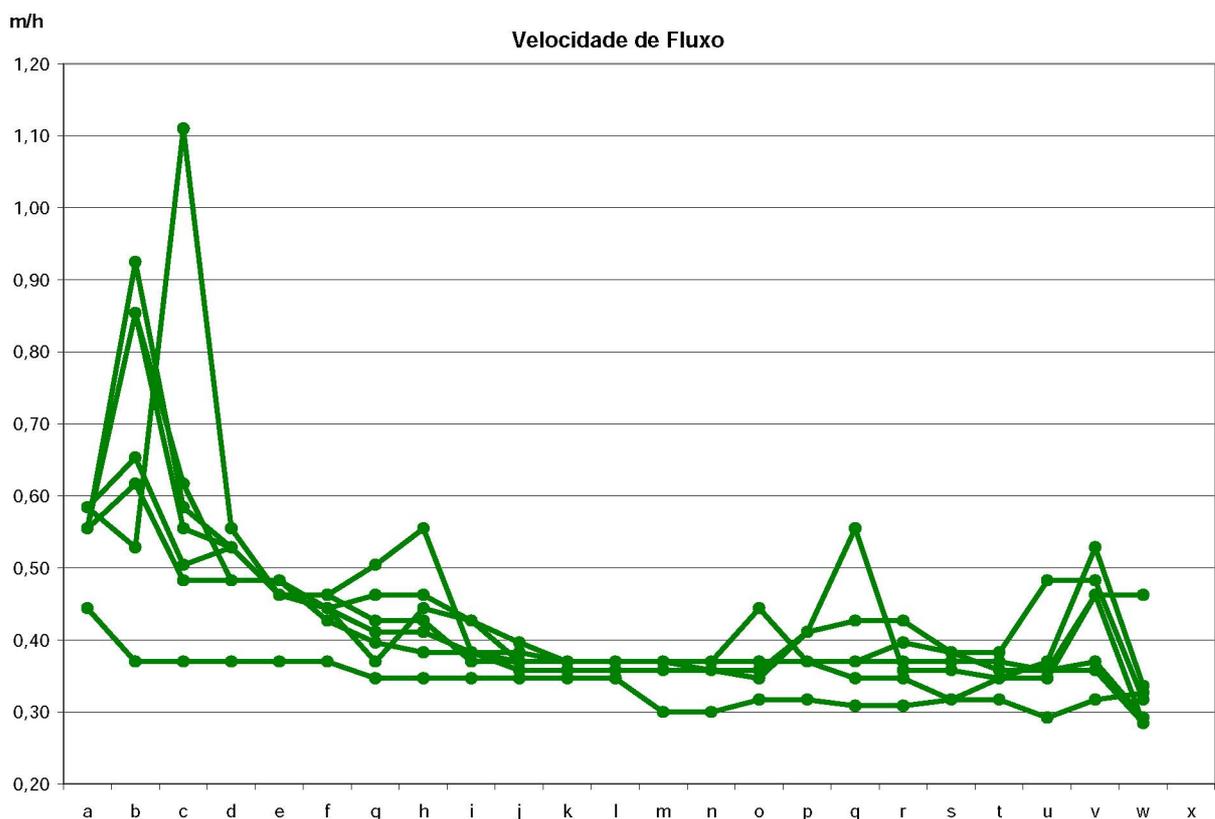
A ETE Verde apresenta uma particularidade frente às demais por possuir uma única entrada de fluxo no canto da lagoa.

Isto ao longo do tempo provocou a acumulação de lodo na margem direita do fluxo, em direção à comporta de saída do efluente, conforme observado na figura 17.

Da mesma forma, há uma menor presença de lodo na margem esquerda ao fluxo, lado oposto à tubulação de entrada.

A velocidade do fluxo nesta lagoa também varia consideravelmente entre o lado direito e o lado esquerdo, conforme gráfico 18, que demonstra a diferença transversal entre as velocidades nos primeiros 40 metros da lagoa.

Gráfico 18 – Velocidade de escoamento do fluxo - ETE Verde - 40 primeiros metros – linhas transversais.



Conforme observado, há uma aceleração na velocidade do fluxo nos pontos onde há uma altura elevada da camada de lodo. Como o lodo está concentrado em uma região, há um desequilíbrio no fluxo hidráulico da lagoa da ETE Verde.

O cálculo das velocidades de escoamento de fluxo considerou a vazão total dividida pelo número de pontos de medição de lodo no sentido transversal. Assim,

para o caso da ETE Verde, a vazão foi dividida por 23. Esta vazão parcial foi dividida pela área da seção, sendo considerada para tanto a área útil da lagoa. Assim, a altura da camada de lodo na seção influenciou na velocidade de escoamento do fluxo.

A ETE Verde é, dentre as lagoas avaliadas, a que apresenta maior quantidade de lodo longitudinalmente ao longo do fluxo, isto é, com camada de lodo em altura elevada entre 1,6 a 2,4 m a aproximadamente 40 m da comporta do efluente final.

Na região de saída do efluente da lagoa a camada de lodo tem altura de 1,2 m a partir do fundo, sendo que o efluente é vertido a 3,7 m a partir do fundo.

Um detalhe relevante é que existe uma camada de lodo com 1,8 m de altura a aproximadamente 10 metros da comporta de saída do efluente. Conforme o mapeamento mostra, possivelmente há uma tendência desta camada de lodo se aproximar da comporta de saída, o que poderia acarretar em arraste de lodo junto com o efluente, podendo a estação lançar esgoto fora do padrão de tratamento.

Já a lagoa da ETE Ronda, em relação à localização do lodo acumulado, está com uma condição bastante segura do ponto de vista da segurança operacional.

Na região da comporta do efluente final da lagoa da ETE Ronda não há presença de lodo acumulado. Existe uma camada de lodo a 10 m de distância com altura aproximada de 0,8 m. Considerando que o efluente verte a 3,8 m a partir do fundo, a probabilidade de arraste deste lodo é bastante pequena.

Em relação à lagoa da ETE Olarias, o mapa da figura 19 revela uma grande concentração de lodo no primeiro terço da lagoa, longitudinal no sentido do fluxo, com bancos elevados próximos à superfície.

A altura da camada de lodo na lagoa da ETE Olarias diminui ao longo da lagoa, chegando na região da comporta de saída do efluente próximo a 0,6 m.

Contudo, considerando que esta lagoa apresenta apenas 2 m de profundidade e que 46 % do volume total é ocupado por lodo, esta lagoa merece atenção especial, assim como a lagoa da ETE Verde.

Cabe, porém, ressaltar que em termos de eficiência operacional as lagoas têm demonstrado um rendimento satisfatório, fornecendo um efluente de boa qualidade, dentro dos limites máximos previstos em legislação.

O estudo do acúmulo de lodo das lagoas em análise apresenta uma série de variáveis.

As três lagoas possuem dimensões, formatos, cargas aplicadas, cargas removidas, eficiências, TDH e escoamentos de fluxo distintos.

Em termos de acúmulo de lodo total, a lagoa da ETE Verde apresentou maior volume, a lagoa da ETE Ronda volume intermediário e a lagoa da ETE Olarias o menor volume medido.

Contudo, o acúmulo de lodo foi mais acentuado na ETE Olarias, considerando a elevação média anual da camada de lodo.

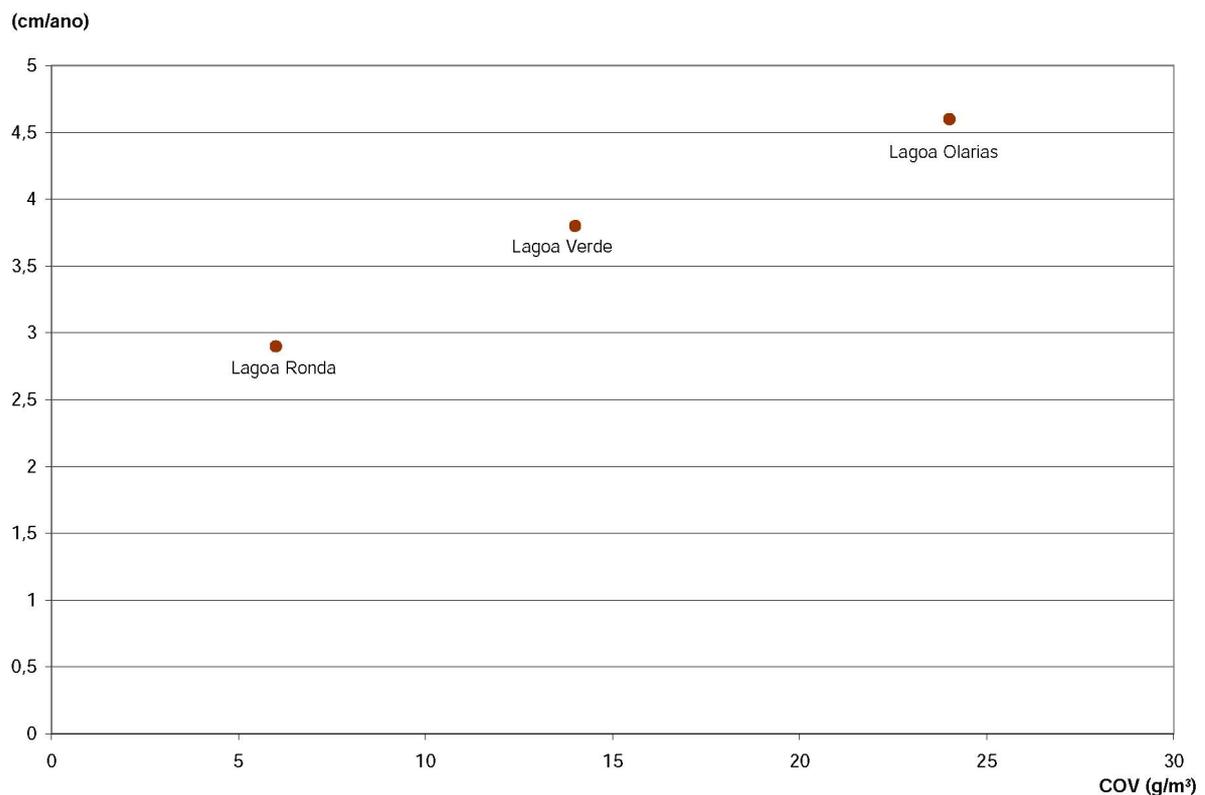
Isto implicou em uma proporção maior de volume de lodo em relação ao volume total da lagoa na ETE Olarias.

Em relação à carga orgânica volumétrica aplicada, temos 14, 6 e 24 g/m³ nas ETE Verde, Ronda e Olarias, nesta ordem.

Esta taxa é importante já que considera além da carga aplicada o volume disponível nas lagoas para tratamento deste esgoto.

Neste sentido, a ETE Olarias possui maior carga e a ETE Ronda a menor carga, estabelecendo-se a mesma relação de acúmulo de lodo em função da elevação anual média da camada de lodo. Cabe ressaltar que este parâmetro considera além do volume de lodo a área disponível para acumulação. Relacionando estes dois parâmetros, temos os pontos apresentados no gráfico 19.

Gráfico 19 – Elevação média anual da camada de lodo por carga orgânica volumétrica aplicada.



4.6. AVALIAÇÃO DO LODO ACUMULADO NAS LAGOAS

O lodo das lagoas de estabilização, por estar submetido a um longo período de armazenamento, sofre processos de transformação importantes, pois,

os lodos de lagoas apresentam características específicas devido ao longo tempo de permanência dentro dos reatores (...) esse período elevado permite, ao mesmo tempo, importante adensamento e digestão anaeróbia extensiva (FRANCI, 1999, p.24).

Avaliando os sólidos totais (ST) do lodo acumulado, para as lagoas das ETE Verde e Olarias não houve alteração significativa de concentração entre o lodo coletado no início das lagoas para o lodo coletado no final destas, conforme observado na tabela 28.

Tabela 28 – Resultados de sólidos totais do lodo acumulado nas lagoas.

ETE	Sólidos Totais	Sólidos Totais
	Coleta do Lodo Acumulado no Início da Lagoa (%)	Coleta do Lodo Acumulado no Final da Lagoa (%)
Verde	13,0	9,6
Ronda	27,7	53,9
Olarias	8,6	9,0

Na ETE Verde a concentração de lodo no início da lagoa foi de 13 %, enquanto que na ETE Olarias a concentração foi de 9 %. O lodo coletado ao final das lagoas das ETE Verde e Olarias apresentou concentração de 10 e 9 %, respectivamente.

O parâmetro comum entre estas duas lagoas é o TDH reduzido, fator que pode ter provocado esta situação.

Isto também é evidenciado na análise da lagoa da ETE Ronda, onde os sólidos totais, que no lodo acumulado no início da lagoa já possuíam concentração de 28 %, apresentaram concentração de 54 % de sólidos totais na amostra coletada ao final da lagoa.

A concentração de sólidos na lagoa da ETE Ronda pode ter sido favorecida pelo TDH prolongado, de 13 dias.

A relação entre sólidos fixos e voláteis indica o estado de estabilização do lodo. Quanto maior a quantidade de sólidos fixos em relação aos sólidos voláteis mais mineralizado, digerido ou estabilizado está o lodo.

O tempo de permanência do lodo no processo de tratamento influencia diretamente esta condição.

Nos processos de tratamento com baixos tempos de retenção celular, o lodo apresenta baixos teores de sólidos totais e elevados percentuais de sólidos voláteis (Franci, 1999, p. 23-24).

Já para lodos de lagoas de estabilização, com tempo de detenção prolongado, espera-se que apresentem "elevados teores de sólidos totais (> 15 %) e baixos teores de sólidos voláteis (< 50 %)". (FRANCI, 1999, p. 24).

A tabela 29 apresenta os resultados de sólidos totais fixos (STF) e sólidos totais voláteis (STV) das lagoas avaliadas.

Tabela 29 – Resultados de sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis do lodo acumulado nas lagoas.

ETE	STF	STF	STV	STV
	Coleta do Lodo Acumulado no Início da Lagoa (%)	Coleta do Lodo Acumulado no Início da Lagoa (%)	Coleta do Lodo Acumulado no Início da Lagoa (%)	Coleta do Lodo Acumulado no Início da Lagoa (%)
Verde	78,7	61,5	29,3	38,5
Ronda	85,8	95,7	14,2	4,3
Olarias	57,2	65,9	42,8	34,1

Neste sentido, a baixa carga orgânica volumétrica aplicada na lagoa da ETE Ronda, de 6 g/m³, pode ter influenciado na alta estabilização do lodo, de 86 % de sólidos fixos e 14 % de sólidos voláteis no ponto de amostragem na entrada da lagoa e 96 % e 4 % de sólidos fixos e voláteis, nesta ordem, para o lodo acumulado ao final da lagoa.

Esta tendência ocorreu também na lagoa da ETE Olarias, pois dentre as lagoas avaliadas é a que apresenta maior carga orgânica volumétrica aplicada, 24 g/m³, e menor grau de estabilidade do lodo, 57 e 43 % de sólidos fixos e voláteis, respectivamente, no lodo acumulado na entrada da lagoa, e 66 e 34 % de sólidos fixos e voláteis, nesta ordem, para o lodo acumulado ao final da lagoa.

A lagoa da ETE Verde, de carga aplicada intermediária, 14 g/m³, também

apresentou relação entre sólidos fixos e voláteis intermediários, de 79 e 21 % para sólidos fixos e voláteis, nesta ordem, no lodo junto à entrada da lagoa e 61 e 39 % de sólidos fixos e voláteis, respectivamente, no lodo junto à saída da lagoa.

A tendência de maior estabilização do lodo acumulado próximo à saída da lagoa em relação ao lodo acumulado na entrada foi estabelecida nas lagoas das ETE Ronda e Olarias.

Esta tendência era esperada, pois na medida em que o esgoto flui horizontalmente pela lagoa, a carga orgânica decresce, ficando o lodo retido nestas regiões submetido a cargas mais baixas de matéria orgânica, entrando em estado endógeno.

Contudo, esta situação não ocorreu na lagoa da ETE Verde, muito provavelmente pelo rápido escoamento de fluxo, propiciado pelo fluxo diferenciado de entrada na lagoa, conforme já discutido.

Considerando as taxas de acúmulo de lodo em função da DBO removida ao longo do tempo de operação, de 8,0, 6,9 e 10,9 L / kg DBO para as lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias, respectivamente, observamos que há uma tendência entre estabilização de lodo e quantidade de lodo acumulado. A diferença portanto entre a maior e a menor taxa de acúmulo pode ter sido influenciada por esta estabilização.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas medições de oxigênio dissolvido realizadas nas camadas a 10 cm das superfícies das lagoas avaliadas foram encontradas concentrações acima de 3,5 mg/L. Esta condição indica que as lagoas apresentam uma camada aeróbia. Na medida em que as medições foram realizadas nas camadas mais profundas das lagoas a concentração de OD decresceu, até atingir valores próximos a zero na região de interface com o lodo acumulado.

A partir destes dados foi confirmada a condição facultativa em todas as lagoas avaliadas.

Em relação à temperatura, foi constatada uma tendência de decréscimo deste parâmetro em função da profundidade.

A evidência foi maior na ETE Verde, onde houve uma média de 2,5 °C de

temperatura maior em relação à temperatura medida na região a um metro de profundidade. Na ETE Ronda a diferença de temperatura entre a camada a 10 cm e a camada a um metro da superfície foi de 1,2 °C, enquanto que na ETE Olarias esta diferença foi de 0,7 °C.

As temperaturas medidas na região mais próxima à superfície das lagoas são ideais para o desenvolvimento de algas, bastante próximas inclusive da faixa ótima de crescimento, de 25 a 30 °C.

A relação entre a quantidade de oxigênio dissolvido e a temperatura, observada na camada a 10 cm da superfície, evidenciam a condição de crescimento e desenvolvimento de algas.

O efluente tratado nas lagoas apresenta baixa concentração de DBO, com médias de 35, 25 e 30 mg/L para as ETE Verde, Ronda e Olarias, nesta ordem. O destaque nesta avaliação é a estabilidade dos resultados, onde foram observadas, ao longo de 13 anos de dados históricos, poucas amostras fora desta faixa padrão.

Nas amostras coletadas não foi identificada remoção de nitrogênio e fósforo nas lagoas. Porém os dados não são conclusivos já que não existem dados históricos disponíveis que possam confirmar esta condição.

Segundo Franci (1999) os fatores que influenciam o acúmulo de lodo são carga orgânica aplicada, tempo de operação, eficiência na remoção de sólidos à montante da lagoa e eficiência na remoção de carga orgânica.

A questão da remoção de sólidos à montante das lagoas foi desconsiderada da análise, pois o esgoto afluente passa por um tratamento preliminar provido de grades paralelas e desarenador e ainda por uma unidade de tratamento biológico por reator anaeróbio de leito fluidizado.

Das medições realizadas para quantificação de lodo foram totalizados 23.614, 15.587 e 7.246 m³ de lodo acumulado nas lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias, respectivamente.

O acúmulo de lodo nas lagoas é diretamente proporcional à carga orgânica removida e ao tempo de operação.

Para o parâmetro saturação de lodo na lagoa, que considera o volume de lodo ocupado em relação ao volume total da lagoa, todas as lagoas avaliadas estão abaixo dos 50 % de saturação referenciado em Franci (1999), relativos às lagoas em operação por período superior a 15 anos.

A lagoa da ETE Olarias é a que apresenta maior saturação de lodo, na ordem

de 46 %, muito provavelmente em função da alta carga volumétrica aplicada, de 24 g/m³.

A lagoa da ETE Ronda é a que apresenta menor saturação por lodo, na faixa de 20 % e também é a que apresenta menor taxa de aplicação de carga orgânica volumétrica, 6 g/m³.

A lagoa da ETE Verde apresenta 26 % do volume total da lagoa ocupado por lodo e carga orgânica volumétrica aplicada de 14 g/m³.

Em relação à elevação média anual da camada de lodo, em todas as lagoas avaliadas, esta taxa foi superior ao referenciado em literatura de 1,5 a 2,3 cm/ano, citado em Silva apud Von Sperling (1996).

Assim, foi calculado 3,8, 2,9 e 4,6 cm/ano de elevação média anual da camada de lodo para as lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias, nesta ordem.

A relação de elevação média anual da camada de lodo é diretamente proporcional à carga orgânica volumétrica aplicada.

As taxas encontradas de acúmulo de lodo em função da quantidade populacional atendida foram 0,015, 0,028 e 0,028 L/hab x d para as lagoas das ETE Verde, Ronda e Olarias, respectivamente.

Estas taxas ficaram abaixo do referenciado em literatura, conforme Franci apud Arceivala (1981), de 0,03 a 0,08 L/hab x d.

Esta referência de acúmulo de lodo em função da população atendida e tempo de operação demonstrou não ser um bom indicador, pois considera apenas o esgoto a ser tratado e não a lagoa de estabilização.

Para fins operacionais, o indicador de melhor referência é a elevação média anual da camada de lodo, em centímetros por ano.

As ações de intervenção nas lagoas para remoção do lodo acumulado devem considerar a performance operacional das lagoas. No caso das lagoas do município de Ponta Grossa, tanto os parâmetros de DQO e DBO do efluente como os sólidos suspensos apresentam concentrações baixas. Uma eventual atividade de remoção de lodo alterará a dinâmica hidráulica e microbiológica da lagoa, podendo elevar as concentrações destes parâmetros no efluente tratado.

Avaliando o posicionamento do lodo nas lagoas, as situações mais críticas encontradas foram nas lagoas das ETE Verde e Olarias, onde existem camadas de lodo em alturas elevadas próximas às comportas de saída do efluente final.

Cabe destaque a situação onde na lagoa da ETE Verde há um caminho

preferencial de fluxo na margem direita da lagoa, ocasionada por uma alimentação única no canto da lagoa; e onde a profundidade é de apenas 2 metros, situação esta da lagoa da ETE Olarias.

A lagoa da ETE Ronda apresenta os melhores resultados de esgoto tratado e a menor proporção de lodo em relação ao volume total da lagoa. O lodo acumulado nesta lagoa está concentrado logo no início, havendo uma grande área praticamente sem acúmulo de lodo na fração final da lagoa, região esta mais próxima da comporta de saída.

Em relação ao lodo acumulado, houve concentração de sólidos significativa na lagoa da ETE Ronda, fato não ocorrido nas demais lagoas.

Da mesma forma, o lodo da lagoa da ETE Ronda é o melhor estabilizado, com relação alta de sólidos fixos sobre os voláteis. O lodo da lagoa da ETE Olarias é o de menor estabilização e o lodo da lagoa da ETE Verde apresenta faixa intermediária neste quesito.

Duas influências podem ter ocorrido para estas relações de concentração e estabilização do lodo.

A primeira é o TDH, elevado na lagoa da ETE Ronda e baixo nas demais lagoas.

A segunda é a carga orgânica volumétrica aplicada, menor na lagoa da ETE Ronda e superior nas demais lagoas, destacando-se o valor mais elevado para a lagoa da ETE Olarias.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para avaliação das condições operacionais das lagoas é ideal o acompanhamento de parâmetros como OD, temperatura e pH em pontos previamente definidos que considerem individualmente a quantidade disponível de carga orgânica para cada um destes pontos.

Além disto, é importante o estudo das lagoas considerando condições climáticas distintas, como na avaliação da performance operacional durante as estações verão e inverno.

Estas condições adversas de clima podem também influenciar no desempenho das lagoas na remoção de nutrientes.

REFERÊNCIAS

_____. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**, 20^a ed., Washington, 1998.

_____. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**, 21^a ed., Washington, 2005.

_____. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**, 22^a ed., Washington, 2012.

ANDREOLI, Cleverson. et. al. **Gestão Integrada de Mananciais de Abastecimento Eutrofizados**. Curitiba: Sanepar, 2005.

ARCEIVALA, S. I. **Simple Waste Treatment**. In: FRANCI, Ricardo (coordenador). **Gerenciamento de Lodo de Lagoas de Estabilização não Mecanizadas**. Rio de Janeiro: Prosab, 1999. p. 291-324.

AZEVEDO NETTO, J. M., ALVAREZ, G. A. **Manual de Hidráulica**. 7^a ed. São Paulo, Edgard Blücher Ltda., 1985.

AZEVEDO NETTO, José M. **Cronologia do Abastecimento de Água**. Revista DAE, São Paulo, v. 44, n. 137, p. 106-111, 1984.

AZEVEDO NETTO, José M. Generalidades. In: AZEVEDO NETTO, José M. **Sistemas de Esgotos Sanitários**. 2^a ed. São Paulo: Cetesb, 1977. p. 1-8.

AZEVEDO NETTO, José M. LOTHAR HESS, Max. **Tratamento de Águas Residuárias**. Separata da Revista DAE, São Paulo, n. 46 a 68, 1970.

BONATTO, Adilson. **Uma Alternativa para o Esgotamento Sanitário em Áreas Periféricas no Município de Curitiba – Paraná**. Revista Espaço para a Saúde, Londrina, v. 1, n. 2, p. 164-195, 2000.

BRASIL. **Diagnóstico dos Serviços de Águas e Esgotos – 2010**. Brasília: Ministério das Cidades, 2010. Disponível em: <http://www.snis.gov.br> acesso em: 20/05/2013.

BRASIL. **Pró-Álcool – Portal Brasil**. Brasília: Palácio do Planalto, 2013. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br> acesso em: 17/06/2013.

CAMPOS MARTINS, Marco Antônio. **Impasse – o Brasil na Crise do Petróleo**. Brasília: IPEA-IPLAN, 1980.

CHAGAS, Juracy M. **Métodos de Análises em Laboratório de Esgoto**. Brasília: CAESB, 1977.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Banco de Dados**. Curitiba: Planilha Excel, 2013.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Desenhos Esquemáticos – eng.º Décio Jürgensen**. Curitiba: Sistema Normativo da Sanepar, 2013.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Lay-Out ETE Belém**. Curitiba: Sistema Normativo da Sanepar, 2013.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Manual de Tratamento de Esgotos**. Curitiba: Sistema Normativo da Sanepar, 2013.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Mapas – eng.º Everton Luiz do Nascimento**. Curitiba: Autocad, 2013.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Relatórios de Indicadores Estratégicos**. Curitiba: Sistema de Informações Sanepar, 2011.

EPA – United States Environmental Protection Agency (2008). **Method for Dissolved Oxygen**. EPA: 10.360.

FRANCI, Ricardo (coordenador). **Gerenciamento de Lodo de Lagoas de Estabilização não Mecanizadas**. Rio de Janeiro: Prosab, 1999.

IMHOFF, Karl. IMHOFF, Klaus. **Manual de tratamento de Águas Residuárias**. 26ª ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2002.

JORDÃO, Pacheco. PESSÔA, Constantino A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. Vol. I São Paulo: CETESB, 1975

JORDÃO, Pacheco. PESSÔA, Constantino A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2001.

JORDÃO, Pacheco. PESSÔA, Constantino A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

JÜRGENSEN, Décio. **Tratamento Anaeróbio. TRATANDO O ESGOTO – AMBIENTE LEGAL**, 1, 2006, Curitiba.

MARX, Karl.. **Teses sobre Feuerbach**. Lisboa: AVANTE, 1982.

PONTA GROSSA. **A Cidade**. Ponta Grossa: Prefeitura Municipal, 2013. Disponível em: <http://www.pontagrossa.pr.gov.br/acidade> acesso em: 12/08/2013.

PUC- PR. **Normalização de Trabalhos Técnico-Científicos**: trabalhos acadêmicos, monografias de graduação, monografias de pós-graduação, dissertações e teses. Atualizado em 09/03/2007. Disponível em: www.biblioteca.pucpr.br/sibi/normas. Acesso em 05/07/07.

RIVA MIJARES, G. **Tratamiento de Águas Residuales**. 2ª ed. Caracas, Venezuela: Ediciones Vega, 1978.

SILVA. In: VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lagoas de Estabilização**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1996.

SIMEPAR. **Mapa Histórico de Temperatura Mínima**. Curitiba: Instituto Tecnológico Simepar, 2013. Disponível em: http://www.simepar.br/tempo/clima/teste_historico.jsp, acesso em: 18/02/2013.

STOBART. In: AZEVEDO NETTO, José M. Generalidades. In: AZEVEDO NETTO, José M. **Sistemas de Esgotos Sanitários**. 2ª ed. São Paulo: Cetesb, 1977. p. 1-8.

VASEL e BORGHT. In: FRANCI, Ricardo (coordenador). **Gerenciamento de Lodo de Lagoas de Estabilização não Mecanizadas**. Rio de Janeiro: Prosab, 1999. p. 291-324.

VON SPERLING, Marcos. **Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2008.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2005.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lagoas de Estabilização**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1996.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lodos Ativados**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2000.

YÁNEZ COSSÍO, Fabián. **Lagunas de Estabilización**. Cuenca, Ecuador: Monsalve, 1993.

ANEXOS

ANEXO I – Lista de estações de tratamento de esgoto no estado do Paraná com tecnologia de reatores anaeróbios de lodo fluidizado.

Município	ETE
Agudos do Sul	Agudos do Sul
Almirante Tamandare	São Jorge
Alto Paraná	Água da Peroba
Alto Piquiri	1 (Águas do Padilha)
Altonia	Rio do Prado
Ampére	Ampére
Apucarana	2 - Biguaçu
Apucarana	- Barra Nova
Arapongas	Bandeirantes
Arapongas	Campinho
Arapoti	Invernadinha
Araruna	Rio Claro
Araucária	Cachoeira
Araucária	Iguaçu
Araucária	Costeira I
Araucária	Costeira II
Assaí	Peroba
Assis Chateaubriand	Baiano
Astorga	Taquari
Astorga	Jaboticabal
Balsa Nova	Balsa Nova
Barbosa Ferraz	-Rio das Lontras
Bela Vista do Paraíso	Indiana
Cafelândia	Iguaçuzinho
Cambará	Alambari
Cambé	Caçadores
Cambé	São Domingos
Cambé	Castelo Branco
Campina Gde. Do Sul	Engenho
Campo Largo	-Cambui
Campo Largo	Itaqui
Campo Mourão	Rio do Campo
Campo Mourão	Rio Km 119
Candido de Abreu	- Rio Ubazinho
Candói	Candói
Cantagalo	Antenorzinho
Capanema	Três Angicos
Carambeí	Polo I
Carambeí	Polo II
Carlópolis	Xavantes
Cascavel	Oeste (Bezerras)
Cascavel	Norte (Antas)
Cascavel	Melissa
Castro	IAPÓ

Município	ETE
Cerro Azul	Vila Eliane
Céu Azul	Céu Azul (São Francisco)
Chopinzinho	Chopinzinho
Cianorte	01 São Tomé
Cianorte	Catingueiro
Cidade Gaúcha	Ipiranga
Clevelândia	Clevelândia
Colombo	Colombo Sede
Conselheiro Mairinck	Ribeirão Vermelho
Corbélia	Rio dos Porcos
Corbélia	Rancho Mundo
Cornélio Procópio	Tangara
Cornélio Procópio	São Luiz
Cornélio Procópio	Ribeirão dos Veados
Coronel Vivida	Barro Preto
Corumbatai do Sul	- 01 Palmital (Corumbataí)
Cruz Machado	Palmeirinha
Cruzeiro do Oeste	Antinha
Curitiba	Atuba Sul
Curitiba	Santa Quitéria
Curitiba	Padilha Sul
Curitiba	CIC Xisto
Curitiba	Santa Candida
Dois Vizinhos	Pinzon
Doutor Camargo	Itatinga
Entre Rios (Guarapuava)	Vila dos Brasileiros
Faxinal do Ceu (Pinhão)	Faxinal do Ceu
Fazenda Rio Grande	Faz. Rio Grande
Floraí	Gurupá
Foz do Iguaçu	II Shalom (Ouro Verde)
Foz do Iguaçu	III Beira Rio
Foz do Iguaçu	V Jupira
Foz do Iguaçu	-IX Iate Clube
Foz do Iguaçu	-VIII Tres Lagoas
Francisco Beltrão	Marrecas
General Carneiro	Torino
Goioerê	Goioerê (Água Bela)
Guaíra	Carumbef
Guaraniaçu	Guaraniaçu (Izolina)
Guarapuava	Vassoural
Guaraqueçaba	Cerquinho (Guaraqueçaba)
Guaratuba	Guaratuba
Ibaiti	Bom Pastor
Imbituva	Ribeira
Imbituva	Vila Zezo
Inácio Martins	Rio Pequeno
Ipiranga	Ipiranga
Irati	Rio das Antas
Irati	Riozinho
Itaipulândia	I
Ivaí	Lageado Barreiro

Município	ETE
Ivaiporã	1- Pindauvinha
Jacarezinho	Ourinhos
Jandaia do Sul	2 - Cambará
Joaquim Távora	Água Limpa
Lapa	Lapa (Xisto)
Laranjeiras do Sul	II Chácara Jagielo
Loanda	Água de Todos os Santos
Londrina	Norte
Londrina	Sul
Londrina	-Cafezal
Londrina	São Lourenço
Malett	São Pedro
Mandaguaçu	Atlântico
Mandaguari	Keller II
Mandaguari	Keller III
Mandirituba	Moradias Barcelona
Mangueirinha	Vila Nova
Maringá	II - Sul
Maringá	I - Mandacaru
Maringá	III - Alvorada
Marmeleiro	Marmeleiro
Matelândia	-BR 277 (Ocoizinho)
Matinhos	Matinhos
Medianeira	Medianeira (Alegria)
Morrs	Morrs
Nova Esperança	Caxangá
Nova Laranjeiras	Nova Laranjeiras
Nova Londrina	1 Tigre
Novo Sarandi	Guaçu (Novo Sarandi)
Ortigueira	Ortigueira (Formiga)
Palmas	Lageado
Palmeira	Arroio Monjolo (Forquilha)
Palotina	Santa Fé
Paraiso do Norte	Suruquá
Paranacity	Córrego Fundo
Paranavaí	02 Vila Operária
Paranavaí	01 Vila City
Pato Branco	Ligeiro
Pinhão	Tapera
Pirai do Sul	Da Baixada
Pitanga	Pitanga
Ponta Grossa	Tibagi
Ponta Grossa	Congonhas
Ponta Grossa	Gertrudes
Ponta Grossa	Cara Cara
Ponta Grossa	Verde
Ponta Grossa	Ronda
Ponta Grossa	Olarias
Ponta Grossa	Cristo Rei
Pontal do Paraná	Pontal do Paraná
Porecatú	Capim

Município	ETE
Porto Amazonas	Areial
Porto Amazonas	Conceição
Porto Figueira (Alto Paraíso)	Balneário Porto Figueira
Porto Rico	Rio Paraná
Pranchita	Pranchita
Primeiro de Maio	Primeiro de Maio
Prudentópolis	Papuá
Prudentópolis	Prudentópolis (Matadouro)
Quatiguá	Bonito
Quatro Barras	Menino Deus
Quedas do Iguaçu	Campo Novo
Quedas do Iguaçu	Salto Osório
Realeza	Sarandi
Rebouças	Riozinho
Renascença	Renascença (Calcanhar)
Reserva	Reserva (Maromba)
Reserva do iguaçu	Manjolo (Copel)
Ribeirão do Pinhal	Ipiranga
Rio Azul	Rio Azul
Rio Negro	Nossa Senhora Aparecida
Rio Negro	Estação Nova
Rolândia	Vermelho
Rolândia	Cafezal
Rondon	1 Rondon (Rio do Rato)
Rosário do Ivaí	1 - Escrita
Salto do Itararé	Itararé
Santa Fé	Água do Brás
Santa Terezinha Itaipu	I
Santo Antonio da Platina	Boi Pintado
Santo Antonio do Sudoeste	Sto Antonio
São João do Caiuá	Marabá
São João do Ivaí	1 - João Simão
São José dos Pinhais	Iguaçu I
São Mateus do Sul	Vila Americana
São Miguel do Iguaçu	I São Miguel do Iguaçu
Sengés	I (Jaguaricatu)
Siqueira Campos	Fatura
Teixeira Soares	Teixeira Soares
Telemaco Borba	Bandeirantes
Telemaco Borba	São Silvestre
Telemaco Borba	Marinha
Telemaco Borba	Uvaranal
Telemaco Borba	Limeira
Terra Boa	Cananéia
Tibagi	Tibagi
Toledo	I-3 Bressan
Toledo	I-5 Paulista
Toledo	I-7 Parizotto
Toledo	III-2 Santo Campagnolo
Toledo	I-6 Dom Pedro II
Toledo	II Beata Angelina

Município	ETE
Toledo	III-3 Vila Industrial
Tomazina	Cinzas (Tomazina)
Tres Barras do Paraná	- Tres Barras do Paraná
Ubiratã	- Agua do Palmito
Umuarama	Pinhalzinho
União da Vitória	São Bernardo
União da Vitória	Cristo Rei
União da Vitória	João Paulo II
Uraí	Congonhas
Vera Cruz do Oeste	Santa Cruz
Vera Cruz do Oeste	Pacheco
Wenceslau Braz	Norte (Olho D'Água)
Wenceslau Braz	Sul (Matadouro)

ANEXO II – Laudos das Análises Físico-Químicas do esgoto na entrada e saída das lagoas do município de Ponta Grossa