

## SISTEMA DE LAGOAS FACULTATIVAS E ASPECTOS CONSTRUTIVOS NO MUNICÍPIO DE JARDIM - CE

**Maria Lúcia de Menezes<sup>1</sup>;**

Centro Universitário Paraíso (UniFAP) - Campus Juazeiro do Norte.

<http://lattes.cnpq.br/9708555265358901>

**Joselania Gonçalves Rats<sup>2</sup>;**

Faculdade de Tecnologia do Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC – FATEC) -  
Campus Juazeiro do Norte.

<http://lattes.cnpq.br/7633732641057594>

**Jefferson Macedo do Nascimento<sup>3</sup>;**

Faculdade de Tecnologia do Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC – FATEC) -  
Campus Juazeiro do Norte.

<http://lattes.cnpq.br/5508143271957474>

**José Ricardo Temoteo Monte<sup>4</sup>;**

Faculdade de Tecnologia do Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC – FATEC) -  
Campus Juazeiro do Norte.

<http://lattes.cnpq.br/2889829481020627>

**Joaquim Rodrigues da Silva Neto<sup>5</sup>;**

Faculdade de Tecnologia do Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC – FATEC) -  
Campus Juazeiro do Norte.

<http://lattes.cnpq.br/8662641105797350>

**Maria Wesline Cardoso Viana<sup>6</sup>;**

Faculdade de Tecnologia do Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC – FATEC) -  
Campus Juazeiro do Norte.

<http://lattes.cnpq.br/2198750887845635>

**Sarah Luana Maia do Nascimento<sup>7</sup>;**

Universidade Federal do Ceará (UFC) – Campus do Pici.

<http://lattes.cnpq.br/3133681234721596>

**Rildson Melo Fontenele<sup>8</sup>;**

Faculdade de Tecnologia do Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC – FATEC) -

Campus Juazeiro do Norte.

<http://lattes.cnpq.br/9114260410299837>

**Anielle dos Santos Brito<sup>9</sup>.**

Faculdade de Tecnologia do Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC – FATEC) -  
Campus Juazeiro do Norte.

<http://lattes.cnpq.br/7523803980086935>

**RESUMO:** Atualmente a degradação ambiental decorrente do lançamento de esgotos domésticos sem tratamento é comum nos municípios brasileiros de pequeno porte, devido à falta de políticas públicas voltadas ao saneamento básico. A situação no município de Jardim, interior do Estado do Ceará, também é bastante crítica, pois há inexistência de um sistema de tratamento para os esgotos produzidos pela população, o que contribui para o lançamento desses esgotos domésticos *in natura* nos principais riachos que desembocam no rio Jardim, corpo receptor principal. Dessa forma, objetivou-se dimensionar um sistema de lagoas de estabilização do tipo facultativas para o município de Jardim, bem como relacionar alguns aspectos construtivos quanto aos dispositivos de entrada e saída do sistema em estudo. A metodologia foi realizada através de pesquisa quali-quantitativa. Quanto aos resultados obtidos, a população de alcance de projeto para 20 anos, baseado no método de extrapolação gráfica foi de 12.806 habitantes. A vazão média obtida foi de 17,78 L/s. As lagoas facultativas, após o dimensionamento, terão uma estimativa na eficiência para remoção de DBO<sub>5</sub> de 81,64%, valor dentro dos padrões exigidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011. Foi verificado que as lagoas facultativas requerem bastante área disponível para implantação, cerca de 5,30 hectares. Para facilitar a homogeneização dentro das lagoas, foram adotadas três tubulações de entrada com  $\frac{1}{4}$  do comprimento, para cada uma das lagoas e uma tubulação na saída. Os sistemas de lagoas facultativas realizam remoções bastante otimizadas de matéria orgânica, sólidos e nutrientes devido ao bom desempenho operacional no tratamento de esgotos. Por essa razão, e devido a realidade do município, quanto aos usos múltiplos das águas do rio Jardim, torna-se perceptível que esse tipo de sistema de tratamento de esgotos se caracteriza como uma alternativa ambiental e econômica viável.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dispositivos de entrada e saída. Lagoas de estabilização. Tratamento de esgotos domésticos.

## FACULTATIVE LAGOON SYSTEM AND CONSTRUCTION ASPECTS IN THE MUNICIPALITY OF JARDIM - CE

**ABSTRACT:** Currently, environmental degradation resulting from the discharge of untreated domestic sewage is common in small Brazilian municipalities, due to the lack of public policies aimed at basic sanitation. The situation in the municipality of Jardim, in the interior of the state of Ceará, is also quite critical, as there is no treatment system for the sewage produced by the population, which contributes to the discharge of this raw domestic sewage into the main streams that flow into the Jardim River, the main receiving body. Thus, the objective was to design a system of optional stabilization ponds for the municipality of Jardim, as well as to relate some constructive aspects regarding the inlet and outlet devices of the system under study. The methodology was carried out through qualitative and quantitative research. Regarding the results obtained, the population within the project scope for 20 years, based on the graphical extrapolation method, was 12,806 inhabitants. The average flow rate obtained was 17.78 L/s. After dimensioning, the facultative lagoons will have an estimated efficiency of 81.64% for BOD5 removal, a value within the standards required by CONAMA Resolution n°. 430/2011. It was found that the facultative lagoons require a large area available for implementation, approximately 5.30 hectares. To facilitate homogenization within the lagoons, three inlet pipes measuring 1/4 of the length were adopted for each of the lagoons and one pipe at the outlet. The facultative lagoon systems perform very optimized removals of organic matter, solids and nutrients due to their good operational performance in sewage treatment. For this reason, and due to the reality of the municipality, regarding the multiple uses of the waters of the Jardim River, it becomes clear that this type of sewage treatment system is characterized as an environmentally and economically viable alternative.

**KEY-WORDS:** Domestic sewage treatment. Inlet and outlet devices. Stabilization ponds.

### INTRODUÇÃO

O processo de degradação ambiental, decorrente do lançamento de esgotos domésticos sem tratamento é comum em municípios brasileiros. A falta de planejamento urbano voltados ao quesito saneamento básico em municípios de pequeno porte afeta diretamente a saúde e a qualidade de vida da população.

Segundo Tonetti *et al.* (2009), o tratamento dos esgotos busca evitar a degradação e o desperdício dos recursos hídricos, tornando-se nos últimos tempos uma questão prioritária no Brasil. Dessa forma, é importante salientar sobre a necessidade de evitar a poluição da água, do solo, dos desequilíbrios ocasionados aos ecossistemas locais através de sistemas de tratamento de esgotos condizentes com a realidade local.

A situação no município de Jardim, interior do Estado do Ceará, também é bastante crítica, pois a inexistência de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) contribui com os lançamentos de esgotos não tratados nos riachos Lava Pés, Jacundá, Barrocão e no rio Jardim, que é o receptor principal.

Uma consequência do lançamento do esgoto doméstico lançado diretamente nos rios, é o aumento da matéria orgânica existente na água, que em excesso, afeta diretamente o desenvolvimento natural das plantas e animais existentes nesse habitat (Sperling, 2005). Dessa maneira, as águas ficam turvas devido a matéria orgânica em excesso, prejudicando o processo de fotossíntese, e impedindo dentre outros fatores, a oxigenação da água.

O município de Jardim possui uma única rede coletora receptando, o sistema de drenagem e o esgoto doméstico de 80% da zona urbana (Plano Municipal de Saneamento Básico de Jardim, 2013). Durante o período de chuvas a situação se agrava, pois o sistema de drenagem existente extravasa, devido ao acúmulo de lixo e de lama, que se acumulam em suas galerias. Neste sentido, os riscos à saúde de moradores se tornam elevados, já que nesse período os macros e micro vetores infestam algumas residências e contribuem para a proliferação de doenças.

Apesar do estado crítico que o rio Jardim se encontra, devido ao lançamento de esgotos domésticos *in natura* diariamente, a prática de agricultura, pecuária e pesca as suas margens ocorrem constantemente. Exemplos dessas atividades são: criação de bovinos, ovinos, caprinos, suínos, aves, peixes e plantações de milho as margens do rio. Esse fato traz preocupações referente à ausência de políticas públicas relacionadas ao setor de saneamento básico e fiscalização sanitária e ambiental para essas ações.

Diante do exposto, é importante ressaltar que o tratamento dos esgotos é de fundamental importância para um melhor desenvolvimento urbano municipal, bem como, da qualidade de vida da população. A implantação de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) colabora com o progresso do município quanto aos aspectos socioambientais e econômicos.

Dessa forma, um tipo de tratamento para os esgotos domésticos que contribuiria para a melhoria da realidade ambiental da área visivelmente prejudicada com os lançamentos dos esgotos e com as condições de usos múltiplos do rio Jardim, seriam as lagoas de estabilização do tipo facultativas. Esse sistema apresenta, elevada eficiência na remoção do DBO e coliformes; custos reduzidos de operação, manutenção e simplicidade de operação, porém, exige maior área para implantação do sistema (Von Sperling, 2005).

Neste contexto, o objetivou-se dimensionar um sistema de lagoas de estabilização do tipo facultativa para o município de Jardim-CE, bem como relacionar alguns aspectos construtivos quanto aos dispositivos de entrada e saída do sistema em estudo.

## REVISÃO DE LITERATURA

### Composição dos esgotos domésticos

As águas geradas por residências, estabelecimentos comerciais ou qualquer edificação que contenha banheiros, lavanderias e cozinhas, são denominadas esgoto ou efluente. É constituído principalmente por águas de banho, fezes e urina, sabão, detergentes, papel higiênico, restos de comida e águas de lavagem.

Para Von Sperling (2005) os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9 % de água. A minúscula parcela restante de 0,1 %, são sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. Logo, devido a essa pequena fração há necessidade de tratar os esgotos.

A fração inorgânica dos efluentes corresponde a 30% da quantidade de matéria sólida existente e seus principais componentes de minerais pesados, metais e sais (Melo e Marques, 2000).

## TRATAMENTO DOS ESGOTOS

### Lagoas de estabilização

Várias são as técnicas utilizadas para tratar esgotos domésticos, algumas têm altos requisitos de energia como lodos ativados, e outras dependem apenas de processos naturais como as lagoas de estabilização e wetlands (Al-Hashimi, 2013).

Destas técnicas, a mais utilizada é o sistema de lagoas de estabilização e suas variantes, por constituírem-se da forma mais simples de tratamento (Von Sperling e Chernicharo, 2005) e apresentarem características favoráveis, como alto desempenho, baixo custo, baixo consumo de energia e pouca necessidade de manutenção (Jail *et al.*, 2010).

As lagoas de estabilização são tanques hídricos, onde as águas residuárias são mantidas por longos períodos para permitir que uma larga escala de microrganismos e plantas aquáticas se relacionem e atuem nos processos de conversão e decaimento da matéria orgânica, nutrientes, organismos patogênicos e outros constituintes, transformações que ocorrem a partir de baixos níveis de investimento no sistema de tratamento (Mahmood *et al.*, 2013).

São inúmeras as vantagens desse tipo de sistema, pois além da eficiência de remoção de matéria orgânica (Jordão e Pessoa (1995); Garcia-Rodríguez *et al.* (2014)), patógenos e nutrientes, também podem lidar com metais pesados e com contaminantes orgânicos emergentes.

Estes sistemas em sua maioria apresentam um menor custo de tratamento dos esgotos domésticos, pelo fato de apresentarem eficiência na remoção de patógenos, evitando tratamento terciário, como cloração, além de ser um sistema natural e sustentável,

o que reduz os custos de construção, manutenção e operação.

## Lagoas facultativas

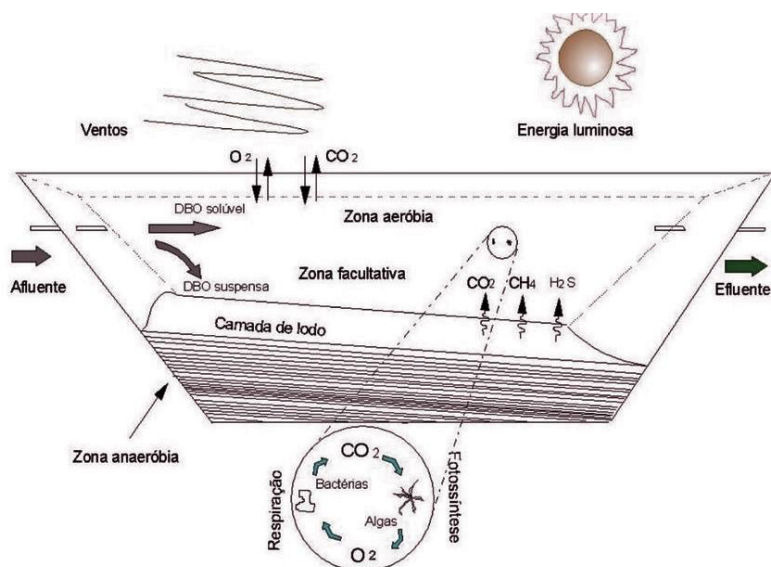
As lagoas facultativas são variações das lagoas de estabilização. Este tipo de lagoas estabilizam a matéria orgânica carbonácea em três diferentes camadas: uma superior aeróbia, a inferior anaeróbia, e uma intermediária denominada de facultativa (Silva *et al.*, 2010). É a mais simples entre os tipos de lagoas de estabilização.

De acordo com Ferreira (2017) e Von Sperling (2005), esse processo pode demorar entre 15 e 45 dias e uma série de mecanismos contribuem para a purificação dos esgotos. A matéria orgânica suspensa (DBO particulada) acumula-se, formando o lodo no fundo da lagoa. Esse composto orgânico dissolvido (DBO solúvel) em consonância com o composto orgânico em suspensão não se acumula no fundo do sistema, permanecendo dispersa no meio aquoso. A sua decomposição se dá através de bactérias facultativas, que podem sobreviver tanto na presença quanto na ausência de oxigênio (é daí que vem o nome de facultativas, que define o nome da lagoa).

Uma vantagem desse tipo de lagoas ocorre devido ao tratamento ser realizado completamente por meios biológicos e seu regime hidráulico acontecer de forma bem simples, onde o efluente a ser equilibrado entra por uma das extremidades e sai em outra, permitindo que o efluente doméstico atravesse totalmente a lagoa, oxidando a matéria orgânica presente (Rios, 2007).

Outras vantagens e desvantagens das lagoas facultativas estão associadas a predominância dos fenômenos naturais: físicos, químicos e biológicos, necessitando apenas da luz solar. Como mostra a Figura 1.

**Figura 1.** Funcionamento de um sistema de lagoa facultativa.



Fonte: Von Sperling (2005).



As vantagens agregam-se a estas, como facilidade de operação e funcionamento, baixo custo de operação e manutenção. Porém, necessitam de longos períodos de detenção para que as reações se completem. Sua construção consiste basicamente no movimento de terra e na preparação dos taludes (Von Sperling, 2005).

### **Critérios de projeto**

De acordo com Von Sperling (2005), os principais parâmetros de projeto das lagoas facultativas são:

**Taxa de aplicação superficial:** exige-se uma determinada área de exposição a luz solar na lagoa, para que o processo de fotossíntese ocorra, objetivando garantir a fotossíntese e o crescimento das algas, para obter uma produção de oxigênio suficiente para suprir a demanda do oxigênio.

**Profundidade:** a profundidade controla os aspectos físicos, biológicos e hidrodinâmicos da lagoa. No que se refere a profundidade das lagoas, o conhecimento disponível na literatura é bastante limitado. De acordo com Sperling (2005), e de forma a obter maiores benefícios, a profundidade a ser adotada varia de 1 a 2 metros. Embora seja usualmente aceita a faixa entre 1,5 a 2 metros.

É importante ressaltar que profundidades incorretas no dimensionamento podem interferir diretamente nos aspectos operacionais do sistema de lagoas de estabilização do tipo facultativa, propiciando inconvenientes no regime hidráulico, pois profundidades menores ou maiores do que a estabelecida pelos autores supracitados, podem afetar, além de outros aspectos, o processo de sedimentação das partículas e a taxa de acumulação de lodo.

**Tempo de detenção:** não é um parâmetro direto de projeto, é mais um parâmetro de verificação (derivado do nível do volume da lagoa). O critério de tempo de detenção diz respeito ao tempo necessário para que os microrganismos procedam a estabilização da matéria orgânica na lagoa. Portanto, relaciona-se a atividade das bactérias.

O tempo de detenção necessário para que ocorra a oxidação da matéria orgânica pode sofrer variações, dependendo das condições do local, e especialmente da temperatura, variando de 15 a 45 dias (Von Sperling, 2005).

Na maioria dos casos, podem-se desprezar os parâmetros relacionados à evaporação, infiltração e precipitação, já que geralmente estes fatores se compensarão (Von Sperling, 2005).

**Geometria da lagoa:** a relação comprimento/largura (L/B) é um importante critério por influenciar o regime hidráulico da lagoa, o qual pode ser projetado para se aproximar a condições de fluxo em pistão ou mistura completa. A relação (L/B) mais utilizada para o regime de mistura completa é:  $L/B = 2$  a  $4$ .

O regime de mistura completa é o mais usual quando se tem efluentes sujeitos a uma grande variabilidade de cargas e a presença de compostos tóxicos. Será adotado para esse sistema o modelo de mistura completa.

## Parâmetros de qualidade

Considerando a carência de recursos hídricos no Estado do Ceará, a qual está relacionada aos aspectos de quantidade e qualidade e os benefícios das Resoluções nº 54 de 2009, 121 de 2010 sobre práticas de reuso e Lei Estadual nº 16.033 de 20 de junho de 2016 e em conformidade com a resolução do CONAMA 430/2011, para o lançamento direto de efluentes originados do tratamento de esgoto sanitários determina o cumprimento das condições e padrões específicos como descritos na tabela abaixo.

**Tabela 1.** Parâmetros de qualidade do efluente e limites definidos por resolução do CONAMA 430/2011.

| Parâmetros                   |                                                | Condições para lançamento de efluentes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Entrada da ETE               | Saída da ETE                                   | pH entre 5 a 9 e temperatura inferior a 40 °C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| DBO <sub>5</sub><br>350 mg/L | DBO <sub>5</sub><br>120 mg/L                   | De DBO 5 dias a 20° C; Máximo de 120 mg/l, sendo que esse limite somente pode ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO para lançamento direto de efluentes oriundos de sistema de esgotos sanitários;<br><br>Para a determinação da eficiência de remoção de carga poluidora em termos de DBO <sub>5,20</sub> para sistemas de tratamento com lagoas de estabilização, a amostra do efluente deverá ser filtrada. |
|                              | Sólidos em suspensão total<br>(Remoção de 20%) | Eficiência mínima de remoção de 20%, após desarenação.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

**Fonte:** Adaptado da resolução do CONAMA.

## LODOS DE ESGOTOS

Segundo Fernandes (1999) e Gewehr (2009), o lodo é constituído por bactérias vivas. Este pode ser caracterizado pelo teor em material orgânico e macronutrientes, micronutrientes e minerais em sua composição, que variam devido à constituição do esgoto contribuinte.

Vale ressaltar que, os metais pesados presentes nos lodos como mercúrio, cobalto, ferro, alumínio, são provenientes de esgotos industriais, e que essas concentrações variam de acordo com a vazão de contribuição e podem ocasionar sérios riscos à saúde pública e meio ambiente.



Dependendo da idade do lodo, a fração de massa bacteriana é elevada, podendo elevar em torno de 50 a 90% da biomassa, enquanto em casos nas quais o lodo é anaeróbio, esta fração situa-se na faixa de 2 a 20% (Aisse *et al.*, 1999).

O lodo possui cerca de 95% de água, com concentração de 0,25 a 12% de sólidos. Apenas por convenção, o lodo é designado por fase sólida, visando distingui-lo do fluxo do líquido que está sendo tratado (Metcalf e Eddy, 1991).

Na Estação de Tratamento dos Esgotos (ETE), a geração, tratamento, transporte e destinação final, são bastante específicas, pois dependem da tecnologia de tratamento a ser adotada.

Para Ferreira e Andreoli (1999), um aspecto importante que deve ser analisado em uma ETE, quanto aos lodos dos esgotos, seria a eficiência do processo de tratamento preliminar, principalmente se o efluente carrear altos teores de areia e outros minerais.

## ASPECTOS CONSTRUTIVOS

A localização das lagoas em relação a geração dos esgotos produzidos, como também à distância do corpo receptor são fundamentais para a escolha das futuras instalações.

Segundo Von Sperling (2005), outros quesitos importantes são: topografia, forma da área, cotas de inundação, características do solo, ventos, condições de acesso e custos do terreno.

É importante ressaltar que, o êxito quanto ao projeto do sistema de lagoas facultativas está alinhado tanto às características ambientais quanto aos aspectos construtivos, para que o processo operacional seja otimizado.

Por essa razão, nesse item, será abordado apenas os itens mais relevantes, considerados nesse estudo, a critério do dimensionamento.

### Dispositivos de entrada

Segundo Von Sperling (2005), a entrada do efluente na lagoa deve satisfazer às seguintes condições: garantir que o líquido seja homogeneizado, evitando curto-circuito e zonas mortas. Para entradas submersas, estas não deverão possibilitar o desprendimento de gases malcheirosos e evitar o solapamento dos taludes e do fundo da lagoa devendo ser ideal a introdução de placas de concreto no fundo, no local de descarga da tubulação.

Para Jordão e Pessoa (1995), a boa distribuição as tubulações de entrada asseguram uma boa distribuição do líquido. Este é um quesito essencial para evitar a ocorrência de odores no sistema.

Von Sperling (2005) defende que a distribuição homogênea dos esgotos ao longo do comprimento da lagoa, deve ser garantida por um número suficiente de tubulações

de entrada. Já outros autores como Mara (1992) e Jordão e Pessoa (1995) sugerem simplicidade, com entradas e saídas únicas, situadas em extremidades opostas.

Em sistemas de mistura completa, as tubulações devem ter 1/3 a 1/4 do comprimento da lagoa, além de funcionarem com uma velocidade média do líquido igual ou superior a 0,5 m/s.

### Dispositivos de saída

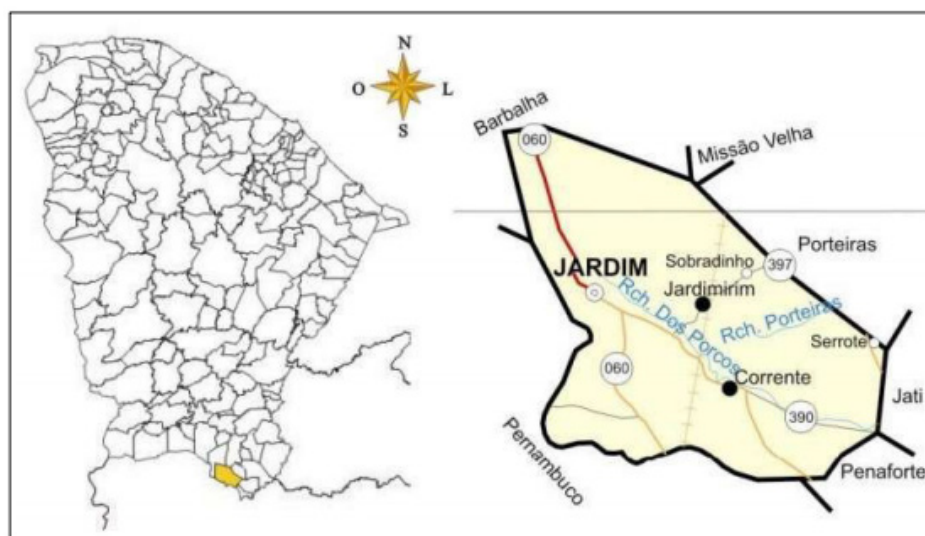
Quanto ao projeto das tubulações de saída, de acordo com Von Sperling (2005), Mara (1995), Jordão e Pessoa (1995) e Silva (1993), devem ter os seguintes aspectos: a saída deve ser situada na extremidade da lagoa, para que não ocorra problemas operacionais; os dispositivos podem ser tipo fixo ou variável; recomenda-se o uso de placas defletoras para o impedimento de saída de material flutuante; o nível de retirada do efluente de lagoas facultativas deve ser de 0,60 m e o acesso do dispositivo de saída deve ser fácil.

## METODOLOGIA

### LOCALIZAÇÃO DA PESQUISA

A proposta para dimensionamento do sistema de lagoas facultativas será para futuras instalações na cidade de Jardim, na qual, é localizada na microrregião do Cariri, região sul, do Estado do Ceará, nas coordenadas geográficas: latitude 7° 34' 57" Sul e longitude 39° 17' 53" Oeste. O município faz fronteiras com as cidades de Barbalha – CE, Porteiras - CE, Jati - CE e Penaforte – CE, Serrita - PE e Moreilândia – PE, conforme Figura 2.

**Figura 2.** Mapa do município de Jardim.



Fonte: IPECE (2009).

Conforme o IBGE (2022), Jardim possui uma população de 27.411 habitantes. A densidade demográfica é de 50,30 habitantes por km<sup>2</sup>, com uma área total de 544,995 km<sup>2</sup>. A população do município é predominantemente rural, com 66,3% da população residindo em áreas rurais.

A cidade está distante da capital Fortaleza – CE cerca de 536 km e sua altitude é de 648 m acima do nível do mar. Apresenta clima caracterizado por temperaturas que variam de 19 a 28 °C. A temperatura nos meses de junho-julho pode chegar a 15 °C, exigindo que a população vista agasalhos apropriados (IPECE, 2018).

Sua hidrografia é composta pelo rio Jardim, temporariamente seco, pelos riachos: Jacundá, Porcos, Gravatá e Boca da Mata; e pelo Açude de Florzinha. Ao pé da Chapada do Araripe há o afloramento dos lençóis freáticos formando bicas e fontes de água cristalina. Conforme dados da Prefeitura Municipal de Jardim, inicialmente eram 72 fontes, destas: 30 secaram, 22 estão atualmente com suas vazões reduzidas e apenas 20 permanecem inalteradas; dentre as quais as mais conhecidas são: Boca da Mata (que abastece a cidade) e Boa Vista (atração turística).

A população da zona urbana totaliza 8.994 habitantes, dos quais 7.988 possuem rede de esgoto equivalendo a uma cobertura de 80% dessa população, conforme Tabela 2.

**Tabela 2.** Informações dos sistemas de esgotamento sanitário da Sede de Jardim.

| Descrição                | Sistema de esgotamento sanitário |
|--------------------------|----------------------------------|
| Índice de cobertura      | 80%                              |
| População coberta (hab.) | 7.988                            |
| Extensão de rede (m)     | 14.298                           |

Fonte: PMSB (2011).

## DELINEAMENTO DO ESTUDO

Este trabalho foi desenvolvido baseado em pesquisa bibliográfica e documental.

A pesquisa bibliográfica é feita com base em um levantamento de referências teóricas já revisadas, e publicadas nos meios eletrônicos como livros, artigos científicos, páginas de web e sites (Fonseca, 2002).

Desse modo, para a pesquisa bibliográfica foram utilizados dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), IPECE (Instituto de Pesquisa Estratégia Econômica do Ceará), PMSB (Plano Municipal de Saneamento Básico) e Prefeitura Municipal de Jardim, além de artigos científicos, dissertações, teses e livros.

Na mesma linha, de acordo com Fonseca (2002), a pesquisa documental segue o mesmo entendimento da pesquisa bibliográfica, podendo apresentar alguma dificuldade em distingui-las.

A pesquisa documental é feita através de várias fontes, tais como: tabelas estatísticas, jornais, revistas, relatórios, documentos oficiais, cartas, filmes, fotografias, pinturas, relatórios de empresas, vídeos de programas de televisão etc. Como fonte documental serão usadas fotografias.

Quanto a abordagem, a pesquisa é quali-quantitativa, onde na pesquisa qualitativa preocupa-se com questões da realidade que não podem ser quantificadas, caracterizando-se por sua subjetividade. Já a pesquisa quantitativa tem como base a objetividade, e afirma que a realidade só será compreendida através da análise de dados adquiridos com uso de instrumentos.

## EQUAÇÕES PARA O DIMENSIONAMENTO DAS LAGOAS FACULTATIVAS

Para o dimensionamento do sistema de lagoas facultativas é necessário a aplicação das seguintes equações:

### Projeção populacional

$$Y = 137,7 X - 268105 \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

**y** = População, em número de habitantes;

**x** = Ano.

### Caracterização quantitativa dos esgotos afluentes à ETE

O consumo *per capita* a ser utilizado na presente pesquisa será em função do porte da população em estudo, conforme Tabela 3.

**Tabela 3.** Consumo *per capita* x porte da comunidade.

| Porte da comunidade | Faixa da população (hab.) | Consumo per capita (L/hab.dia) |
|---------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Povoado rural       | < 5.000                   | 90 – 140                       |
| Vila                | 5.000 – 10.000            | 100 – 160                      |
| Pequena localidade  | 10.000 – 50.000           | 110 – 180                      |
| Cidade média        | 50.000 – 250.000          | 120 – 220                      |
| Cidade grande       | > 250.000                 | 150 – 300                      |

**Fonte:** Salla e Silva (2003); CETESB (1987); Von Sperling (2005).

### Vazão doméstica média (Qdméd)

O cálculo da vazão doméstica média, apresentada por Von Sperling (2005), é:

$$Q_{d\text{ méd}} = \frac{\text{Pop} \times \text{QPC} \times R}{1000} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

**Qdméd** = Vazão doméstica média de esgoto (m³/d);

**QPC** = Quota *per capita* de água (L/hab. d);

**Pop** = População do ano desejado;

**R** = Coeficiente de retorno esgoto/água.

### Vazão de infiltração (Qinf)

Segundo Von Sperling (2005), a vazão de infiltração depende das condições de instalação da rede, fator que pode causar rachaduras na tubulação. Juntas não encaixadas corretamente podem folgar ou soltar dependendo da vazão do efluente.

A equação para cálculo da vazão de infiltração é:

$$Q_{\text{inf}} = T_{\text{inf}} \times L_{\text{red}} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

**Qinf** = Vazão de infiltração, em L/s;

**Tinf** = Taxa de infiltração, em L/s.km;

**Lred** = Comprimento da rede de esgoto, em km.

### Vazão industrial (Qind)

$$Q_{\text{ind}} = Q_{d\text{ méd}} \times 0,03 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

**Qind** = Vazão industrial, em L/s;

**Qdméd** = Vazão doméstica média, em L/s.

## Vazões máxima e mínima (Q<sub>máx</sub> e Q<sub>mín</sub>)

$$Q_{\max} = (Qd_{\text{med}} \times K_1 \times K_2) + Q_{\text{inf}} + Q_{\text{ind}} \quad (\text{Equação 5})$$

$$Q_{\min} = (Qd_{\text{med}} \times K_3) + Q_{\text{inf}} + Q_{\text{ind}} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

**Q<sub>máx</sub>** = Vazão máxima, em L/s;

**Q<sub>mín</sub>** = Vazão mínima, em L/s;

**Q<sub>dmed</sub>** = Vazão doméstica média, em L/s;

**Q<sub>inf</sub>** = Vazão de infiltração, em L/s;

**Q<sub>ind</sub>** = Vazão de industrial, em L/s.

De acordo com Von Sperling (2005) a produção de esgotos domésticos sofre mudanças ao longo do dia (variações horárias), da semana (variações diárias), e do ano (variações sazonais).

A NBR 9649 adota para os coeficientes (K) seguintes valores:

**K 1** = 1,2 (coeficiente do dia de maior consumo);

**K 2** = 1,5 (coeficiente da hora de maior consumo);

**K 3** = 0,5 (coeficiente da hora de menor consumo).

## Temperatura

Para o dimensionamento de uma ETE, deve-se conhecer a temperatura média no mês mais frio do ano (temperatura crítica para o dimensionamento).

## Parâmetros de qualidade do efluente

### Cálculo da carga afluente de DBO<sub>5</sub> (C<sub>DBO5</sub>)

Segundo Von Sperling (2002), o cálculo da carga afluente de DBO<sub>5</sub>, é feito pela equação abaixo.



$$C_{\text{DBO}_5} = \frac{S_0 \times Q_{\text{max}}}{1000} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

$C_{\text{DBO}_5}$  = Carga afluyente de  $\text{DBO}_5$ , em  $\text{kgDBO}_5/\text{d}$ ;

$S_0$  = Concentração de DBO;

$Q_{\text{máx}}$  = Vazão máxima.

### Taxa de aplicação superficial ( $L_s$ )

Para taxa de aplicação a equação é a seguinte:

$$L_s = 350 \times (1,107 - (0,002 \times T^{\circ}\text{min}))^{(T^{\circ}\text{min} - 25)} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

$L_s$  = Taxa de aplicação superficial, em  $\text{kgDBO}_5/\text{ha.d}$ ;

$T$  = Temperatura mínima do mês mais frio do ano, ( $T^{\circ}\text{mín} = 18.1^{\circ}\text{C}$ ).

### Cálculo da área requerida ( $A_{\text{lagf}}$ )

Para calcular a área requerida:

$$A = \frac{C_{\text{DBO}_5}}{L_s} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

$A$  = Área requerida para lagoa (ha);

$C_{\text{DBO}_5}$  = Carga de DBO total afluyente;

$L_s$  = Taxa de aplicação superficial ( $\text{KgDBO}_5/\text{hab. d}$ ).

### Volume da lagoa e profundidade adotada: $H_{\text{lagf}} = 1,80 \text{ m}$

Sabendo-se a profundidade da lagoa, calcula-se o volume total de acordo com a equação abaixo:

$$V_{\text{lagf}} = A_{\text{lagf}} \times H_{\text{lagf}} \quad (\text{Equação 10})$$

Em que:

$V_{lagf}$  = Volume total em m<sup>3</sup>;

$A_{lagf}$  = Área requerida para lagoa em m<sup>2</sup>;

$H_{lagf}$  = Profundidade da lagoa.

### Tempo de detenção hidráulica (t)

O tempo necessário para estabilização da matéria orgânica é calculado pela equação abaixo:

$$t = \frac{V_{lagf}}{Q_{max}} \quad \text{(Equação 11)}$$

Onde:

$t$  = Tempo de detenção em dias;

$V_{lagf}$  = Volume total da lagoa;

$Q_{max}$  = Vazão média em m<sup>3</sup>/d.

### Cálculo do coeficiente de remoção da DBO ( $K_T$ )

De acordo com Von Sperling (2002), temperaturas diferentes devem ser corrigidas o valor de  $K_{20}$ , conforme a equação abaixo.

$$K_T = K_{20} \times \theta^{(T - 20)} \quad \text{(Equação 12)}$$

Onde:

$K_T$  = Coeficiente de remoção de DBO em uma temperatura do líquido T qualquer, em d<sup>-1</sup>;

$K_{20}$  = Coeficiente de remoção de DBO na temperatura do líquido de 20°C ( $K_{20} = 0,35 \text{ d}^{-1}$ , valor adotado);

$\theta$  = Coeficiente de temperatura.

Dependendo do coeficiente de remoção de DBO ( $K_{20}$ ) adotado. Segundo EPA (1983), para  $K_{20} = 0,35$ , tem-se  $\theta = 1,085$ ;

$T$  = Temperatura desejada, em °C.

### Estimativa da DBO solúvel efluente

Para Sperling (2002), admitindo-se o sistema de mistura completa, onde a célula não é predominantemente longitudinal, tem-se:

$$S = \frac{S_0}{1 + K_t \cdot t} \quad \text{(Equação 13)}$$

Onde:

$S$  = DBO solúvel efluente, em mg/L;

$S_0$  = Concentração de DBO;

$K_T$  = Coeficiente de remoção de DBO, em  $d^{-1}$ , a 18,1 °C;

$t$  = Tempo de detenção.

### Estimativa da DBO particulada efluente

Para cálculo da  $DBO_5$  particulada admite-se a equação a seguir:

$$S_{pe} = SS \times S_{alga} \quad \text{(Equação 14)}$$

Onde:

$S_{pe}$  = DBO particulada efluente, em mg/L;

$SS$  = Sólidos em suspensão efluente;

$S_{alga}$  = Capacidade de produção de  $DBO_5$  por algas.

### DBO total efluente

$$DBO = DBO \text{ solúvel} + DBO \text{ particulada} \quad \text{(Equação 15)}$$

### Cálculo da eficiência de DBO

$$E = \frac{(S_0 - S_T) \times 100}{S_0} \quad \text{(Equação 16)}$$

Onde:

**E** = Eficiência, em %;

**S<sub>0</sub>** = Concentração de DBO;

**S<sub>Te</sub>** = DBO total efluente.

### Dimensões da lagoa facultativa

Serão adotadas duas lagoas em paralelo com uma relação comprimento/largura igual a 2,5 em cada lagoa.

De acordo com Von Sperling (2017), quando se faz o pré-dimensionamento das lagoas, encontra-se os valores para meia profundidade, calculados pelas equações abaixo:

$$A = L.B = (2,5. B). B \quad \text{(Equação 17)}$$

$$L = 2,5 \times B \quad \text{(Equação 18)}$$

Onde:

**A<sub>lagf</sub>** = Área requerida;

**L<sub>lagf</sub>** = Comprimento da lagoa facultativa, em m;

**B<sub>lagf</sub>** = Largura da lagoa facultativa, em m.

As demais dimensões são calculadas de acordo com a inclinação adotada para o talude interno, que de acordo com Von Sperling (2017), utiliza-se as seguintes fórmulas:

Admitindo-se que o talude interno tenha uma declividade de 1:d (vert/horiz):

- (Comp. ou Larg.) no fundo = (Comp. ou Larg.) a meia altura -2d.(H/2);
- (Comp. ou Larg.) no N.A = (Comp. ou Larg.) a meia altura +2d.(H/2);
- (Comp. ou Larg.) na crista do talude = (Comp. ou Larg.) no N.A +2d. (Borda livre).

### Dimensionamento dos taludes

Para o dimensionamento do talude interno, adotou-se uma inclinação de 1:2 (altura/base), e para o cálculo do talude externo a inclinação será de 1:2,5 (altura/base).

$$b_i = 2 \times H_{lagf} \quad (\text{Equação 19})$$

$$b_e = 2,5 \times H_{lagf} \quad (\text{Equação 20})$$

Sendo:

$H_{lagf}$  = Altura da lagoa facultativa;

$b_i$  = Comprimento da base do talude interno, em m;

$b_e$  = Comprimento da base do talude externo, em m.

Segundo Von Sperling (2017), a largura do coroamento deve permitir a movimentação das máquinas durante a construção, o tráfego das equipes de manutenção e operação e a possibilidade de acréscimo da altura do dique.

### Dimensionamento das tubulações de entrada e de saída

O diâmetro das tubulações de entrada é calculado através da equação:

$$D_{te} = \sqrt{\frac{4 \times Q_{max}}{N_{te} \times V_e \times \pi}} \quad (\text{Equação 21})$$

Onde:

$Q_{max}$  = Vazão máxima afluente, em m<sup>3</sup>/s;

$V_e$  = Velocidade de entrada, m/s;

$N_{te}$  = Número de tubulações;

$D_{te}$  = Diâmetro das tubulações, em m.

O espaçamento entre as tubulações é calculado pela equação:

$$e_{te} = \frac{B_f}{N_t + 1} \quad (\text{Equação 22})$$

Onde:

$e_{te}$  = Espaçamento entre tubulações, em m;

$B_{lagf}$  = Largura da lagoa facultativa;

$N_{te}$  = Número de tubulações.

Para o cálculo do diâmetro da tubulação de saída foi usada a mesma equação do cálculo de entrada.

$$D_{ts} = \sqrt{\frac{4 \times Q_{max}}{N_{ts} \times V_s \times \pi}} \quad \text{(Equação 23)}$$

Logo:

$Q_{max}$  = Vazão máxima afluyente, em m<sup>3</sup>/s;

$V_s$  = Velocidade de entrada, em m/s;

$N_{ts}$  = Número de tubulações;

$D_{ts}$  = Diâmetro das tubulações, em m.

### Estimativa da área total requerida

$$\text{Área total} = 1,3 \times A_{lagf} \quad \text{(Equação 24)}$$

Onde:

$A_{lagf}$  = área requerida, em m<sup>2</sup>

### Acúmulo de lodo

A taxa média para o lodo acumulado, pode variar entre 0,03 a 0,08 m<sup>3</sup>/hab.ano.

$$\text{Acúmulo de lodo} = \text{Tx de acúmulo} \times \text{Nº de habitantes} \quad \text{(Equação 25)}$$

### Espessura do lodo

$$\text{Espessura} = \frac{\text{Acúmulo lodo} \frac{m^3}{\text{ano}} \times 1 \text{ ano}}{\text{Área total requerida } m^2} \quad (\text{Equação 26})$$

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Tipo de sistema a ser adotado

Para a escolha da proposta do presente trabalho foi baseada na realidade vivida pelo município, quanto ao lançamento dos efluentes de esgotos domésticos no corpo do rio Jardim. Desse modo, apresenta aspecto desagradável, maus odores, acúmulo de materiais sedimentáveis, presença de insetos e roedores, além de criação de bovinos, suínos e aves em suas margens, como mostram as Figuras 3 e 4.

**Figura 3.** Características do rio Jardim.



Fonte: Menezes *et al.* (2025).

**Figura 4.** Ações antrópicas às margens do rio Jardim



Fonte: Menezes *et al.* (2025).



De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico (2013), a qualidade do esgoto bruto é certamente inferior à exigida nas legislações ambientais para lançamento em corpos aquáticos de Classe 2, uma vez que os esgotos domésticos não dispõem atualmente de qualquer estação de tratamento para remoção de poluentes.

Diante do exposto fica evidente a necessidade de sistema de tratamento de esgotos para a população residente no município.

As lagoas facultativas se adequariam melhor ao contexto local, devido aos mais variados usos das águas dos rios e riachos da região, nas quais, a população ao seu entorno utiliza para a irrigação, pesca e dessedentação de animais. Além dos aspectos operacionais a serem considerados quanto ao potencial do polimento das lagoas para os esgotos domésticos, nas quais, é favorecido pela dinâmica existente entre a microbiota associada as macrófitas aquáticas.

## ESTUDOS PRELIMINARES

De acordo com Von Sperling (2005), os estudos preliminares correspondem à fase inicial de um projeto.

### Projeção populacional

Tendo em vista que a ETE será projetada para um período de 20 anos, tem-se no final do projeto o ano de 2040.

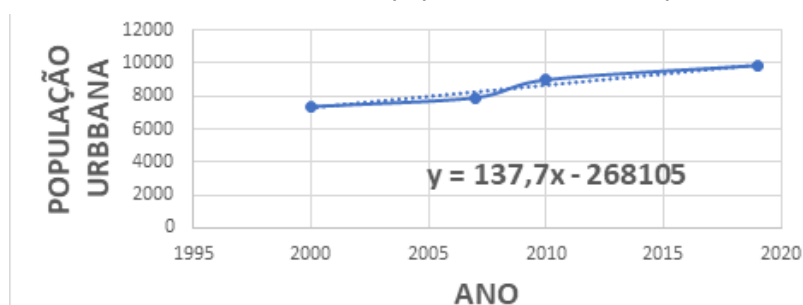
Com base nos dados de projeção populacional obtidos pelo IBGE (2017), no município de Jardim, mostrados na Tabela 4, projetou-se, com auxílio do software Excel 2016, o gráfico de crescimento populacional, conforme mostra o Gráfico 1.

**Tabela 4.** Crescimento populacional de Jardim

| Ano  | População Total | População urbana |
|------|-----------------|------------------|
| 2000 | 26.414          | 7.358            |
| 2008 | 26.586          | 7.910            |
| 2010 | 26.688          | 8.994            |
| 2019 | 27.174          | 9.866            |

Fonte: IBGE (2017)

**Gráfico 1.** Reta de crescimento populacional do município de Jardim



Fonte: Menezes *et al.* (2025)

Através de uma linha de tendência foi gerada a Equação 1, que descreve o crescimento populacional.

$$Y = 137,7 \cdot 2040 - 268105$$

$$Y = 12.803 \text{ habitantes}$$

### Cálculo da vazão doméstica média (Qdméd)

A vazão de esgoto doméstico será obtida através da população de projeto obtida para o ano de 2040. O consumo de água diário médio por pessoas, para essa população foi adotado de acordo com a Tabela 3, sendo o efluente lançado na rede coletora definido a partir do coeficiente de retorno ( $R = 80\%$ ).

Portanto, utilizando-se a Equação 2 temos:

$$Q_{dméd} = 12.803 \times 150 \times 0,8/1000$$

$$Q_{dméd} = 1.536,37 \text{ m}^3/d$$

### Caracterização quantitativa dos esgotos afluentes à ETE

Para o dimensionamento da ETE em estudo, estimou-se vazões mínima, média e máxima. Porém, para o conhecimento dessas vazões foi necessário calcular as vazões industrial e de infiltração.

### Vazão de infiltração (Qinf)

De acordo com PMSB (2013), Jardim possui uma rede coletora de esgoto com extensão de 14,298 km.

A taxa de contribuição de infiltração está compreendida entre 0,05 a 1 L/s.km, com base na NBR 9649 (1986). Nesta pesquisa será adotado o valor médio de 0,4 L/s.km.

Então, utilizando a Equação 3, tem-se:

$$Q_{inf} = 0,4 \times 14.298$$

$$Q_{inf} = 5,72 \text{ l/s}$$

### Vazão industrial (Q<sub>ind</sub>)

O município de Jardim não possui indústrias, há somente uma pequena fábrica de pré-moldados, localizada dentro da cidade. Por tal razão, considerou-se a vazão de efluentes industriais como sendo 3% da vazão doméstica.

Logo, utilizando a Equação 4, temos:

$$Q_{ind} = 17,78 \times 0,03$$

$$Q_{ind} = 0,53 \text{ l/s}$$

### Vazões máxima e mínima (Q<sub>máx</sub> e Q<sub>mín</sub>)

O valor encontrado para a vazão máxima de acordo com a Equação 5, foi:

$$Q_{max} = (17,78 \times 1,2 \times 1,5) + 5,72 + 0,53$$

$$Q_{max} = 38,25 \text{ l/s}$$

E para a vazão mínima de acordo com a Equação 6, foi de:

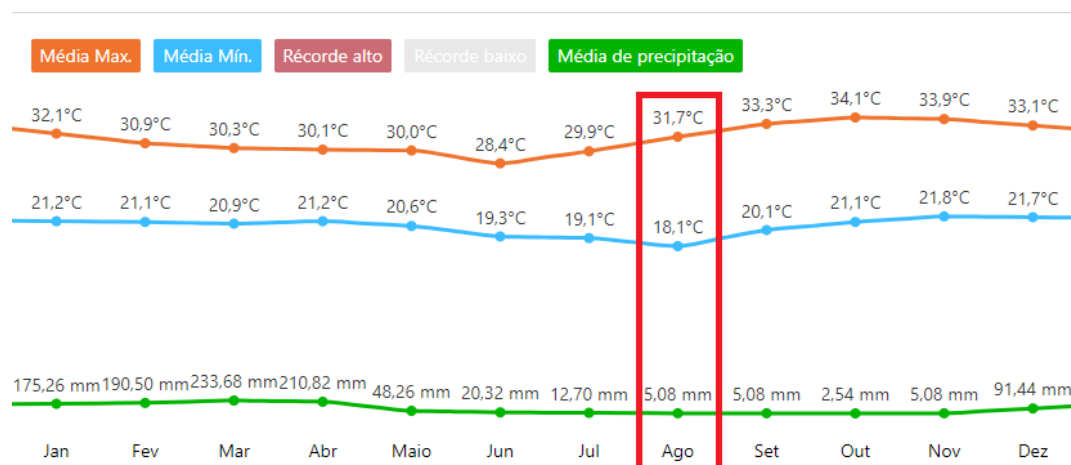
$$Q_{min} = (17,78 \times 0,5) + 5,72 + 0,53$$

$$Q_{min} = 15,14 \text{ l/s}$$

### Determinação da temperatura

O gráfico fornecido pelo site de pesquisa climatológica Weather (2019), mostra a variação de temperatura anual para o município de Jardim.

**Gráfico 2.** Dados climatológicos anual em Jardim



Fonte: Menezes *et al.* (2025)

Tendo em vista que, deve-se conhecer a temperatura média no mês mais frio do ano, de acordo com o Gráfico 1, a temperatura crítica será de  $T^{\circ} \text{mín} = 18,1^{\circ} \text{C}$ .

## DIMENSIONAMENTO DA LAGOA FACULTATIVA

Para a seguinte proposta realizou-se o dimensionamento de duas lagoas facultativas, como segue abaixo:

### Cálculo da carga afluyente de $\text{DBO}_5$ ( $C_{\text{DBO}_5}$ )

Para obtenção da carga afluyente, a concentração de DBO na entrada da lagoa, oriunda de esgotos domésticos, foi adotada de acordo com a Tabela 1. Então, de acordo com a Equação 7 o valor obtido é:

$$C_{\text{DBO}_5} =$$

$$C_{\text{DBO}_5} = 1.156,68 \text{ kg/d}$$

### Taxa de aplicação superficial ( $L_s$ )

A taxa de aplicação superficial, foi obtido pela Equação 8.

$$L_s = 350 \times (1,107 - (0,002 \times 18,1))^{(18,1 - 25)}$$

$$L_s = 218,31 \text{ kgDBO}_5/\text{hab.d}$$

### Cálculo da área requerida ( $A_{lagf}$ )

A área obtida para instalação das lagoas de acordo com a Equação 9 foi:

$$A = \frac{1.156,68}{218,31}$$

$$A = 5,30 \text{ ha}$$

### Cálculo do volume total da lagoa ( $V_{lagf}$ )

Adotando a profundidade de 1,80 m para as lagoas facultativas, ideal para que o princípio de funcionamento do sistema seja operado de forma ótima e usando a Equação 10, temos:

$$V_{lagf} = 53000 \times 1,8$$

$$V_{lagf} = 95.400 \text{ m}^3$$

### Tempo de detenção hidráulica (t)

O tempo encontrado para que a matéria orgânica estabilize, de acordo com a Equação 11 foi:

$$t = \frac{95400}{3.304,80}$$

$$t = 28,86 \text{ dias}$$

### Cálculo do coeficiente de remoção da DBO ( $K_T$ )

O coeficiente de remoção de DBO, para a temperatura de 18,1 °C (temperatura média do mês mais frio) de acordo com a Equação 12 foi:

$$K_T = 0,35 \times 1,085^{(18,1 - 20)}$$

$$K_T = 0,30 \text{ d}^{-1}$$

### Estimativa da DBO solúvel efluente

Utilizando-se um modelo de mistura completa representado pela Equação 13, temos:

$$S = \frac{350}{1+0,30 \cdot 28,86}$$

$$S = 36,24 \text{ mg/l}$$

### Estimativa da DBO particulada efluente

Quanto a estimativa de DBO particulada (Equação 14), para presente proposta adotou-se 80 mg/L de DBO solúvel e considerando que cada 1 mg SS/L implicará numa DBO<sub>5</sub> em torno de 0,35 mg/L, considerando as estimativas supracitadas.

$$S_{pe} = 80 \times 0,35$$

$$S_{pe} = 28 \text{ mg/l}$$

### DBO total efluente

Para obtenção desse resultado, utilizou-se a Equação 15.

$$DBO_T = 36,24 + 28 = 64,24 \text{ mg/l}$$

### Cálculo da eficiência de DBO

Segundo a resolução do CONAMA nº 430 (2011), todos os sistemas de tratamento de esgoto devem possuir uma eficiência na remoção de DBO mínima de 60%, salvo em casos em que haja estudos de autodepuração do corpo hídrico comprovando o atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor. Usando a Equação 16, o valor encontrado foi:

$$E = \frac{(350 - 64,24) \times 100}{350} = 81,64 \%$$

Logo, o sistema em questão atende a este critério.

### Dimensões da lagoa facultativa

Serão adotadas duas lagoas em paralelo e uma relação comprimento/largura igual a 2,5 m em cada lagoa.

$$\text{Área de 1 lagoa} = 53000/2 = 26500 \text{ m}^2$$

Dessa forma, a largura e o comprimento encontrado a meia profundidade pelas Equações 17 e 18, foram:

$$B_{lagf} = 102,96 \text{ m e } L_{lagf} = 257,39 \text{ m}$$

E para as demais dimensões foi:

**Borda livre** = 0,50 m (valor adotado);

**Dimensões de fundo**,  $L = 253,70 \text{ m}$  e  $B = 99,36 \text{ m}$ ;

**Dimensões a nível da água**,  $L = 260,99 \text{ m}$  e  $B = 106,56$ ;

**Dimensões na crista do talude**,  $L = 262,99 \text{ m}$  e  $B = 108,56 \text{ m}$ .

### **Dimensionamento dos taludes**

Contudo, pelas Equações 19 e 20, foram obtidos para as bases dos taludes os valores:

$$b_i = 3,6 \text{ m}$$

$$b_e = 4,5 \text{ m}$$

### **Dimensionamento das tubulações de entrada e de saída**

De acordo com Sperling (2002), as tubulações de entrada devem assegurar uma mistura total do esgoto, também deve ser submersa, de maneira que possa evitar o surgimento de gases malcheirosos. Como foi adotado um modelo de mistura completa, as tubulações devem avançar de  $1/4$  a  $1/3$  do comprimento da lagoa.

Segundo Salla (2003), os dispositivos de entrada devem ser posicionados de forma que atinjam uma velocidade média maior ou igual a  $0,5 \text{ m/s}$ , carregando a areia depositada no assoalho da tubulação. Recomenda-se também o uso de placas de concreto embaixo da saída dos dispositivos de entrada, a fim de evitar a erosão no fundo da lagoa.

Foi adotado para esse projeto uma velocidade igual a  $0,6 \text{ m/s}$  e 3 tubulações de entrada, para facilitar a homogeneização do efluente e espaçadas igualmente.

A Equação 21 determina o diâmetro da tubulação de entrada.



$$D_{te} = \sqrt{\frac{4 \times 0,03825}{3 \times 0,6 \times \pi}} = 0,164 \text{ m}$$

Como o diâmetro encontrado não é comercial, adotou-se o diâmetro de 200 mm, porém, o sistema funcionará com duas lagoas, logo cada tubulação de entrada terá 100 mm.

O espaçamento entre as tubulações é calculado pela Equação 22.

$$e_{te} = \frac{102,96}{3 + 1} = 25,74 \text{ m}$$

Para efeitos de projeto serão posicionadas a cada 26 m uma da outra.

Para o escoamento da lagoa, foi adotado uma única saída com curva de 90°, com velocidade de saída igual a  $V_s = 0,8 \text{ m/s}$ .

Para cálculo do diâmetro da tubulação de saída, foi usada a Equação 23 do cálculo de entrada.

$$D_{ts} = \sqrt{\frac{4 \times 0,03825}{1 \times 0,8 \times \pi}} = 0,246 \text{ m}$$

Logo, o diâmetro comercial mais próximo será 250 mm, como o sistema terá duas lagoas, o diâmetro adotado para cada tubulação de saída será 150 mm. A tubulação também será posicionada no centro da lagoa e 0,60 m abaixo do nível d'água, para evitar a saída de material flutuante.

### Estimativa da área total requerida

Segundo Von Sperling (2017), a área total requerida é da ordem de 25% a 33% superior à área útil total. Assim, a área total ocupada pelo sistema de lagoas e estruturas auxiliares é :

Considerando-se 30% superior.

$$\text{Área total} = 1,3 \times 53000 = 68900 \text{ m}^2$$

## Acúmulo de lodo

A taxa de acúmulo adotada para esse projeto foi de 0,05 m<sup>3</sup>/hab.ano. A quantidade de habitantes refere-se ao ano de início do projeto.

$$\text{Acúmulo de lodo} = \text{Tx de acúmulo} \times \text{nº de habitantes}$$

$$\text{Acúmulo de lodo} = 0,05 \times 10049$$

$$\text{Acúmulo de lodo} = 502,45 \text{ m}^3/\text{ano}$$

## Espessura do lodo

A Equação 26 mostra o resultado para um ano de projeto.

$$\text{Espessura} = \frac{502,45 \text{ m}^3/\text{ano} \times 1 \text{ ano}}{53000 \text{ m}^2}$$

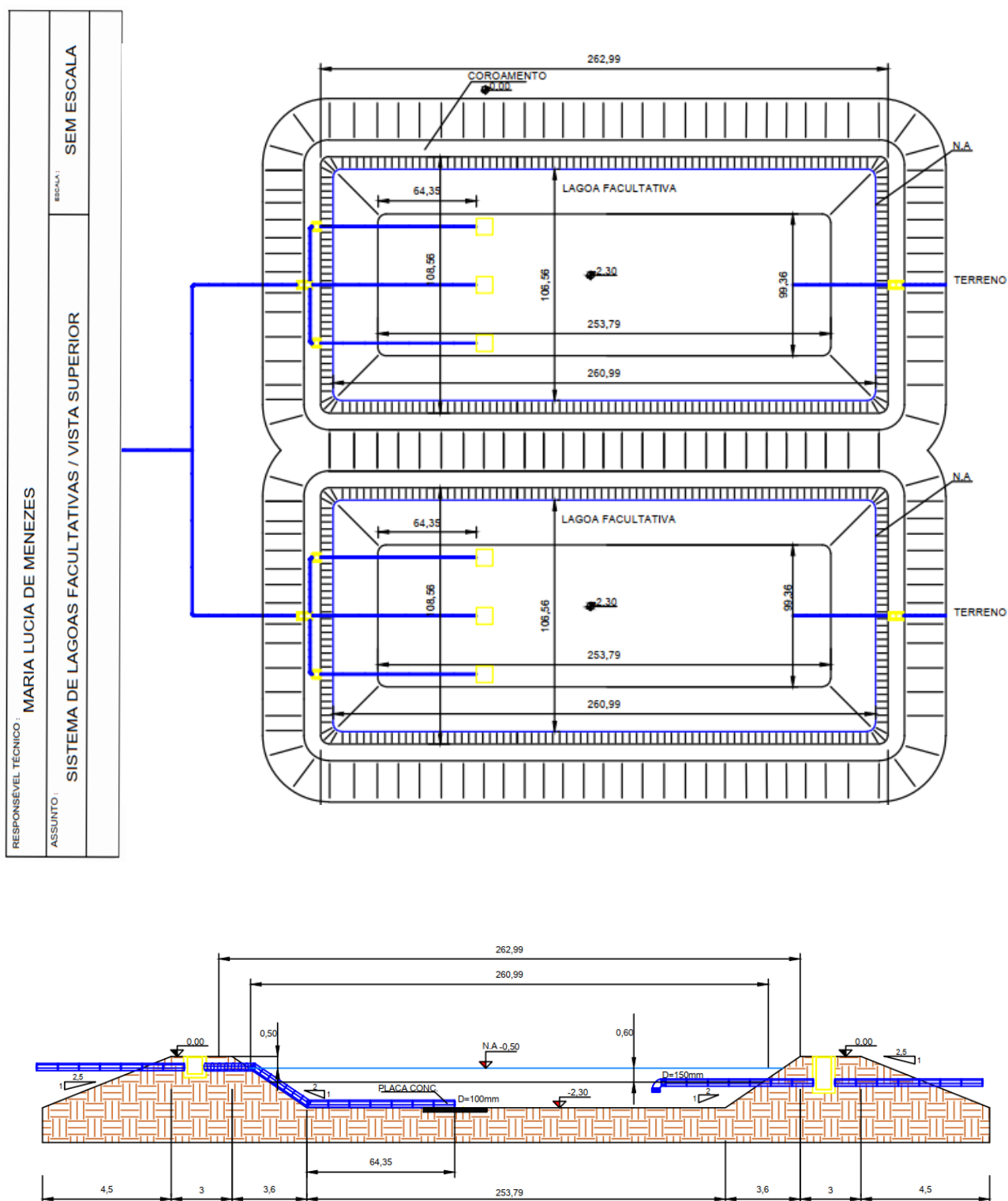
$$\text{Espessura} = 0,0095 \text{ m/ano} = 0,95 \text{ cm/ano}$$

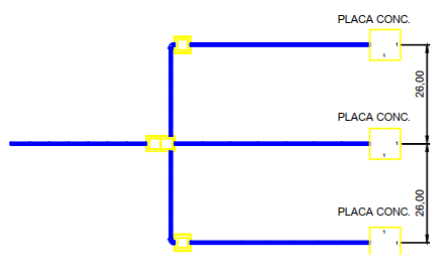
Espessura em 20 anos de operação:

$$0,95 \text{ cm/ano} \times 20 \text{ anos} = 19 \text{ cm}$$

Após 20 anos de operação, o lodo terá ocupado apenas 10,55% da profundidade útil da lagoa.

## DESENHO ESQUEMÁTICO DO SISTEMA DE LAGOAS FACULTATIVAS





|                                                    |                       |
|----------------------------------------------------|-----------------------|
| RESPONSÁVEL TÉCNICO:<br>MARIA LUCIA DE MENEZES     |                       |
| ASSUNTO:<br>SISTEMA DE LAGOAS FACULTATIVAS / CORTE | ESCALA:<br>SEM ESCALA |
|                                                    |                       |

## CONCLUSÃO

A partir dos resultados verificou-se que:

Para um período de projeto de 20 anos a população considerada, baseada no método da extrapolação gráfica foi de 12.803 habitantes. A vazão máxima de projeto foi de 38,25 L/S. Após o tratamento a contribuição de DBO a ser lançada no corpo hídrico do rio Jardim é de 64,24 mg/L, valor dentro dos padrões de aceitação do CONAMA nº 430/2011.

Ao dimensionar o sistema de lagoas facultativas, foram obtidos resultados teóricos de eficiências de remoção de DBO de 81,64%.

O sistema de lagoas requer uma grande extensão para a implantação, cerca de 5,30 hectares, valor calculado para este projeto, considerando as áreas de tratamento preliminar e áreas administrativas, o que pode ser um ponto negativo para sua instalação.

Para facilitar a homogeneização dentro do sistema proposto, foram adotadas três tubulações de entrada com 1/4 do comprimento das lagoas, para cada uma das lagoas facultativas. Para a saída, foi adotado uma única tubulação posicionada no centro das lagoas.

Quanto aos resultados obtidos de acúmulo de lodo (502,45 m³/ano), espessura do lodo (19 cm de espessura) e com uma ocupação de apenas 10,55% da profundidade útil da lagoa em 20 anos de operação, é possível verificar a distribuição do lodo no interior das lagoas facultativas, prevenindo prováveis pontos de acúmulos desse material nos dispositivos de entrada e saída.

Os sistemas de lagoas facultativas realizam remoções bastante otimizadas de matéria orgânica, sólidos e nutrientes devido ao bom desempenho operacional no tratamento de esgotos. Por essa razão, e devido a realidade do município quanto aos usos múltiplos das águas do rio Jardim, torna-se perceptível que esse tipo de sistema de tratamento de esgotos se caracteriza como uma alternativa ambiental e econômica viável.

Para futuros trabalhos sugere-se:

- A utilização de outros modelos matemáticos que para estimativa da população de alcance de projeto;
- O dimensionamento das etapas preliminares para tratamento dos esgotos;
- Um estudo da área para futura instalação da ETE, analisando critérios topográficos e hidrogeológicos;
- O dimensionamento de lagoas de maturação, para verificação da eficiência na remoção de coliformes termotolerantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

\_\_\_\_\_. NBR 9649. **Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.

AL-HASHIMI, M. A. I.; HUSSAIN, H. T. Stabilization Pond for Wastewater Treatment. **European Scientific Journal**, v. 9, n. 14, p. 278–294, 2013.

ARCEIVALA, S. J. **Wastewater treatment and disposal**. Marcel Dekker, New York e Basileia. 892 p, 1981.

CONAMA 430. **Resolução nº 430/2011 – Padrões de lançamento de efluentes**. Complementa e altera a Resolução N o 357/2005. Ministério do Meio Ambiente – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Distrito Federal, Brasília, 13 de maio de 2011.

CROSS, J. W. 2006. **The charms of duckweed**. Disponível em: <http://www.mobot.org/jwcross/duckweed/duckweed.htm>. Acesso em: 03 jun. 2025.

da SILVA, F. J. A.; SILVA, S. A. **Lagoas de estabilização no Ceará: prospecto e tendências**. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro: ABES, 1999.

EPA. **Design Manual. Municipal wastewater stabilization ponds**. United States Environmental Protection Agency: 1983, 327 p.

FERNANDES F. SILVA.; SILVA, C. P. Manual Prático para a compostagem de biossólidos. 1. ed. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI C. V. Produção e características de biossólidos. In: Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura, 1., 1999, Anais, Curitiba: SANEPAR, 1999.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: Universidade Estadual do Ceará, 2002.

GARCIA-RODRÍGUEZ, A.; MATAMOROS, V.; FONTÀS, C.; SALVADÓ, V. The ability of biologically based wastewater treatment systems to remove emerging organic contaminants: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, n. 20, p. 11708–11728, 2014.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Universidade federal do Rio Grande do Sul, 2009. grade – Aula 03 da disciplina GCI073 (Tratamento de águas residuárias). 2017.

GEWER, A. G. **Ecoeficiência de Estações de tratamento de esgoto**: Índice de lodo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Rio Grande do Sul. Trabalho de conclusão de curso. 74p. 2009.

**Gráfico climatológico**. Jardim-CE, 2019. Disponível em: <https://weather.com/pt-BR/clima/mensal/l/de9caaa3268bffd40e203dcb743befe1ef84688ff364e736872e402461067511/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

**IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Censo Demográfico 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil municipal - Jardim**. Fortaleza: IPECE, 2018. Disponível em: [http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/index\\_perfil\\_basico.htm](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/index_perfil_basico.htm).

JAIL, A.; BOUKHOUBZA, F.; NEJMEDDINE, A.; SAYADI, S.; HASSANI, L. Cotreatment of olive-mill and urban wastewaters by experimental stabilization ponds. **Journal of Hazardous Materials**, v. 176, n. 1-3, p. 893–900, 2010.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 7a ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014.

MAHMOOD, Q.; PERVEZ, A.; ZEB, B. S.; ZAFFAR, H.; YAQOOB, H.; WASEEM, M.; ZAHIDULLAH; SUMERA, A. Natural treatment systems as sustainable ecotechnologies for the developing countries. **BioMed research international**, v. 2013, p. 19, 2013.

MARA, D. D.; ALABASTER, G. P.; PEARSON, H. W.; MILLS, S. W. **Waste staibilisation ponds**. A design manual for Eastern Africa. Lagoon Technology International. Leeds. 1992, 121 p.

MELO, W. J; MARQUES, M. O. O potencial do lodo como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000.p. 109 a 142.

METCALF, B.; EDDY, I. N. C. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 3ª ed., 765-926, New York: McGraw-Hill. E.U.A. 1991.

**Plano Municipal de Saneamento Básico**. Disponível em: [https://www.cidades.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2013/10/pmsb\\_jardim\\_consolidado\\_vol-3.pdf](https://www.cidades.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2013/10/pmsb_jardim_consolidado_vol-3.pdf)

RIOS, E. N. **Caracterização e comportamento de uma série de lagoas de polimento tratando esgotos sanitários**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2007. 127 p.

SALLA, M. R. Tratamento preliminar – Dimensionamento da caixa de areia e SILVA, L.

**M. Avaliação da eficiência de sistema não convencional de esgotos sanitários e do impacto dos efluentes no corpo receptor.** Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

SPERLING, M. V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgoto.** 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 2005a.

SPERLING, M. V. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Lagoas de Estabilização.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 2005c