

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Alisson Luiz Camargo

**DESENVOLVIMENTO DE UMA CÉLULA
ELETROLÍTICA PARA A DESINFECÇÃO MÍNIMA EM
FLUXO CONTÍNUO DE EFLUENTE TRATADO EM
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

Taubaté - SP
2018

Alisson Luiz de Camargo

**DESENVOLVIMENTO DE UMA CÉLULA
ELETROLÍTICA PARA A DESINFECÇÃO MÍNIMA EM
FLUXO CONTÍNUO DE EFLUENTE TRATADO EM
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia de Controle e Automação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador (a): Prof. Dr. Marcio Abud
Marcelino

**Taubaté – SP
2018**

FICHA CATALOGRÁFICA

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

C172d Camargo, Alisson Luiz de
Desenvolvimento de uma célula eletrolítica para a desinfecção mínima em fluxo contínuo de efluente tratado em estação de tratamento de esgoto / Alisson Luiz de Camargo. -- 2018.
34 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Marcio Abud Marcelino, Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Desinfecção. 2. Eletrólise. 3. Patógenos. 4. Tratamento de esgoto.
I. Título. II. Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

CDD – 628.3

Alisson Luiz de Camargo

**DESENVOLVIMENTO DE UMA CÉLULA ELETROLÍTICA PARA A
DESINFECÇÃO MÍNIMA EM FLUXO CONTÍNUO DE EFLUENTE TRATADO EM
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

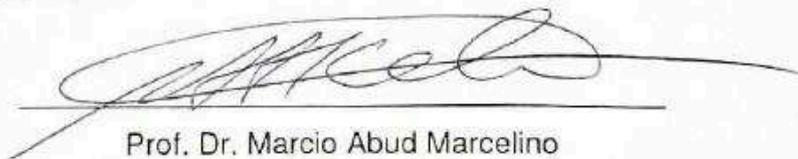
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

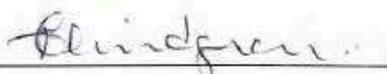


Prof. Me. Luiz Ricardo Prieto Hercos
Coordenador de Trabalho de Graduação

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Marcio Abud Marcelino
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. Me. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. Me. Paulo César Corrêa Lindgren
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Taubaté, 04 de Dezembro de 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, o criador do universo em toda a sua imensidão e detalhes criativos.

À Universidade de Taubaté – UNITAU, que me proporcionou a estrutura e conhecimento para me desenvolver profissionalmente.

Aos meus professores, que transmitiram o conhecimento e tornaram possível todas as minhas impossibilidades.

Aos meus pais Edna de Jesus Moura Camargo e José Luiz de Camargo, que me deram a base e incentivo para que eu buscasse realizar os meus sonhos.

À empresa Aratú Ambiental, que me proporcionou a estrutura para a realização desse trabalho.

E por fim, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Marcio Abud Marcelino que me proporcionou o desafio de desenvolver esse projeto.

"A dor e o esforço são os antecessores da glória e do sucesso."

(Rômulo Mell)

RESUMO

Este projeto visa o estudo e o desenvolvimento de uma célula eletrolítica reduzida, que promove a desinfecção de efluente de estações de tratamento de esgoto, por meio do processo de eletrólise. Esse processo tem por objetivo substituir a demanda de produtos químicos, mais especificamente o cloro, que é utilizado atualmente para a desinfecção de efluentes, porém, esse produto ao reagir com a matéria orgânica forma trihalometanos que são altamente cancerígenos. Em trabalhos anteriores, o processo eletrolítico provou-se eficaz na desinfecção mínima da água, tornando-se desnecessária a adição de cloro. A metodologia usada implica no planejamento de um desenho técnico, através de programas específicos e na confecção de um protótipo de células reduzidas de desinfecção de efluentes em fluxo contínuo para aplicação em miniestações de tratamento de esgoto sanitário pelo método eletrolítico. O diferencial do projeto é a redução de patógenos até atingir uma desinfecção mínima, exigida pela legislação e normas vigentes, com o benefício de um reduzido consumo de energia elétrica.

Palavras-chave: Patógenos. Tratamento de esgoto. Desinfecção. Eletrólise.

ABSTRACT

This Project aims at the study and development of a reduced cell, which should promote the domain of the effluent disinfection technology of sewage treatment plants, by means of the electrolysis process. This process aims to replace the demand for chemicals, more specifically chlorine, which is currently used for disinfection of effluents, but when reacting with organic matter it forms trihalomethanes which are highly carcinogenic products. In previous works, the electrolytic process was proven effective in the minimum disinfection of water, making the addition of chlorine unnecessary. The methodology used implies the planning of a technical drawing, through specific programs and in the elaboration of a prototype of reduced disinfection cells of effluents in flow for application in minitations of treatment of sanitary sewage by the electrolytic method. The differential of the project is the reduction of pathogens until achieving a minimum disinfection required by the legislation and current standards, with the commitment of a reduced consumption of electric energy.

Keywords: Pathogens. Sewage treatment. Disinfection. Electrolysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Eletrólise do cloreto de sódio fundido	16
Figura 2 - Seqüência das fases do projeto	20
Figura 3 - Evolução conceitual do processo	23
Figura 4 - Vistas da célula eletrolítica.....	27
Figura 5 - Vistas eletrodo e barramento	28
Figura 6 - Suporte dos eletrodos	29
Figura 7 - Tampa frontal da célula eletrolítica	30
Figura 8 - Dimensão em 3D da célula eletrolítica.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DBO	Demandas Bioquímicas
DQO	Demandas Químicas de Oxigênio
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
EC	Eletrocoagulação
E.coli	Escherichia coli
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
mL	Mililitro
P	Potência
PH	Potencial Hidrogeniônico
I	Corrente
Q	Vazão
THM	Trihalometanos
U	Potencial
UFC	Unidade de Formação de Colônias
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO ESTUDO	14
1.2 OBJETIVO GERAL	14
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	15
1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	15
2. PROCESSO DE DESINFECÇÃO	16
2.1 PROCESSO ELETROLÍTICO	16
2.2 REATOR ELETROLÍTICO	17
2.3 PROCESSO ELETROLÍTICO PARA DESINFECÇÃO	18
3. METODOLOGIA DE ESTUDO	20
3.1 FASES INICIAIS	20
3.2 ENSAIOS	21
3.3 ANÁLISE DO RESULTADO	22
4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	23
4.1 REVISÕES	23
4.2 DESCRIÇÃO E DESENHO TÉCNICO MECÂNICO	24
5. CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS	33

1. INTRODUÇÃO

A água é uma fonte indispensável para todos os meios de vida e ao desenvolvimento socioeconômico da sociedade. Por mais que exista em uma grande quantidade ao redor do mundo, cobrindo 71% da superfície terrestre (Motta, 1997), a mesma chega ser um recurso raro em muitas áreas, devido à sua má distribuição e desperdícios. Pesquisas apontam que cerca de 1,5 bilhões de pessoas sofrem com a escassez de água de qualidade. Nos últimos anos a preocupação com a degradação do ambiente, especificamente com a qualidade da água, vem aumentando drasticamente, tendo em vista que o tratamento inadequado desse recurso pode causar a propagação de doenças hidrotansmissíveis, eutrofização das águas e acarretando impactos irreversíveis sobre a vida aquática e ao meio ambiente como um todo.

Assim para que as pessoas possam desfrutar dos recursos hídricos do planeta, promovendo um desenvolvimento sustentável, busca-se não só utilizar a água de forma consciente, mas também tratá-la da melhor maneira. Desta forma a sociedade busca através do tratamento de esgoto sanitário, reutilizar a água ou qualquer outro efluente que possa servir para as atividades humanas.

Atualmente o tratamento de esgoto sanitário busca reduzir os índices das demandas biomiquicas (DBO) e as demandas químicas de oxigênio (DQO), que são parâmetros de cargas poluidoras presentes dentro dos efluentes sanitários. Esse tratamento sanitário ocorre no interior de reatores anaeróbico ou aeróbico, através de microfaunas específicas. O tratamento biológico anaeróbico se caracteriza por ser lenta, ou seja, exigindo elevado tempo de detenção, e é aplicado geralmente para sistemas de baixas vazões, como as aplicadas em condomínios, escolas, pequenos bairros isolados, etc. já o tratamento biológico aeróbico se aplica em sistemas de alta vazão, como as que são utilizadas nas estações de tratamento de esgoto, devido ao seu reduzido tempo de detenção.

As estações de tratamento de esgoto (ETEs), são uma necessidade mundial no tocante à conservação de recursos hídricos do planeta, é por meio delas que se faz possível a desinfecção desses efluentes. O processo de desinfecção do efluente de uma estação de tratamento de esgoto é definido com a etapa de redução das densidades de microrganismos até os limites estabelecidos pela legislação para diferentes destinos. Os padrões microbiológicos de desinfecção para o consumo

humano são definidos pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2011b) e referem-se à *Escherichia coli* (E.coli) e aos coliformes fecais, que devem estar ausentes após o tratamento. Já para o lançamento em corpos d'água doce, os padrões são definidos por leis federais e estaduais (SÃO PAULO, 2005), em que o lançamento do efluente tratado não deve alterar as características do corpo d'água. Por essa razão que a desinfecção de esgoto sanitário não visa à esterilização total do efluente, já que busca inativar aquelas espécies de microrganismos que ameaçam a saúde humana, porém nas quantidades que mantenham as características do corpo receptor.

Hoje em dia são utilizados diferentes tipos de processos na desinfecção de efluentes no pós - tratamento, entre eles estão a de cloração, a ozonização, eletrólise e a desinfecção por raios ultravioletas (UV). O sistema de desinfecção por cloração é um dos processos mais econômicos encontrados atualmente no mercado, ele é encontrado nos estados gasoso, líquido e sólido. Trata-se de um sistema aplicável em diferentes áreas, embora tenha seu uso questionado devido a sua capacidade de reação, que ao entrar em contato com a água, forma trihalometanos (THMs), que são partículas altamente cancerígenas.

O processo de ozonização é o mais forte desinfetante e oxidante indicado para o tratamento da água, que atua a partir do ataque do ozônio às membranas, proteínas, DNA e outros componentes das células patogênicas, chegando a ser 10 vezes superior na desinfecção que o cloro para todos os microrganismos. Infelizmente esse processo, como a da cloração, também tem o potencial de criar partículas que podem ser altamente danoso á saúde humana.

A desinfecção por radiação UV ocorre através do mecanismo de inativação do material genético, onde as moléculas absorvem radiação no comprimento de onda entre 200 e 300 nm. O principal mecanismo de ação da radiação UV, na desinfecção, é por meio da interferência na biossíntese e na reprodução celular. Os micro-organismos infecciosos, ou patogênicos, sejam as bactérias, vírus, protozoários, fungos ou helmintos, são inativados pela radiação UV como resultado dos danos fotoquímicos causados aos seus ácidos nucléicos (Marcelino, 2018).

Diferente dos métodos de desinfecção, que utilizam produtos químicos, tais como: o cloro, a radiação ultravioleta não adiciona produtos ao esgoto ou a água. Sendo assim, não há residual desinfetante e a ação da radiação só é efetiva enquanto a fonte estiver ligada ou quando o líquido estiver passando pelo reator

fotoquímico. Essa característica constitui uma das principais vantagens no caso da desinfecção de esgotos, pois reduz a potencialidade de formação de subprodutos (Marcelino, 2018).

E por fim temos o processo de eletrólise como forma de desinfecção, que por sinal, será o processo integrador para a realização desse trabalho, no qual visa o desenvolvimento de um protótipo, mais especificamente uma célula eletrolítica, para a desinfecção mínima de efluentes. A proposta é a utilização do processo eletrolítico exclusivamente na etapa final do tratamento, buscando uma desinfecção mínima, por filetes d'água e em fluxo contínuo, com uma automação que vença as barreiras do passado e possa servir para minimizar os problemas dos demais processos de desinfecção, descritos.

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO ESTUDO

Esse projeto busca a eliminação do cloro como forma de desinfecção dos efluentes, mesmo o processo de cloração ser uns dos métodos mais populares adotado para esse tipo de objetivo. Isto porque as águas que tenha como função abastecer as necessidades do consumo humano ou animal devem estar isentas de patógenos ou resíduos químicos que podem trazer danos a saúde.

Embora existam trabalhos na literatura que demonstram a utilização do processo de eletrolise no tratamento inicial do esgoto, tendo como consequência o consumo elevado de energia, que acaba o inviabilizando para a demanda do mercado, principalmente quando comparado aos sistemas de tratamentos convencionais.

Por esse motivo a estratégia desse projeto é atuar apenas no pós-tratamento desses efluentes, adquirindo o domínio do sistema de desinfecção por eletrólise e buscando explorar as vantagens do processo com soluções mecânicas, elétricas e eletrônicas, com possível redução no consumo de energia, trazendo uma automação no processo que reduza a interferência do homem e aumente a confiabilidade do sistema como um todo.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse projeto é a automação do processo de desinfecção e pós-tratamento de efluente de estação de tratamento esgoto sanitário (ETE), para promover a redução de patógenos, sem o uso de produtos químicos. A utilização de

processo por eletrodepuração é um dos métodos que objetiva viabilizar a desinfecção de um efluente com alta vazão, divididos em filetes de baixas vazões e fluxos contínuos, para atingir uma desinfecção mínima, buscando atender as legislações vigentes e explorando as vantagens desse processo com soluções de engenharia com custo baixo e reduzido consumo de energia.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Podem ser citados como objetivos específicos:

- Planejamento e confecção de um protótipo da célula eletrolítica para a desinfecção mínima em fluxo contínuo de um efluente tratado em estação de tratamento de esgoto.
- Confecção do desenho técnico mecânico do protótipo da célula eletrolítica.

1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O projeto da célula eletrolítica de desinfecção mínima de um efluente em fluxo contínuo foi planejado, estudado e desenvolvido na empresa Aratú Ambiental Ltda, sendo supervisionado pelo professor Marcio Abud Marcelino.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em capítulos e subcapítulos. Abaixo será apresentada a ordem de desenvolvimento:

O capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho, com justificativas do estudo e objetivos.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica, explicando sobre o processo eletrolítico e seu uso na desinfecção de efluentes.

O capítulo 3 explica a metodologia adotada, pelas quais foram abordadas a confecção do desenho.

O capítulo 4 apresenta os passos e o resultado da confecção do desenho técnico mecânico.

O capítulo 5 apresenta a conclusão do trabalho.

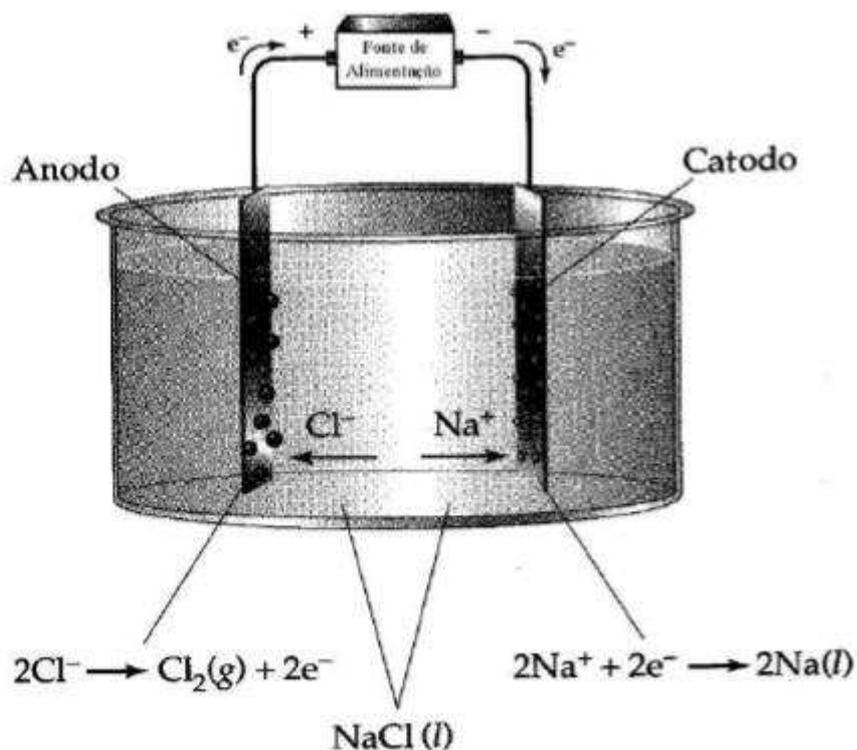
Por fim, são apresentadas as referências utilizadas neste trabalho.

2. PROCESSO DE DESINFECÇÃO

2.1 PROCESSO ELETROLÍTICO

Processo eletrolítico ou eletrólise é um processo eletroquímico não espontâneo, que requer um sistema em forma de circuito eletroquímico, cujos elementos são os eletrodos, normalmente metálicos, os eletrólitos (íons em solução) e de uma fonte de energia elétrica externa, como mostra a Figura 1.

Figura 1- Eletrólise do cloreto de sódio fundido



Fonte: SINOTI *et al.* (2004).

Os fenômenos da eletrólise podem ser condensados em duas leis de Faraday, surgidas em 1835, para a eletrólise (DENARO, 1974; TICIANELLI, 2005):

1. A quantidade de produto primário formado num eletrodo pela eletrólise é diretamente proporcional à quantidade de eletricidade que passa pela solução.

2. As quantidades de diferentes produtos primários formados num eletrodo pela mesma quantidade de eletricidade são proporcionais as suas massas moleculares relativas, ou massas atômicas relativas, divididas pela variação de seu número de oxidação durante o processo eletrolítico.

A lei de Faraday pode ser usada para relacionar, utilizando-se eletrodos de alumínio, a massa de alumínio gerada eletroliticamente que entra em solução, para uma corrente de operação e um tempo de funcionamento, podendo chegar a quantidade de coagulante entregue à solução (HOLT *et al.*, 2005).

2.2 REATOR ELETROLÍTICO

Em relação ao modo de operação, um reator eletrolítico pode ser classificado como: reator de batelada, reator de fluxo contínuo e reator de fluxo contínuo com agitação.

Durante a operação de uma célula eletrolítica, a queda de tensão não é distribuída uniformemente, e isso se dá pela resistência elétrica do eletrólito e eletrodos. A queda de tensão através da interface da solução e do eletrodo de trabalho determina a constante de velocidade da reação eletroquímica (GRIMSHAW, 2000).

A eletrocoagulação (EC) está diretamente relacionada ao desgaste do eletrodo (corrosão) no processo de geração do agente coagulante, o que significa que a geração de alumínio ou ferro em solução está intimamente relacionada à carga que, por sua vez, pode ser controlada pela corrente elétrica. Assim, a corrente medida por um multímetro durante um processo de eletrocoagulação é, a princípio, proporcional a quantidade do metal ionizado gerado em solução (SILVA *et al.*, 2005).

Sabendo-se a massa do eletrodo, e conhecendo-se a quantidade de íons do metal necessária para promover a coagulação das impurezas, pode-se estabelecer a corrente a ser aplicada para um intervalo de tempo, e a área dos eletrodos que participará da eletrólise (SILVA *et al.*, 2005). Deste modo por meio da corrente aplicada pode-se determinar a potência em kWh/m³ de um reator eletrolítico em fluxo contínuo, de acordo com a expressão (1) (FONSECA, 2017).

$$P = \frac{(U*i)}{(Q*1000)} \quad (1)$$

Onde:

P = Potência (kWh/m³)

U = Potencial (V)

i = Corrente aplicada na eletrólise (A)

Q = Vazão (m³/h)

2.3 PROCESSO ELETROLÍTICO PARA DESINFECÇÃO

Kerwick *et al.* (2005) apontaram à desinfecção eletrolítica, direta e indireta, como tendo o maior potencial para substituir a cloração. A principal vantagem do processo eletrolítico é a utilização de equipamentos simples e de fácil operação, remoção eficiente de substâncias que dão gosto, cor, sabor e odor, e tempos de detenção pequenos (MOLLAH *et al.*, 2001), em relação a outros processos de desinfecção, como por exemplo, o tratamento por raios UV, pois, necessitam para se ter melhor desempenho, que se passe por filtração para se diminuir a turbidez do efluente, aumentando assim o custo do processo de tratamento (GONÇALVES *et al.*, 2003).

Durante o processo eletrolítico os principais fenômenos eletroquímicos que ocorrem no tratamento de efluentes são a eletrólise do efluente, eletrofloculação (eletrocoagulação/eletroflotação) e eletrooxidação.

A eletrocoagulação envolve a geração de íons metálicos no anodo enquanto que gás hidrogênio é liberado no catodo (CHEN, 2004). A coagulação ocorre quando os cátions do metal se combinam com as partículas negativas carregadas para o anodo pelo movimento eletroforético. Os contaminantes presentes na corrente de água residuária são tratados tanto por reações químicas e precipitação ou ligação física e química aos materiais coloidais que estão sendo gerados pela erosão do eletrodo. Eles são então removidos por eletroflotação, ou sedimentação e filtração (MOLLAH, 2004). A eletroflotação é um processo simples que flota os poluentes para a superfície por microbolhas de hidrogênio e oxigênio geradas pela eletrólise (CHEN, 2004).

Na eletrooxidação, os poluentes são destruídos tanto por processo de oxidação direto ou indireto. No processo de oxidação direto, os poluentes são primeiramente adsorvidos na superfície do anodo e então destruídos pela reação de transferência de elétron anódica (RAJKUMAR e PALANIVELU, 2004). Os óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos sólidos fornecem superfícies ativas para a adsorção da espécie poluente (MOLLAH, 2004). Já o processo de oxidação indireto, oxidantes fortes tais como hipoclorito/cloro, ozônio, peróxido de hidrogênio são gerados eletroquimicamente. Os poluentes são então destruídos em solução pela reação de oxidação do oxidante gerado. Todos os oxidantes são gerados *in situ* e utilizados imediatamente (RAJKUMAR e PALANIVELU, 2004).

Para que o processo de eletrocoagulação seja eficiente deve-se ter o controle de vários parâmetros, como por exemplo:

- Densidade da corrente e a tensão na célula;
- Materiais, área específica e espaçamento dos eletrodos;
- Taxa de agitação ou vazão;
- PH do efluente;
- Temperatura;
- Concentração de eletrólitos;
- Tempo de permanência na célula;
- Tamanho das partículas e concentração dos poluentes.

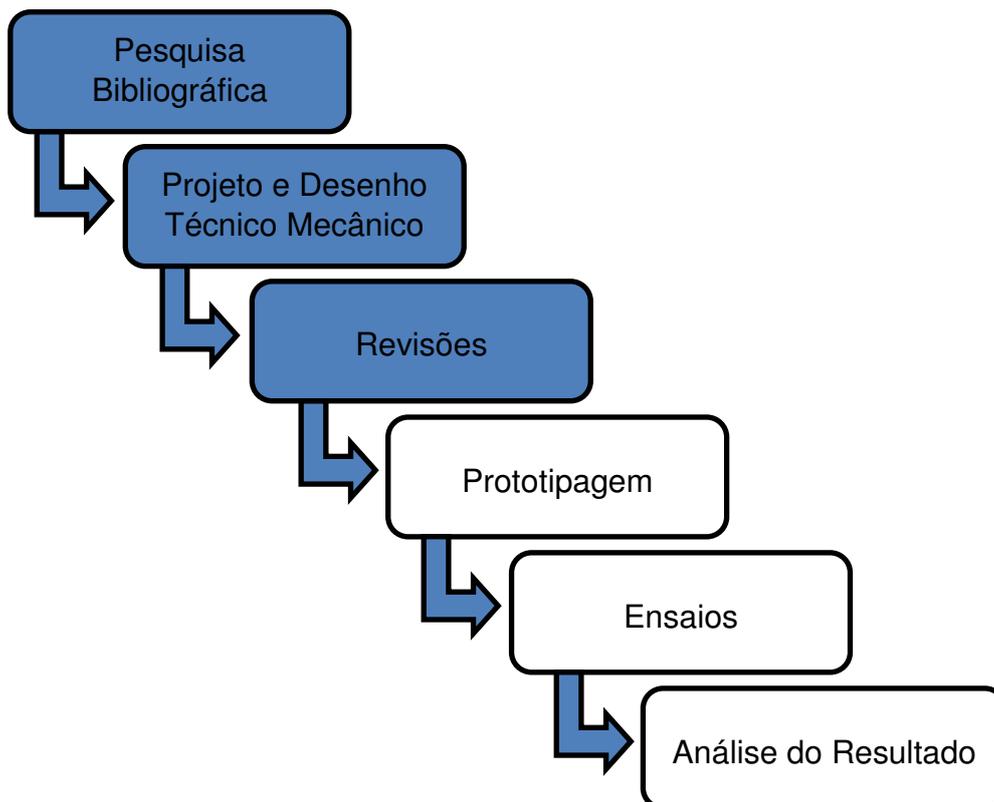
Wiendl (1998) relata uma eficiência de desinfecção do esgoto tratado somente por processo eletrolítico (em valores médios de coliformes totais/100 mL) da ordem de 97,9882%. Sinoti e Souza (2004), em pesquisa com sistema eletrolítico, atribuem aos mecanismos de eletrocoagulação, eletrofloculação, eletroflotação e geração de produtos oxidantes a eficiência de desinfecção e de características gerais de efluentes sanitários.

3. METODOLOGIA DE ESTUDO

3.1 FASES INICIAIS

A Figura 1 apresenta a seqüência planejada das fases do projeto. As fases representadas nos blocos preenchidos estão inseridas no escopo do presente trabalho, ao passo que as demais fases (prototipagem, ensaios e análise do resultado) deverão ser realizadas em trabalhos futuros.

Figura 2 - Seqüência das fases do projeto



Fonte: Autor (2018)

O trabalho é continuação de um conjunto de obras acadêmicas e além dos recursos já produzidos pela equipe, foram utilizados livros, monografias e artigos acadêmicos.

O projeto e desenho técnico mecânico foram realizados, utilizando o conhecimento prévio do projeto, adquirido pela pesquisa bibliográfica, a experiência do orientador e as orientações da empresa Aratú Ambiental.

O projeto teve um desenvolvimento iterativo, passando por diversas revisões de acordo com as propostas do professor orientador e da empresa. A partir disso

será construído um protótipo do reator eletrolítico de desinfecção em parceria com a empresa Aratú Ambiental.

3.2 ENSAIOS

A execução dos ensaios e análise dos resultados foge ao escopo desse trabalho, mas considerá-los durante todas as suas fases é essencial para o sucesso do projeto.

Este presente trabalho foi desenvolvido em parceria com a empresa Aratú Ambiental Ltda, com o apoio da Empresa de Saneamento Básico de São Paulo - SABESP, cujo objetivo representa a continuação de um conjunto de trabalhos já realizados anteriormente.

O polipropileno poderá ser o material utilizado na confecção do protótipo, devido à sua resistência à corrosão e possuir o fator isolante em sua composição. Assim, a partir dele, por processos de soldagem e usinagem será possível realizar a construção de toda a estrutura básica da célula.

Conforme ensaios de outros protótipos já realizados, o protótipo será validado a partir de testes com um kit microbiológico para a determinação simultânea da redução nas colônias de bactérias E.coli e des coliformes totais. Nos ensaios serão determinados o mínimo tempo de detenção e o menor consumo energético, necessários para uma desinfecção mínima do efluente, de acordo com as normas vigentes.

O efluente que será utilizado nos ensaios será coletado no tanque de decantação, etapa anterior ao sistema de desinfecção com cloro na forma de gás, da Estação de Tratamento de Esgoto Taubaté – Tremembé, da SABESP.

Para determinação dos tempos, a vazão será controlada por uma válvula, a fim de garantir tempos de detenção de 1, 5, 10 e 15 minutos. Os testes serão realizados com os eletrodos alimentados por uma fonte externa.

O kit que será utilizado possui uma faixa de operação de 80 á 25000 UFC/100mL. Sendo que UFC refere-se à unidade de formação de colônias, uma medida que estima o número de bactérias por unidade de volume. Diferentemente das contagens microscópicas convencionais, na contagem UFC as bactérias mortas não são consideradas, o que permite observar com maior facilidade a eficácia do processo de desinfecção.

3.3 ANÁLISE DO RESULTADO

Com a célula construída espera-se descobrir o menor tempo necessário para a desinfecção mínima do efluente, além do menor consumo necessário para o mesmo. Com os resultados do projeto, objetiva-se atingir o estado da arte em sistemas de desinfecção mínima por processos eletrolíticos.

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

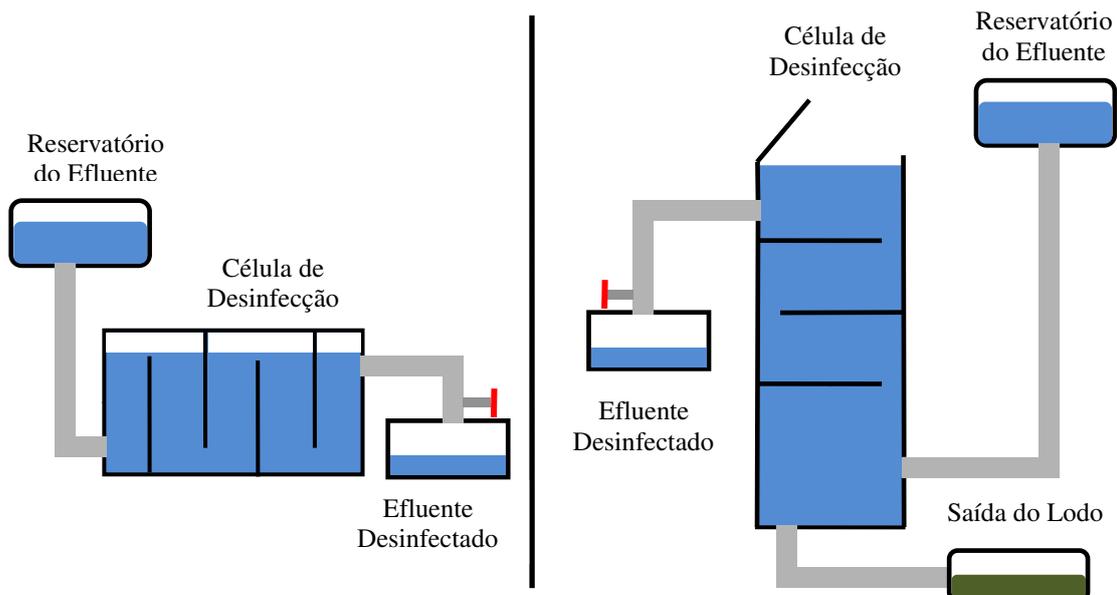
O projeto foi realizado com base nas experiências com os trabalhos anteriores.

Os principais objetivos do projeto mecânico foram trazer uma atualização em relação aos projetos anteriores, trazendo um melhor desempenho, buscando soluções de automação para potencializar o processo, além de facilidades de manutenção.

4.1 REVISÕES

O projeto passou por ciclos iterativos de revisões, de acordo com as propostas das partes interessadas. É observado na Figura 3 a evolução conceitual do processo.

Figura 3 - Evolução conceitual do processo



Fonte: Adaptado de Marcelino (2018).

A primeira célula eletrolítica obteve bons resultados em relação à desinfecção dos efluentes, porém ela não possuía um sistema de automação necessária para potencializar o processo, por esse motivo o projeto buscou desenvolver um conceito que suprisse essa necessidade e chegasse a um resultado satisfatório.

4.2 DESCRIÇÃO E DESENHO TÉCNICO MECÂNICO

O projeto técnico mecânico passará a ser descrito com referências a sua funcionalidade e também referências aos desenhos, ao passo que:

A figura 4 apresenta 5 vistas da célula eletrolítica.

A figura 5 apresenta o eletrodo (figura 5a), o barramento (figura 5b) e o conjunto eletrodo e barramento (figura 5c).

A figura 6 apresenta as divisórias internas da célula (figuras 6a e 6b) e os suportes dos eletrodos (figuras 6c e 6d).

A figura 7 apresenta detalhes da tampa frontal da célula.

E por fim a figura 8 apresenta uma dimensão em 3D da célula eletrolítica.

O projeto da célula eletrolítica pode ser confeccionado, entre outros materiais, de aço inoxidável com tinta isolante, de polipropileno ou de polietano de alta densidade, devido à resistência à corrosão e por ter alta resistência à corrente elétrica. Os dois últimos podendo ter versões injetadas, rotomoldadas ou por processos de soldagem e usinagem. Em todos os casos é possível realizar a construção de toda a estrutura básica da célula, sendo que as dimensões e, em consequência, o volume, são dependentes da vazão máxima que se deseja no processo de desinfecção, em função da distância entre os contatos e suas dimensões, que definem a densidade da corrente elétrica e determinam o tempo mínimo de detenção do efluente no processo (MARCELINO, 2018).

A célula é construída na posição vertical, sendo que a entrada (2) do efluente está na parte inferior e a saída (9) do efluente desinfectado está na parte superior, e as conexões podem ser realizadas por mangueiras, permitindo o fracionamento da vazão em várias células em paralelo. Os labirintos ascendentes, realizados pelas divisórias (5) e (7) garantem uma desinfecção uniforme, uma vez que evitam os turbilhonamentos localizados, comuns em tratamentos por batelada originários do aumento da temperatura do efluente durante o processo. O número de divisórias também pode variar em função da vazão e do tempo mínimo de detenção (MARCELINO, 2018)

O material flotado é resultante dos gases gerados no processo de eletrólise, que aglutinam os patógenos e parte de matéria orgânica. A recomendação é que o

compartimento superior, onde estão localizadas a saída (9) do efluente desinfectado e a saída (10) do material flotado, não seja equipado com eletrodos (4). Isso porque, embora o tratamento por eletrólise destrua a membrana de bactérias, vírus e protozoários e vermes, devido à possibilidade de se optar por uma desinfecção mínima, reduzindo o tempo de detenção do efluente e a energia elétrica consumida no processo, pode resultar em uma desinfecção que não atinge 100% dos patógenos. Nesse caso, o efluente com desinfecção mínima, poderá ser lançado em corpos d'água, de acordo com os níveis mínimos estabelecidos pelas legislações vigentes. Para alcançar essa desinfecção mínima, o efluente desinfectado tem a saída (9) exclusiva, pela lateral superior, de forma que tenha o mínimo de material flotado, que sai, em forma de bolhas, pela parte superior (10) (MARCELINO, 2018).

Outro resultado do processo eletrolítico é que parte da matéria orgânica desce por decantação, e por essa razão que existe um compartimento na parte inferior da célula para armazenar esse lodo decantado, para ser retirado periodicamente pela saída inferior (3). O material flotado da saída (10) e o lodo decantado da saída (3) são destinados a aterros sanitários (MARCELINO, 2018).

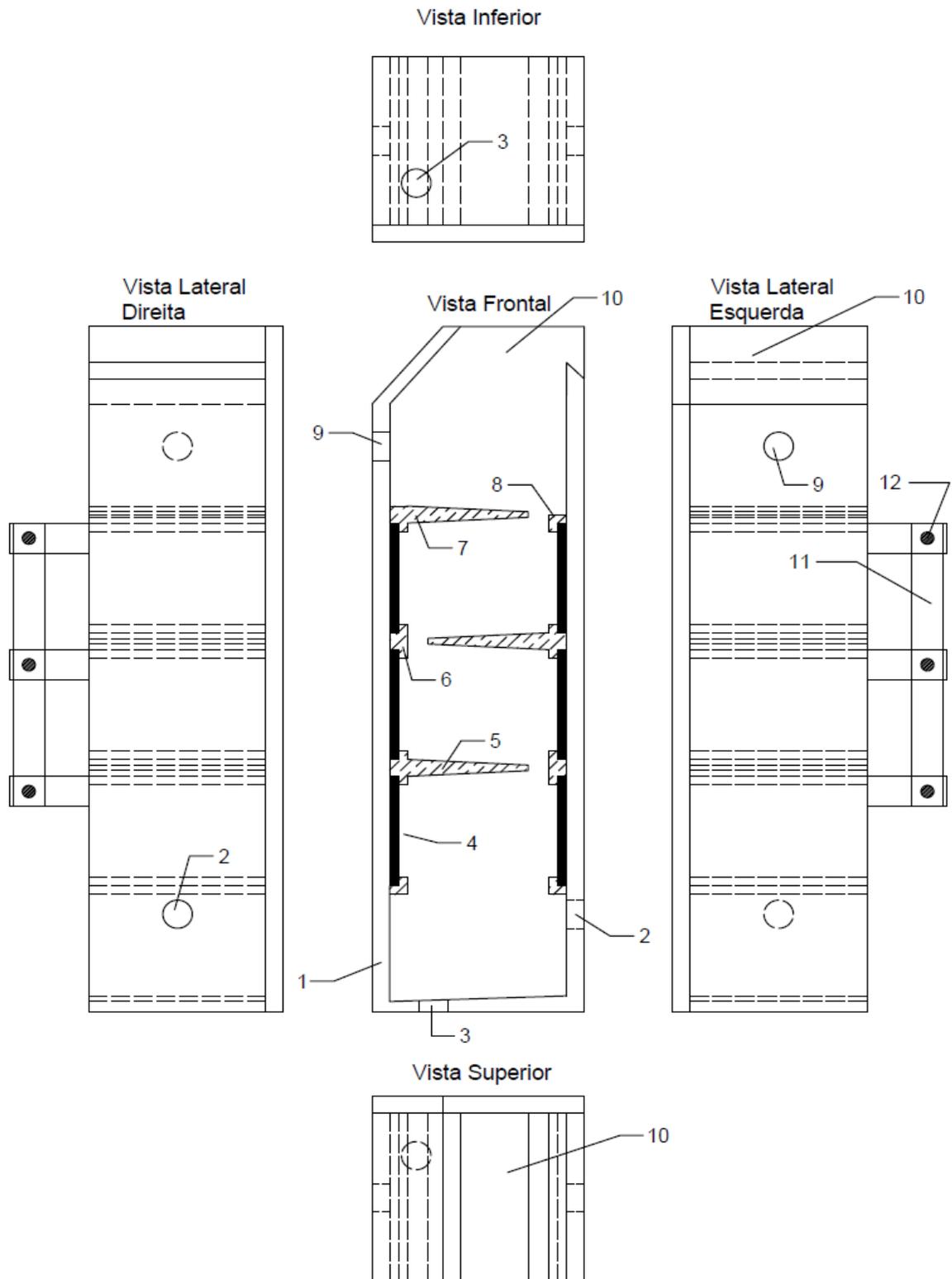
A automação do tratamento em fluxo contínuo com vazão inconstante é realizada em função da entrada (2) do efluente, ser realizada pela parte inferior da célula e as divisórias dos laberintos, (5) e (7), serem levemente inclinadas, em ambos os lados, permitindo que os gases flotados e o efluente caminhem continuamente para cima, durante o processo de tratamento e, quando a vazão não atingir a respectiva célula, permite o escoamento para baixo do efluente, por gravidade, retornando pela entrada (2), de forma que, mesmo a célula estando alimentada, não haverá circulação de corrente elétrica (MARCELINO, 2018).

Os eletrodos (4) podem ser de alumínio e são montados aos pares fixados nas divisórias dos laberintos (5) e (7) e nos suportes (6) e (8). Eles são alimentados com a tensão da rede de energia elétrica retificada, sendo um eletrodo positivo e outro negativo, de forma que somente uma das superfícies de cada eletrodo é usada de cada vez. As conexões elétricas são realizadas pelo lado de fora da célula, sem contato com o efluente, através de dois barramentos (11), do mesmo material, sendo um para os eletrodos positivos e outro para os eletrodos negativos. E, nos dois casos, recebem alimentação externa através da conexão (12) (MARCELINO, 2018).

A tampa frontal (13) é removível, permitindo fácil acesso aos eletrodos (4), com a possibilidade de troca das posições dos mesmos, positivo com o negativo e vice-versa, para que as respectivas superfícies sejam utilizadas de ambos os lados, antes da substituição definitiva dos mesmos, o que ocorre periodicamente no processo eletrolítico, devido ao maior desgaste do eletrodo negativo. Os eletrodos passam através de furações na parede da tampa (13) que devem ter vedação específica, por exemplo, com silicone para altas temperaturas (MARCELINO, 2018).

A tampa frontal (13) igualmente é vedada com oring, com silicone ou vedante equivalente, e pode ser fixada por parafusos, na própria parede da célula, mas, devido ao aquecimento do efluente durante o processo, se o material for PP, pode ser fixada também em dois ou três pontos por abraçadeiras metálicas, que envolvem toda a célula (MARCELINO, 2018).

Figura 4 - Vistas da célula eletrolítica



Fonte: Adaptado de Marcelino (2018)

Figura 5 - Vistas Eletrodo e Barramento

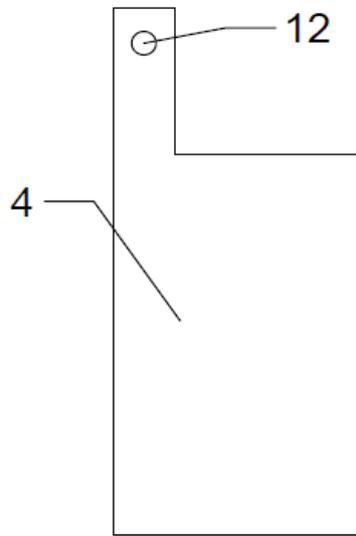


Figura 5a

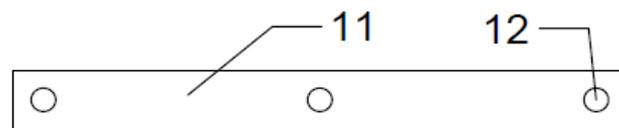


Figura 5b

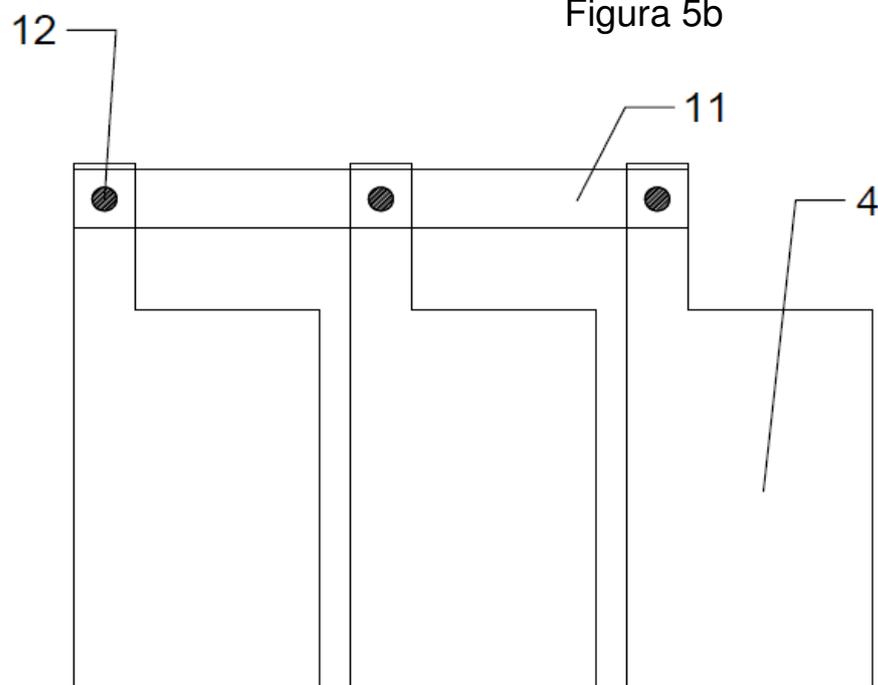
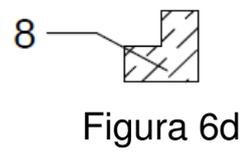
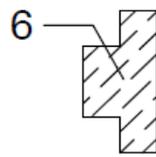
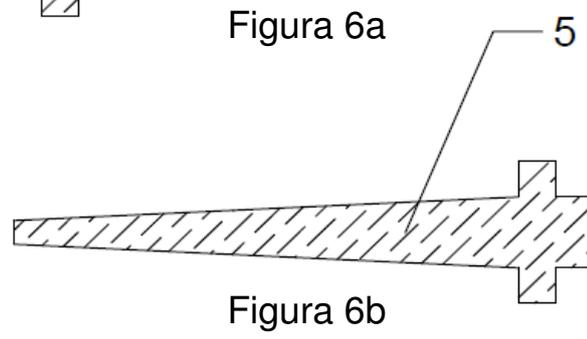
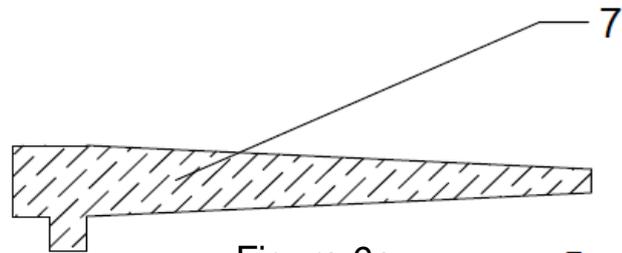


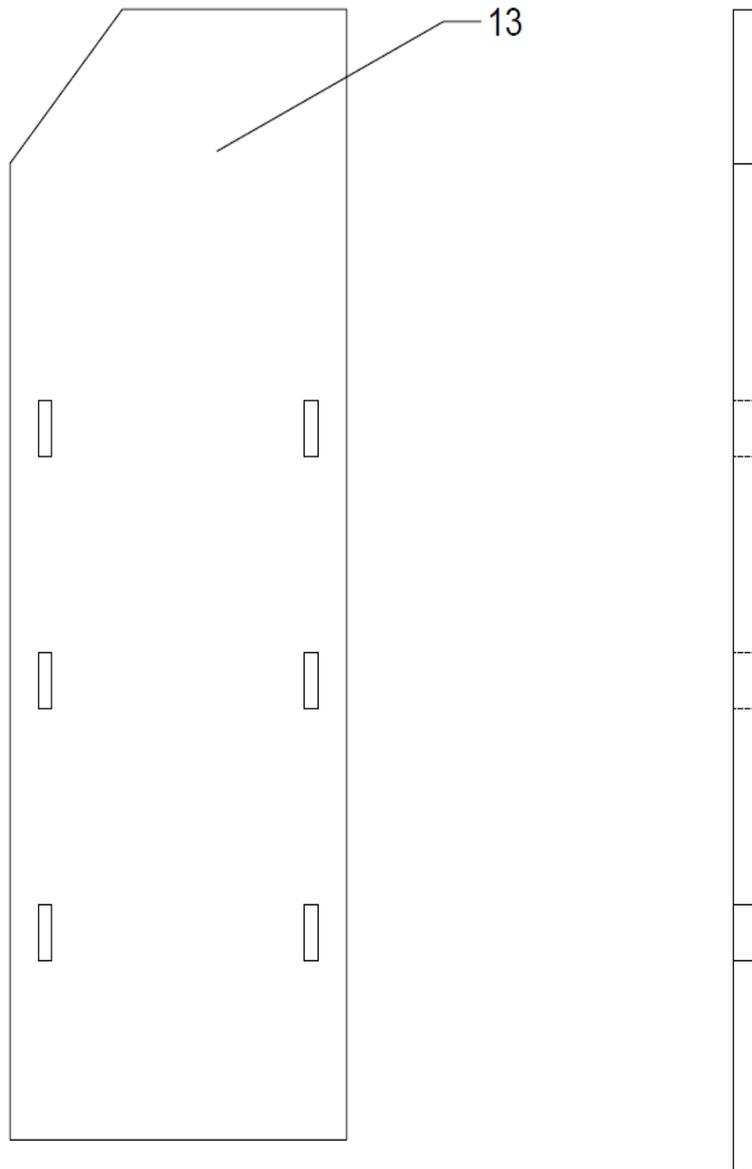
Figura 5c

Figura 6 - Suporte dos eletrodos



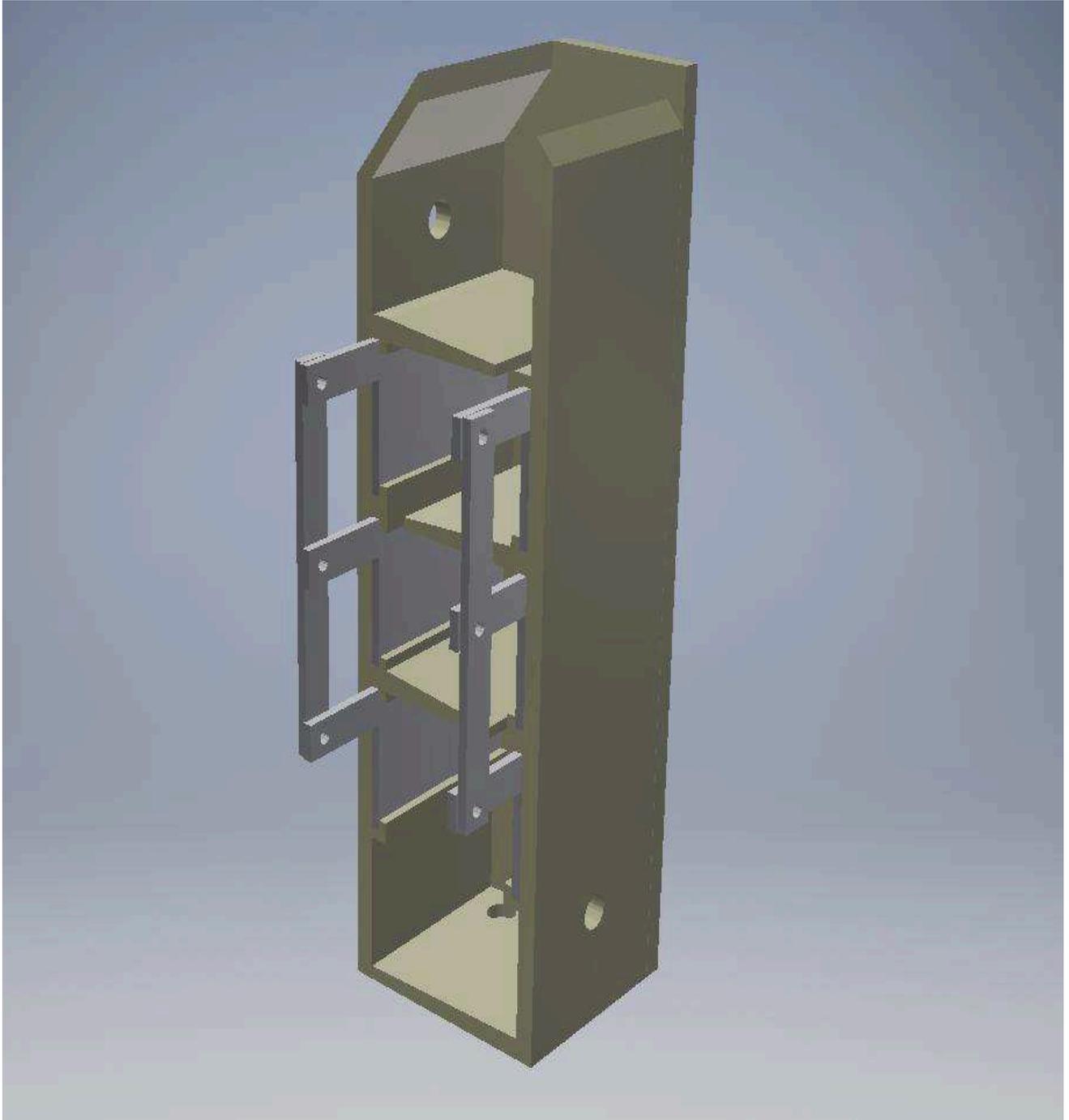
Fonte: Adaptado de Marcelino (2018)

Figura 7 - Tampa frontal da célula eletrolítica



Fonte: Adaptado de Marcelino (2018)

Figura 8 - Dimensão em 3D da célula eletrolítica



Fonte: Adaptado de Marcelino (2018)

5. CONCLUSÃO

Esse trabalho apresentou a evolução de uma célula eletrolítica reduzida para desinfecção de efluentes por método eletrolítico com fluxo contínuo, através de um desenho técnico mecânico. A célula deveria, entretanto, ser construída e submetida a testes e revisões.

Os projetos e pesquisas que foram feitos anteriormente tiveram um papel importante para a realização desse trabalho, servindo como base e referência para que um novo projeto fosse desenvolvido, buscando sempre o melhoramento do conceito da célula eletrolítica.

Trabalhos anteriores foram sucedidos e comprovaram viabilidade do processo eletrolítico na substituição da cloração como forma de tratamento, usando baixas correntes, obtendo valores muito baixos, quando não zerados, de UFC/100mL, dentro na regulamentações vigentes para diversos destinos do efluente.

Assim com o novo protótipo construindo, o projeto buscará não só manter os benefícios comprovados na célula eletrolítica de trabalhos anteriores, mas também trazer avanços na automação para potencializar o processo e também facilidades de manutenção da célula.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Saúde, Governo Federal do Brasil. **PORTARIA MS N. 2914**, de 12 de dezembro de 2011. Procedimentos de Controle e de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade. 32p., 2011-b.

CHEN, G. **Electrochemical Technologies in Wastewater Treatment. Separation and Purification Technology**, v.38, n.1, p.11- 41, 2004.

FONSECA, A. A. **Tratamento de Esgotos por Processo Biológico Aeróbio Eletroquimicamente Assistido**. 2017. 155p. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, DF.

GONÇALVES, R. F.; CORAUCCI FILHO, B.; CHERNICHARO, C. A. L.; LAPOLLI, F. R.; AISSE, M. M.; PIVELI, R. P.; SANT'ANA, T. D. **Desinfecção por radiação ultravioleta**. In: Desinfecção de efluentes sanitários, PROSAB 3, ABES-RJ, RIMA, São Carlos, 2003, p.209-275.

KERWICK, M.; REDDY, S.; HOLT, D.; CHAMBERLAIN, A. **A methodology for the evaluation of disinfection technologies**. Journal Water Health, v.3, n.4, p.393-404, 2005.

MARCELINO, M. A. **Desinfecção mínima de águas residuárias sem o uso de produtos químicos em sistemas de alta vazão**. Projeto de Bolsa de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora, CNPq, 2017.

MARCELINO, M. A. **Célula eletrolítica para desinfecção automática de patógenos de águas residuárias em fluxo contínuo e vazão inconstante**. 2018 Brasil. Pedido de Patente Número: BR1020180682466, INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

MOLLAH M. Y. A., SCHENNACH R, PARGA J. R., e COCKE D. L. (2001) **“Electrocoagulation (EC) – Science and Applications”** Journal of Hazardous Materials 84 (1), p 29-41.

MOTA, Suetônio. **Introdução á Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro, ABES, 1997.

OLIMPIO JR, F. L. – **“Desinfecção de efluentes de esgoto sanitário por eletrólise”**, monografia (trabalho de graduação) – Universidade de Taubaté 2018.

PALACIO, S. S., SANTOS, D. R., Marcelino, M.A. **Desinfecção de efluente de uma miniestação de tratamento de esgoto por radiação ultravioleta..** SODEBRÁS, v. 13, p. 161 – 166, 2018.

RAJKUMAR, D., PALANIVELU, K. **Electrochemical Treatment of Industrial Wastewater. Journal of Hazardous Materials**, v.13. n. 1. P.. 123 – 129. 2004.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo. **RESOLUÇÃO SMA-SERHS N. 1**, de 23 de fevereiro de 2005. Procedimento para o Licenciamento Ambiental Integrado às Outorgas de Recursos Hídricos. 76p., 2005.

SANTOS, D. R.: PALÁCIO, S. S.: BEZERRA, L. N.: GODOY JUNIOR, E.: MARCELINO, M. A. **“Desinfecção de Efluente de Miniestação de Tratamento de Esgoto Utilizando um Processo Eletrolítico.”**, XI Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission. ISBN 978-85061065-02-7, p. 25, São José, 2015.

SINOTI, A. L. L.; SOUZA, M. A. A. de. Processo Eletrolítico no Tratamento de Esgotos Sanitários: Estudo da Sua Aplicabilidade e Mecanismos Associados. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais... 23º CBESA**. Campo Grande. 2004. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-047.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2016.

WIENDL, G. W. **Processos eletrolíticos no tratamento de esgotos sanitários**. Ed. ABES: Rio de Janeiro, 1ª ed., 368p, 1998.

