

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE GOIÁS Uni-ANHANGUERA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE COMPARATIVA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE  
ELETRÓLISE PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA  
REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA**

**GUILHERME VAZ DE LIMA  
PAULO AFONSO SIMÕES ALVES**

**GOIÂNIA  
Maio/2018**

**GUILHERME VAZ DE LIMA  
PAULO AFONSO SIMÕES ALVES**

**ANÁLISE COMPARATIVA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE  
ELETRÓLISE PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA  
REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário de Goiás – Uni-Anhanguera, sob orientação do Professor Esp. Danillo F. Cunha, como requisito parcial para obtenção do título de bacharelado em Engenharia Civil.

GOIÂNIA  
Maio/2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

GUILHERME VAZ DE LIMA  
PAULO AFONSO SIMÕES ALVES

ANÁLISE COMPARATIVA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE ELETRÓLISE  
PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA REGIÃO  
METROPOLITANA DE GOIÂNIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial para obtenção do Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA, defendido e aprovado em 21 de maio de 2018 pela banca examinadora constituída por:



---

Prof. Esp. Danilo Francisco da Cunha

Orientador



---

Prof. Esp. Murilo Faria Cezar

Membro



---

Profa. Ms. Regina de Amorim Romacheli

Membro

## RESUMO

A eletrólise é um processo que utiliza a eletricidade para induzir corrente elétrica entre eletrodos, com o intuito de quebrar moléculas de elementos químicos e biológicos, provocando a dissociação de tal maneira que, ao final desse processo, se obtenha água e lodo. Têm-se os processos eletrolíticos como uma opção para o tratamento de águas residuárias, tais como os esgotos sanitários. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência do tratamento, os custos de implantação, aspectos operacionais e de manutenção de um modelo piloto de utilização da eletrólise no tratamento de efluentes sanitários e do sistema de tratamento utilizado na Estação de Tratamento de Esgoto – ETE de Goianira-GO, a fim de comparar os resultados obtidos de cada sistema. O presente trabalho é uma análise comparativa entres os sistemas de tratamento de efluentes citados acima, e busca relatar as peculiaridades de cada um deles. Avaliou-se a eficiência dessas estações através de resultados laboratoriais fornecidos pela empresa RESISTRAT (que utiliza o sistema eletrolítico), comparando-os com relatórios de análise fornecidos pela empresa de Saneamento de Goiás S/A – SANEAGO (que utiliza o sistema convencional). Com os dados obtidos, foram realizadas análises conforme os padrões exigidos pela Resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Observou-se que ambos os processos de tratamento são eficazes e atendem a legislação vigente. O custo de implantação do tratamento compacto é consideravelmente maior em relação ao sistema convencional. Contudo, a diferença não a torna inviável, devido ao retorno na ocupação de espaço, haja vista que a necessidade de grandes áreas para implantação do tratamento convencional se mostrou elevada. Quando se trata de custo de operação, a diferença entre os dois sistemas é pouca, pois existem muitos itens em comum para os dois sistemas, e ainda assim, o processo eletrolítico apresenta uma economia de 2,73% por mês. Conclui-se que o sistema eletrolítico mostrou uma considerável economia na operação e manutenção da estação de tratamento de esgoto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Saneamento básico. Esgoto. Sistema eletrolítico. Sistema convencional. Parâmetros.

## 1 INTRODUÇÃO

O conceito de qualidade da água é muito mais abrangente do que a simples caracterização de água por uma fórmula molecular. De acordo com Von Sperling (1996a), devido às suas propriedades e capacidade de transportar partículas, incorporam-se a ela diversas impurezas derivadas da interferência dos seres humanos, tais como os esgotos sanitários oriundos de despejos líquidos provenientes dos diversos usos da água, tais como domésticos e/ou industriais. O esgoto doméstico é resultante das atividades cotidianas (como a utilização da água para higiene pessoal e necessidades fisiológicas, contendo fezes, gorduras, e restos de comida) e industriais, variando conforme a atividade exercida.

Para Sinoti (2004), a água propicia a vida no planeta Terra, sendo uma das substâncias mais importantes na vida dos seres humanos, porém, segundo Bertoncini (2008), o crescimento acelerado da população e o crescimento urbano desordenado têm resultado em uma grave crise no abastecimento de água e a falta de tratamento de efluentes tanto domésticos como industriais tem contribuído para este cenário de escassez de água.

Apesar da popularidade de sua importância, os recursos hídricos vêm sendo bastante prejudicados pelo ser humano, pelos despejos dos efluentes das atividades industriais, domésticas e agrícolas. Uma das mais antigas formas de poluição dos córregos e rios, por exemplo, ocorre por meio das descargas e diluição dos esgotos domésticos (SINOTI, 2004). Sendo assim, o tratamento de águas residuárias como os esgotos sanitários possui grande importância para a preservação do meio ambiente, pois efluentes poluídos contaminam rios, lagos, represas e mares, já que possuem excesso de sedimentos e micro-organismos que podem causar doenças. No entanto, a falta de tratamento e de condições adequadas de saneamento básico pode contribuir para a proliferação de inúmeras doenças parasitárias e infecciosas, além de proporcionar a degradação do corpo da água, prejudicando o seu abastecimento.

Von Sperling (1996b) diz que alguns aspectos são muito importantes na escolha do tipo de tratamento da água, entre eles a eficiência do tratamento, a disposição do lodo, a análise da área, impactos ambientais, custos para operação, custos para implantação e sustentabilidade. Porém, a análise deve ser feita individualmente, optando-se pela melhor alternativa técnica e econômica. Entretanto, de acordo com Kato et al (1999 apud SATELES et al, 2003), o sistema combinado mais difundido ainda continua sendo a lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa.

Os processos de tratamento de efluentes sanitários fazem com que haja a separação entre a fase líquida e a fase sólida, eliminando resíduos humanos e industriais, buscando reduzir

ao máximo a carga poluidora. Existem vários processos de tratamento de efluentes que buscam a melhoria da qualidade de vida da sociedade, os quais são classificados como físicos, químicos e biológicos.

Os processos físicos são os que removem os sólidos em suspensão sedimentáveis e os flutuantes através das separações físicas, como o gradeamento, as caixas de areia e as caixas separadoras de óleos e gorduras, sendo a etapa preliminar de todos os sistemas de tratamento e já nos processos químicos são utilizados produtos químicos, tais como agentes coagulantes, polímeros para facilitar a floculação, neutralizadores de potencial hidrogeniônico – pH, e produtos para desinfecção em diferentes etapas dos sistemas de tratamento. Os poluentes são removidos através de reações químicas e condicionam, ainda, a mistura de efluentes para serem tratados em outros processos posteriormente. Os principais processos químicos são as clarificações químicas, eletrocoagulação, adição de cloros para desinfecção e oxidação por ozônio.

O tratamento biológico de efluentes tem por objetivo a degradação da matéria orgânica através de agentes biológicos como bactérias, algas, protozoários e rotíferos. O tratamento mais utilizado são as lagoas de estabilização, compondo o sistema de lagoas anaeróbias, seguidas de lagoas facultativas, formando o denominado sistema australiano (VON SPERLING, 1996a), com o fim de digerir a matéria orgânica presente no efluente, para amenizar os impactos ambientais.

Embora o processo de tratamento de efluente sanitário mais convencional seja construído pelos processos biológicos através das lagoas anaeróbias e lagoas facultativas (cujo o objetivo é uma maior remoção de matéria orgânica e nutrientes), em razão de várias questões que envolvem sua construção e operação, bem como os problemas ambientais, socioeconômicos e energéticos, tem-se aumentado o interesse pelo desenvolvimento de pequenos projetos como alternativas para o tratamento de efluentes sanitários.

Dentre as novas alternativas está o processo eletrolítico. O processo eletrolítico para tratamento de efluentes vem sendo estudado e implantado por diversas empresas. Atualmente, está sendo discutida a utilização de eletrólise no tratamento de águas residuárias, principalmente de indústrias onde a presença de elementos químicos inviabiliza o uso de tratamento biológico.

Para Sinoti (2004), o processo eletrolítico no tratamento de águas residuárias pode ser utilizado para os mais diversos tipos de efluentes, e com o passar dos anos, tem mostrado diversas variantes graças ao avanço tecnológico, tais como mais potência nos equipamentos de

automação e novos eletrodos para tratar os mais variados tipos de resíduos decorrentes da evolução industrial e das condições ambientais.

A teoria eletroquímica fundamenta-se no conjunto de reações que são geradas com a passagem de corrente elétrica por dois terminais (um ânodo e um cátodo), induzida por uma fonte externa de potência elétrica. Assim forma-se o processo eletrolítico, possibilitando o fluxo de elétrons que ocasionam diferentes mecanismos de remoção de contaminantes (ATKINS, 1990 apud ORSI, 2014).

Segundo Otenio et al (2008), no processo eletrolítico, elétrons são descarregados diretamente ao efluente a ser tratado, eliminando a adição de agentes oxidantes, com potenciais tóxicos. É bastante ampla a importância da utilização deste processo, pois reduz a toxicidade dos efluentes através da não utilização de substâncias persistentes com o uso de substâncias facilmente biodegradáveis. Contudo, o tratamento eletrolítico permite o aumento da eficiência do tratamento biológico convencional. Pode-se afirmar que o tempo de detenção hidráulico do tratamento é bastante inferior quando em comparação com outros métodos convencionais de tratamento (SINOTI, 2004).

O fenômeno da passagem de corrente elétrica através de um meio aquoso que acontece no processo eletrolítico provoca uma quebra, ou seja, uma dissociação das moléculas, fazendo a sua separação, criando dois componentes distintos: água e resíduo. A ação do processo eletrolítico na dissociação das moléculas faz com que os resíduos coagulem e floculem, o que desencadeia fenômenos como a eletrocoagulação e eletroflotação, que se manifestam no interior do sistema (WIMMER, 2007).

O processo convencional através de lagoas de estabilização está mais difundido no mercado, porém o processo eletrolítico se apresenta como alternativa de tratamento. Este estudo buscou apresentar um comparativo entre os dois sistemas, avaliando a eficiência de tratamento e os fatores econômicos, como custo de implantação e operação, bem como a demanda de área necessária para implementação de cada sistema, demonstrando de forma clara e objetiva as vantagens e desvantagens de cada sistema.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

A comparação entre os sistemas convencional e eletrolítico foi feita utilizando modelo de Estação de Tratamento de Esgoto – ETE já em uso no estado de Goiás:

a) ETE Terezópolis de Goiás (sistema compacto) – constituída por uma unidade de gradeamento, um desarenador, um reator anaeróbio de fluxo ascendente (reator UASB), um floculador, um flotador, uma unidade de desinfecção com raios ultravioleta (UV) e um leito de secagem. Para o estudo comparativo, no entanto, foi adotado um modelo piloto do sistema eletrolítico utilizado para homologação do sistema junto à SANEAGO – composto por uma caixa primária e uma célula eletrolítica, seguidos de um decantador externo instalado na ETE Terezópolis, após o tratamento preliminar, conforme Figuras 1, 2 e 3.

Características técnicas (sistema compacto):

- Vazão Média Operacional 2017 (sistema compacto): 3 L/s
- População Atendida 2017: aproximadamente 7.634 habitantes

Características técnicas (sistema eletrolítico):

- Vazão Média Operacional: 0,56 L/s



Figura 1. Vista geral do modelo piloto do módulo de tratamento de esgoto por eletrólise utilizado na ETE Terezópolis.

Fonte: Próprios Autores, 2018



Figura 2. Detalhe da caixa primária do modelo piloto do módulo de tratamento por eletrólise. No lado esquerdo, a comporta de regularização de vazão de esgoto para a caixa eletrolítica. No centro da caixa primária, o extravasor da vazão excedente.  
Fonte: Próprios Autores, 2018



Figura 3. Detalhe da comporta de regularização de vazão de arraste do lodo flotado por eletrólise. Do lado direito, o lodo flotado.  
Fonte: Próprios Autores, 2018

b) ETE Goianira (sistema convencional) – composta por três lagoas de estabilização, sendo lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa de maturação.

Características técnicas:

- Vazão de Projeto (Capacidade): 26,62 L/s = 95,83 m<sup>3</sup>/h
- Vazão Média Operacional 2017: 12,89 L/s
- População Atendida 2017: aproximadamente 41.169 habitantes

O material utilizado para análise referente ao sistema convencional, bem como orçamento de implantação e custo operacional da ETE Goianira e os relatórios de análise da estação, no período de um ano, foi fornecido pela SANEAGO. Para análise referente ao sistema eletrolítico, foi utilizado material fornecido pela RESITRAT, com orçamento e custo operacional e os relatórios de análise do modelo piloto utilizado para homologação do sistema junto à SANEAGO.

## 2.2 Métodos

O presente estudo apresenta os tipos de tratamento estudados, relatando as peculiaridades de cada um deles. Para a avaliação da eficiência dessas estações, foram levantados os dados dos resultados laboratoriais fornecidos pela RESITRAT afim de determinar a eficiência do sistema eletrolítico, e do Relatório de Análise fornecido pela SANEAGO para determinar a eficiência do sistema convencional estudado, analisando os resultados após o tratamento. Com os dados obtidos, foram realizadas análises conforme recomendado pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (métodos padronizados para análise de água), comparando-se com os padrões exigidos pela Resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, conforme a seção III – Das Condições e Padrões para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes sanitários em corpos de água receptores. Foram analisados pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, Demanda Química de Oxigênio – DQO e Turbidez.

Para a avaliação dos custos de implantação das estações em estudo, foram levantados os custos do orçamento fornecido pela SANEAGO e as tabelas de preços da RESITRAT para se obter o custo de implantação dos módulos eletrolíticos para o tratamento da mesma vazão de projeto da ETE Goianira. Para avaliação dos custos de operação, foi fornecido pela SANEAGO o custo operacional mensal da ETE Goianira com quadro de funcionários ativos, gastos com água/esgoto e energia, e custos de manutenção de área e limpeza. O custo de operação dos

módulos eletrolíticos foi fornecido pela RESITRAT de acordo com a vazão de projeto da ETE Goianira.

Os dados levantados foram planilhados, estruturando a análise comparativa em dados econômicos e técnicos dos objetos estudados.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Eficiência

Os resultados das análises laboratoriais dos atributos estudados, tanto pelo sistema de tratamento convencional quanto pelo sistema de tratamento eletrolítico, assim como as eficiências médias de tratamento, são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Atributos do esgoto sanitário e eficiências médias de tratamento do sistema convencional da ETE Goianira.

ATRIBUTOS DO ESGOTO	VALOR MÉDIO AFLUENTE	VALOR MÉDIO EFLUENTE	EFICIÊNCIA (%)
DBO (mg/L O <sub>2</sub> )	765,0	78,0	89,80
DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	1586,0	225,0	85,81
pH	6,92	8,45	
TURBIDEZ (UNT)	*	*	*

\* - Análises não realizadas conforme plano de monitoramento laboratorial.

Tabela 2. Atributos do esgoto sanitário e eficiências médias de tratamento do sistema eletrolítico do modelo piloto na ETE Terezópolis.

ATRIBUTOS DO ESGOTO	VALOR MÉDIO AFLUENTE	VALOR MÉDIO EFLUENTE	EFICIÊNCIA (%)
DBO (mg/L O <sub>2</sub> )	605,0	31,0	94,88
DQO (mg/L O <sub>2</sub> )	1538,0	79,0	94,86
pH	7,62	9,17	
TURBIDEZ (UNT)	563,0	8,98	98,40

Abaixo são apresentados gráficos para análise e comparação entre o desempenho na ETE Goianira e no modelo piloto do sistema eletrolítico instalado na ETE Terezópolis em relação à remoção de DBO, DQO e pH. A Figura 4, apresenta os níveis de DBO contidos afluente e efluente e a eficiência, comparando cada sistema.

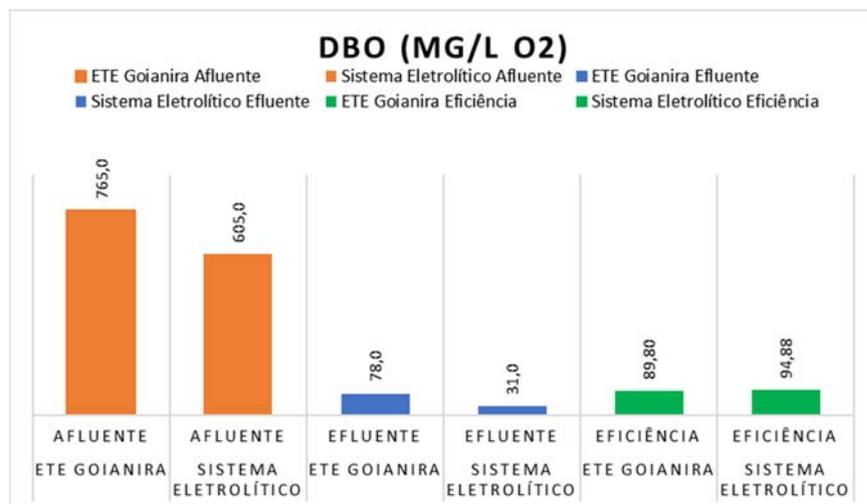


Figura 4. Nível de DBO e Eficiência.

Fonte: Próprios Autores, 2018

Ambos os processos de tratamento mostraram eficiência satisfatória atendendo as exigências de lançamento, porém o sistema eletrolítico se mostrou mais eficiente na redução da DBO.

Abaixo apresentado a comparação entre os níveis de DQO e eficiência de cada sistema, conforme a Figura 5.

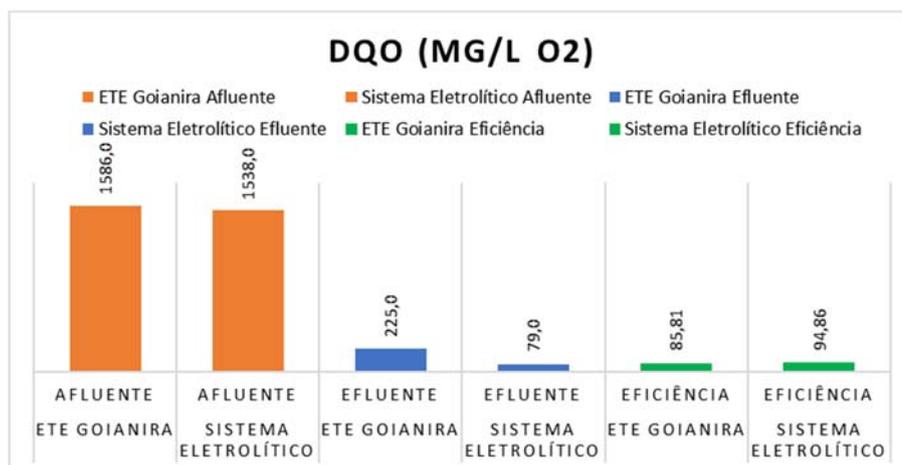


Figura 5. Nível de DQO e Eficiência.

Fonte: Próprios Autores, 2018

O tratamento eletrolítico se mostra mais eficiente na redução da DQO em relação aos resultados da ETE Goianira, mas ambos atendem a legislação vigente para lançamento nos corpos receptores e legislação estadual que rege sobre as condições e prevenção da poluição do meio ambiente no Estado de Goiás.

NA Figura 6, apresenta resultados obtidos relacionados ao nível do pH afluente e efluente de cada estação de tratamento:

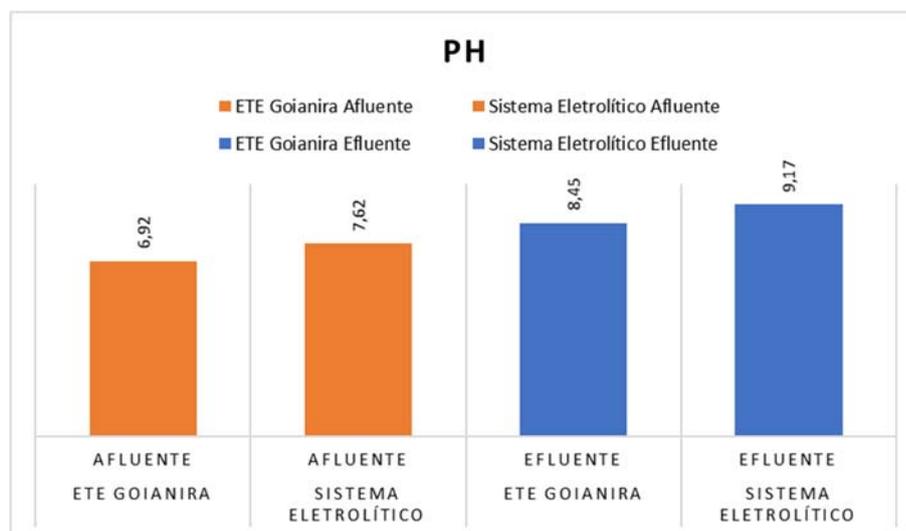


Figura 6. Nível de pH afluente e efluente de cada sistema.  
Fonte: Próprios Autores, 2018

O sistema eletrolítico mostrou um aumento nos níveis do pH e não estão de acordo com a legislação para lançamento e descarte, porém a ETE Goianira atende os padrões da legislação vigente.

Os resultados das análises laboratoriais realizadas no efluente durante a avaliação do sistema eletrolítico se mostraram satisfatórios e em conformidade com a legislação ambiental brasileira. Assim, o sistema pode ser recomendado para aumentar a eficiência de tratamento de esgoto bruto, em conjunto ou dispensando outras unidades de tratamento, implicando em considerável economia na implantação, operação e manutenção da ETE. Durante muito tempo, este processo de tratamento era utilizado para melhoria de efluentes, em conjunto com outros processos. Com o passar dos anos, esse processo passou a ser reavaliado para uso como processo único de tratamento de efluentes líquidos e tem se mostrado vantajoso quanto à facilidade de operação. Considera-se uma ótima alternativa em relação aos métodos tradicionais, pois permite a produção de compostos desinfetantes, evitando agregar custos ao processo (OTENIO et al, 2010 apud ORSI, 2014).

O sistema eletrolítico mostrou-se mais eficiente, principalmente na remoção de DBO e DQO. Ao mesmo tempo, conseguiu atender à legislação relativa ao Decreto nº 1.745/79, que regulamenta a Lei nº 8544/78, a qual dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente no estado de Goiás (GOIÁS, 1979), e à Resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional

do Meio Ambiente - CONAMA, conforme a seção III – Das Condições e Padrões para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes sanitários em corpos de água receptores, exceto para o pH.

Nas amostras analisadas, a DBO efluente apresentou valores inferiores a 60 mg/L e/ou houve redução acima de 80% em sua concentração, conforme determina a lei. Entretanto, o pH esteve dentro dos padrões de lançamento apenas para o efluente da ETE Goianira, enquanto no modelo piloto houve um aumento de 1,88% acima do permitido pela legislação.

Em experimentos anteriores, Giordano e Barbosa Filho (2000) e Sinoti (2004), também observaram elevação dos valores de pH. O Conama (2011) estabelece que o pH do efluente deve estar entre 5,0 a 9,0, porém o pH médio no efluente estudado no modelo piloto na ETE Terezópolis utilizando o sistema eletrolítico foi de 9,17. Assim, para adequá-lo aos padrões de lançamentos vigentes, será necessário corrigir o pH efluente.

### 3.2. Fatores econômicos

#### 3.2.1 Custo de Implantação

A Tabela 3 abaixo apresenta o custo de implantação da ETE Goianira, suportando uma vazão de projeto de 26,62 L/s:

Tabela 3. Custo de implantação da ETE Goianira.

Vazão (l/s)	26,62
Construção Civil	R\$1.209.820,11
Material Hidráulico	R\$40.547,36
Equipamentos	R\$9.945,70
Energização/Instalações Elétricas	R\$12.705,93
<b>TOTAL</b>	<b>R\$1.273.019,10</b>

Na Tabela 4, está apresentado o custo de implantação do sistema eletrolítico também para uma vazão de 26,62 L/s:

Tabela 4. Custo de implantação do sistema eletrolítico.

Vazão (l/s)	26,62
Módulo Eletrolítico	R\$ 2.100.000,00
Construção Civil/Material Hidráulico	R\$ 23.657,00
Equipamentos	R\$ 14.411,35
Energização/Instalações Elétricas	R\$ 12.705,93
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 2.150.774,28</b>

O custo referente à implantação das lagoas da ETE Goianira, em relação ao custo unitário do metro quadrado da região e para implantação do sistema eletrolítico, está apresentado nas Tabelas 5 e 6, e a vista aérea da ETE Goianira com área utilizada para implantação das lagoas de estabilização está apresentado conforme a Figura 7:

Tabela 5. Custo de área para implantação das lagoas da ETE Goianira.

Área Lagoas (m <sup>2</sup> )		Preço (R\$/m <sup>2</sup> )	
Lagoa Anaeróbia	4142,25	R\$ 236,00	R\$ 977.571,00
Lagoa Facultativa	25707	R\$ 236,00	R\$ 6.066.852,00
Lagoa de Maturação	19497,9	R\$ 236,00	R\$ 4.601.504,40
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 11.645.927,40</b>



Figura 7. Imagem aérea da ETE Goianira  
Fonte: Google Earth, 2018.

Tabela 6. Custo de área para implantação do sistema Eletrolítico.

Área Sistema Eletrolítico (m <sup>2</sup> )		Preço (R\$/m <sup>2</sup> )	
Instalação de 10 Módulos Eletrolíticos (Dim. 3,233 m x 1,748 m)	190	R\$ 236,00	R\$ 44.840,00
		<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 44.840,00</b>

O custo de implantação do sistema de tratamento eletrolítico, considerando o mesmo volume de tratamento da ETE Goianira, ultrapassou o custo de implantação da ETE convencional em mais de 67%, mas já era esperado que o sistema eletrolítico tivesse maior custo de implantação devido ao alto custo dos módulos eletrolíticos e o baixo número de fornecedores, o que acarreta no aumento excessivo no valor dos módulos. Entretanto, levando em consideração o custo da área utilizada para implantação das lagoas no sistema convencional e o custo da área necessária para implantação do sistema eletrolítico, houve uma diferença de aproximadamente R\$ 11.600.000,00, valor que seria mais do que o suficiente para aquisição da área necessária e implantação do sistema eletrolítico.

### 3.2.2 Custos de Operação

O custo operacional mensal da ETE Goianira e o custo operacional da estação proposta com o uso dos módulos eletrolíticos são apresentados nas Tabelas 7 e 8:

Tabela 7. Custo operacional mensal ETE Goianira.

Item	Descrição	Und.	Qtde.	Preço Unit.	Preço Total
1	Operador de Sistema	und	1	R\$ 3.950,45	R\$ 3.950,45
2	Agente de Sistema	und	1	R\$ 3.579,75	R\$ 3.579,75
3	Manutenção	mês	1	R\$ 1.100,00	R\$ 1.100,00
4	Água/Esgoto	mês	1	R\$ 35,00	R\$ 35,00
5	Energia	mês	1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
				<b>Total</b>	<b>R\$ 8.715,20</b>

Tabela 8. Custo operacional mensal do sistema eletrolítico.

Item	Descrição	Und.	Qtde.	Preço Unit.	Preço Total
1	Operador de Sistema	und	1	R\$ 3.950,45	R\$ 3.950,45
2	Reposição de Eletrodos	und	10	R\$ 75,00	R\$ 750,00
3	Manutenção	mês	1	R\$ 1.100,00	R\$ 1.100,00
4	Água/Esgoto	mês	1	R\$ 35,00	R\$ 35,00
5	Energia	mês	1	R\$ 2.647,94	R\$ 2.647,94
<b>Total</b>					<b>R\$ 8.483,39</b>

A Figura 8 apresenta o gráfico para análise e comparação dos custos da ETE Goianira e a proposta de implementação do sistema eletrolítico em relação ao custo de implantação, operação e demanda de área com alcance de projeto estimado em 20 anos:

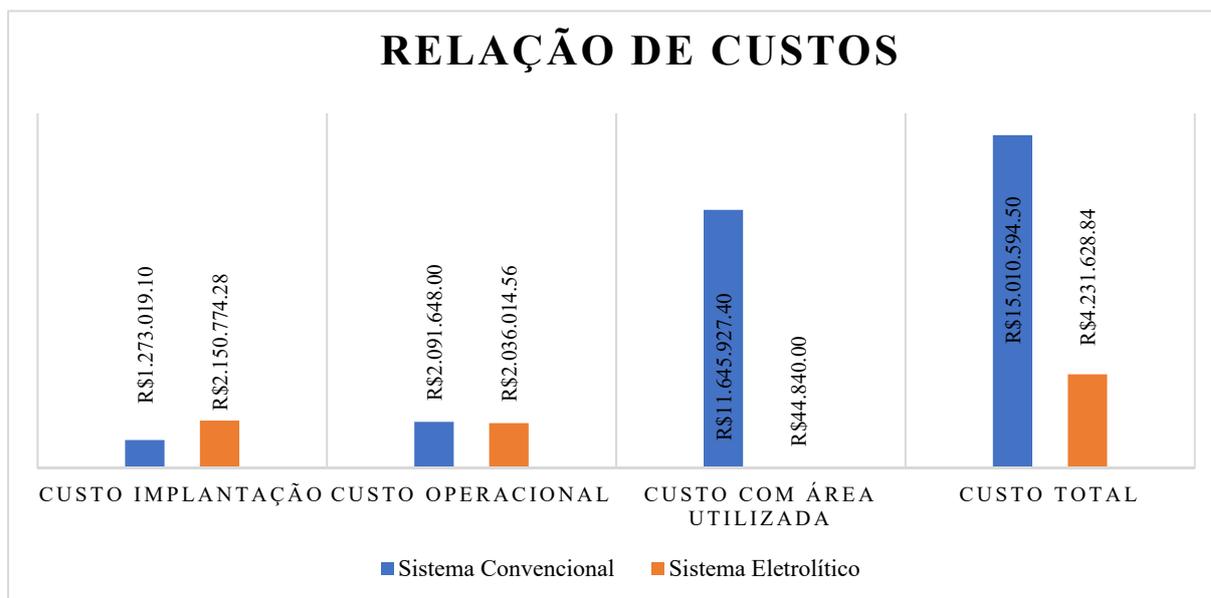


Figura 8. Relação de custos entre o sistema convencional e o sistema eletrolítico.

Fonte: Próprios Autores.

Analisando o custo mensal para se operar o sistema de tratamento eletrolítico e comparando-o com o custo operacional mensal da ETE Goianira, notou-se que alguns itens se repetem nos dois sistemas de tratamento, tendo o mesmo custo para ambos, exceto o item “Energia”, o qual chama a atenção, pois há uma diferença de valor considerável. Já era esperado que o tratamento eletrolítico tivesse um gasto maior com energia, pois o processo utiliza eletricidade para induzir artificialmente e forçadamente uma corrente elétrica entre eletrodos.

De qualquer forma, mesmo com alto consumo de energia, o sistema eletrolítico é mais econômico, tendo uma diferença de R\$ 231,81 mensal, o que representa uma economia de aproximadamente 2,73% ao mês em relação ao sistema convencional.

Conforme analisado na Figura 8, considerando o custo com aquisição da área necessária para implantação do sistema convencional, o custo total mostra que o sistema eletrolítico é consideravelmente mais econômico do que o sistema da ETE Goianira, necessitando de uma área de aproximadamente 150 vezes menor do que o necessário para a implantação daquela.

## 4 CONCLUSÕES

Ao longo desses estudos, o processo eletrolítico mostrou muitas vantagens no seu manuseio e custos para operar, pois mesmo com alto consumo de energia, ela não se torna inviável em razão da economia com mão-de-obra. A utilização de reatores compactos, que podem ser usados em pequenas áreas e que tratam grandes quantidades de diferentes tipos de efluentes, é um ponto positivo do processo. O acompanhamento e o controle do sistema de tratamento fazem com que haja a redução dos custos e a eficiência aumente.

Quanto à comparação da eficiência no tratamento, as duas mostraram resultados satisfatórios, obtendo eficiências de tratamento de acordo com a legislação vigente. O tratamento com o processo eletrolítico apresentou maior eficiência do que a ETE Goianira na redução de DBO e DQO, porém o pH não está adequado para o lançamento conforme é recomendado.

O sistema convencional de tratamento de efluentes também se mostra eficaz, destacando-se a facilidade de tratamento, não sendo necessário o acompanhamento e monitoramento e tem ainda baixo custo de manutenção. Por outro lado, quando se analisa o custo de total, percebe-se um valor muito elevado, pois há a necessidade aquisição de grandes áreas para implantação das lagoas.

Observa-se uma vantagem do sistema compacto em relação ao sistema convencional quanto à utilização da área para ser implantando e o custo para se operar, ou seja, valores significativos que influenciam no custo total.

Na comparação entre os sistemas, há uma enorme diferença de preços de implantação. O tratamento eletrolítico se mostrou mais caro quanto ao custo de implantação, devido ao alto custo dos equipamentos, pois ainda é novidade no mercado e são poucos os que fornecem os serviços e equipamentos, mas a diferença não a torna inviável devido ao retorno na ocupação de espaço, que é substancialmente favorável comparado com o sistema convencional de lagoas de estabilização da ETE Goianira, apresentando-se como uma alternativa para o tratamento de efluentes sanitários. Por outro lado, esse sistema necessita de mão de obra especializada, manutenção e monitoramento, o que faz acontecer um reajuste na gestão pública de efluentes sanitários.

Apesar do alto custo, as estações com sistema eletrolítico ainda são uma solução para o problema de espaço nas cidades com crescimento acelerado e demanda de espaço. As ETE's convencionais estão ficando inviáveis para tais cidades e a tendência é que sejam adotadas

estações de mais fácil adaptação e menores áreas necessárias para implantação, o que torna os sistemas compactos uma visão no futuro na logística de tratamento de esgotos sanitários.

O modelo proposto também apresenta limitações, tendo em vista que o teste foi analisado por um sistema de pequena capacidade, prototipado, podendo gerar incertezas nos resultados em grandes escalas de tratamento. Para estudos futuros, sugere-se que sejam realizados outros testes piloto de grande porte com eletrólise para vazões reais de tratamento de municípios.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário Procedimento. Rio de Janeiro, 1986.

BERTONCINI, E.I. Tratamento de Efluentes e Reuso da Água no Meio Agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 152-169, jun. 2008.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho CONAMA. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 13 de maio de 2011. Acessado em: 21 de março de 2018.

GIORDANO G. **O Processo Eletrolítico Aplicado ao Saneamento Ambiental de Balneários**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2000

KATO M. T.; FLORENCIO, L. Pós-Tratamento de Efluente Anaeróbio em Lagoa de Polimento. **Coletânea de Trabalhos Técnicos – Volume 2**. Recife, 1999.

ORSI, M.C.V.L. **Aplicação do Processo Eletrolítico no Tratamento de Efluentes de Uma Indústria de Recuperação de Filmes Plásticos Pós-Consumo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru. 2014. 145 p.

OTENIO, M. H. et al. Avaliação Em Escala Laboratorial da Utilização do Processo Eletrolítico no Tratamento de Águas. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 508-513, 2008

SATELES, W.P.; MEDRADO, F.E.P.S; PASQUALETTO, A. **Eficiência das Lagoas de Estabilização da Estação de Tratamento de Esgoto do Parque Atheneu**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade Católica de Goiás – UCG, Goiânia, GO, 2003. 16p.

SINOTI, A. L. L. **Processo Eletrolítico no Tratamento de Esgotos Sanitários**: Estudo das suas Aplicabilidade e Mecanismos Associados. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Publicação PTARH.DM - 12 / 04, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004, 143 p.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**: Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 1996a. vol. 1, 243 p.

\_\_\_\_\_. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**: Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos. 5ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 1996b. vol. 2. 211 p.

WIMMER, A.C.S. **Aplicação do Processo Eletrolítico no Tratamento de Efluentes de Uma Indústria Petroquímica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) –

Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. 195p.

## **ANEXOS**



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

## RESULTADO DE ANÁLISE DE ESGOTO

Material: EFLUENTE LÍQUIDO	Nº Protoc.: 2772 e 2773
Local: ETE GOIANIRA	Chuvras: NÃO
Município: GOIANIRA	Temperatura Ambiente: -
Responsável pela coleta: BRUNO ROBERTO PEREIRA DE JESUS	Interessado:
Data de Entrada Laboratório: 11/08/2016	Hora de Entrada no Lab.: 09:08

## ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

DADOS DA AMOSTRA	RESULTADOS						UNIDADE	V.M.P.* no efluente final
	AFLUENTE	EFLUENTE FINAL	-	-	-	-		
Data da Coleta	10/08/2016	10/08/2016	-	-	-	-	-	-
Hora da Coleta	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura da Amostra	-	-	-	-	-	-	°C	40,0
DBO	765,0	78,0	-	-	-	-	mg/L O <sub>2</sub>	60,0
DQO	1586,0	225,0	-	-	-	-	mg/L O <sub>2</sub>	NR
PH	6,92	8,45	-	-	-	-	-	5,0 a 9,0
SÓLIDOS SUSPENSOS	637,0	147,0	-	-	-	-	mg/L	NR

Notas:1) Os métodos determinados para os parâmetros de referência seguem as recomendações do "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" da APHA/AWWA e os resultados devem ser interpretados como representando parte da composição da amostra no momento da análise.  
2) \* Legislação Estadual – Lei nº 8.544 de 17/10/78 (SEMAGO/84) e os demais Resolução CONAMA 357/2005 art. 34 que estabelece os padrões de lançamento de efluentes de qualquer natureza em águas interiores, superficiais ou subterrâneas.

Data	Responsável pela Análise		Responsável Técnico
	Físico-Química	Bacteriológica	Supervisão
12/09/2016	 Quím. Eduardo César Ferreira CRQ.12100415 Laboratório de Esgoto/P-SLE-SUTOM		 Biol. MSc Rafaela W. de Pina Sup. do Lab. Esgoto/P-SLE-SUTOM CRBio 37285/04-D

0245F(06) = FR04.0245.06

24/02/10



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

## RESULTADO DE ANÁLISE DE ESGOTO

Material: EFLUENTE LÍQUIDO	Nº Protoc.: 2852 e 2853
Local: ETE TEREZÓPOLIS	Chuvas: NÃO
Município: TEREZOPOLIS DE GOIAS	Temperatura Ambiente: 20,0 a 22,0
Responsável pela coleta: CICERO APARECIDO DOS SANTOS SILVA	Interessado:
Data de Entrada Laboratório: 17/08/2016	Hora de Entrada no Lab.: 16:28

## ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

DADOS DA AMOSTRA	RESULTADOS						UNIDADE	V.M.P.* no efluente final
	AQUA AFLUENTE	AQUA EFLUENTE	-	-	-	-		
Data da Coleta	16/08/2016	16/08/2016	-	-	-	-	-	-
Hora da Coleta	09:18	09:16	-	-	-	-	-	-
Temperatura da Amostra	25,0	20,0	-	-	-	-	°C	40,0
DBO	605,0	31,0	-	-	-	-	mg/L O <sub>2</sub>	60,0
DQO	1538,0	79,0	-	-	-	-	mg/L O <sub>2</sub>	NR
PH	7,62	9,17	-	-	-	-	-	5,0 a 9,0
SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS	3,2	0,2	-	-	-	-	mL/L/h	1,0
SÓLIDOS SUSPENSOS	606,0	17,0	-	-	-	-	mg/L	NR
SÓLIDOS TOTAIS	1349,0	227,0	-	-	-	-	mg/L	NR
SÓLIDOS TOTAIS FIXOS	750,0	140,0	-	-	-	-	mg/L	NR
SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	599,0	87,0	-	-	-	-	mg/L	NR
TURBIDEZ	563,0	8,98	-	-	-	-	UNT	NR

## ANÁLISES BACTERIOLÓGICAS

PARÂMETROS	RESULTADOS						UNIDADE	V.M.P.
	AQUA AFLUENTE	AQUA EFLUENTE	-	-	-	-		
ÍNDICE DE COLIFORME TOTAL	2,4x10 <sup>8</sup>	3x10 <sup>5</sup>	-	-	-	-	NMP	NR
ÍNDICE DE ESCHERICHIA COLI	3,4x10 <sup>7</sup>	3,9x10 <sup>4</sup>	-	-	-	-	NMP	NR

Legenda: DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio DQO - Demanda Química de Oxigênio N.M.P. - Número Mais Provável V.M.P. - Valor Máximo  
Permitido N.R. - Não Regulamentado

Notas: 1) Os métodos determinados para os parâmetros de referência seguem as recomendações do "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" da APHA/AWWA e os resultados devem ser interpretados como representando parte da composição da amostra no momento da análise.  
2) \* Legislação Estadual - Lei nº 8.544 de 17/10/78 (SEMAGO/84) e os demais Resolução CONAMA 357/2005 art. 34 que estabelece os padrões de lançamento de efluentes de qualquer natureza em águas interiores, superficiais ou subterrâneas.

Data	Responsável pela Análise		Responsável Técnico
	Físico-Química	Bacteriológica	Supervisão
31/08/2016	 Quím. Eduardo César Ferreira CRQ 12100415 Laboratório de Esgoto/P-SLE-SUTOM	 Biol. Elaine Lima Trigueiro CRBio 57403/04-D Laboratório de Esgoto/P-SLE-SUTOM	 Biol. MSc. Rafaela W. de Pina Sup. do Lab. Esgoto/P-SLE-SUTOM CRBio 37285/04-D

0245F(06) = FR04.0245.06

24/02/10



SANEAMENTO DE GOIÁS S/A

CERTIFICADO DE HABILITAÇÃO  
DE FORNECEDOR / MARCAS  
CHF/M

FABRICANTE	<b>AQUA ETE TECNOLOGIA EM EFLUENTES LTDA EPP.</b>			
REPRESENTANTE				
ENDEREÇO	Avenida Euripedes de Menezes, S/N, qd.06, Lt 33/35, Parque Ind.Vice Pres..José Alencar, Aparecida de Goiânia- GO.			
CODIGO DE CADASTRO:	DATA DE EMISSÃO:	VALIDADE:	NÚMERO/ANO:	FOLHA
300.695-6	23/01/17	23/01/18	019/2017	1 de 1

Conforme solicitado pelo processo nº 2978/2017 certificamos que a firma acima citada está qualificada para fornecer à SANEAGO, os seguintes Materiais/Equipamentos, abaixo relacionados:

FAMÍLIA	MATERIAIS / EQUIPAMENTOS	MARCAS	CÓDIGOS
2013	Estação Compacta de tratamento de efluentes via eletrólise	AQUA ETE	4138
2911			

OBS.: ESTE CERTIFICADO PODERÁ SER SUSPENSO A QUALQUER MOMENTO, SE O FORNECEDOR NÃO APRESENTAR JUSTIFICATIVAS PLAUSÍVEIS PARA:

- 01 – Não cumprimento do prazo de entrega do material/equipamento estabelecido na O.F.
- 02 – Entrega de material/equipamento com marca diferente da marca estabelecida na O.F.
- 03 – Entrega de material/equipamento com especificação diferente da estabelecida na O.F.
- 04 – Solicitações sucessivas de cancelamento de O.F's.
- 05 – Má performance/desempenho do material e ou equipamento.

VISTO:

SILVIO TEIXEIRA DE LIMA  
SUPERVISOR DE QUALIDADE

KLÊNIO JUNIOR SIQUEIRA  
GERENTE DE GESTÃO E CONTROLE DE ARMAZENAGEM

## DECLARAÇÃO E AUTORIZAÇÃO

Eu, Guilherme Vaz de Lima, portador (a) da Carteira de Identidade nº 4824827, emitida pelo SSP-GO, inscrito (a) no CPF sob nº 0165.636.761-81, residente e domiciliado(a) na Rua Maceió QD 133 LT 1-18, setor Parque Amazônia, na cidade de Goiânia, estado de Goiás, telefone celular (62) 98636-9008 e-mail: glima010@hotmail.com, declaro, para os devidos fins e sob pena da lei, que o Trabalho de Conclusão de Curso: Análise Comparativa Para Implementação De Eletrólise Para Tratamento De Águas Residuárias Na Região Metropolitana De Goiânia, é uma produção de minha exclusiva autoria e que assumo, portanto, total responsabilidade por seu conteúdo.

Declaro que tenho conhecimento da legislação de Direito Autoral, bem como da obrigatoriedade da autenticidade desta produção científica. Autorizo sua divulgação e publicação, sujeitando-me ao ônus advindo de inverdades ou plágio e uso inadequado de trabalhos de outros autores. Nestes termos, declaro-me ciente que responderei administrativa, civil e penalmente nos termos da Lei 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, que altera e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

Pelo presente instrumento autorizo o Centro Universitário de Goiás, Uni-ANHANGUERA a disponibilizar o texto integral deste trabalho tanto na biblioteca, quanto em publicações impressas, eletrônicas/digitais e pela internet. Declaro ainda, que a presente produção é de minha autoria, responsabilizo-me, portanto, pela originalidade e pela revisão do texto, concedendo ao Uni-ANHANGUERA plenos direitos para escolha do editor, meios de publicação, meios de reprodução, meios de divulgação, tiragem, formato, enfim, tudo o que for necessário para que a publicação seja efetivada.

Goiânia 21 de maio de 2018



Guilherme Vaz de Lima

## DECLARAÇÃO E AUTORIZAÇÃO

Eu, Paulo Afonso Simões Alves, portador (a) da Carteira de Identidade nº 5670155, emitida pelo SSP-GO, inscrito (a) no CPF sob nº 044.384.191-82, residente e domiciliado(a) na Rua MDV 11 Quadra: 27, Lote: 02, setor Moinho dos Ventos, na cidade de Goiânia, estado de Goiás, telefone fixo (62) 3999-0571 e telefone celular (62) 98170-8543 e-mail: psimoesalves@gmail.com, declaro, para os devidos fins e sob pena da lei, que o Trabalho de Conclusão de Curso: Análise Comparativa Para Implementação De Eletrólise Para Tratamento De Águas Residuárias Na Região Metropolitana De Goiânia, é uma produção de minha exclusiva autoria e que assumo, portanto, total responsabilidade por seu conteúdo.

Declaro que tenho conhecimento da legislação de Direito Autoral, bem como da obrigatoriedade da autenticidade desta produção científica. Autorizo sua divulgação e publicação, sujeitando-me ao ônus advindo de inverdades ou plágio e uso inadequado de trabalhos de outros autores. Nestes termos, declaro-me ciente que responderei administrativa, civil e penalmente nos termos da Lei 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, que altera e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

Pelo presente instrumento autorizo o Centro Universitário de Goiás, Uni-ANHANGUERA a disponibilizar o texto integral deste trabalho tanto na biblioteca, quanto em publicações impressas, eletrônicas/digitais e pela internet. Declaro ainda, que a presente produção é de minha autoria, responsabilizo-me, portanto, pela originalidade e pela revisão do texto, concedendo ao Uni-ANHANGUERA plenos direitos para escolha do editor, meios de publicação, meios de reprodução, meios de divulgação, tiragem, formato, enfim, tudo o que for necessário para que a publicação seja efetivada.

Goiânia, 21 de maio de 2018

Paulo Afonso Simões Alves.

Paulo Afonso Simões Alves

## **ANÁLISE COMPARATIVA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE ELETRÓLISE PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA**

**ALVES, Paulo Afonso Simões<sup>1</sup>; LIMA, Guilherme Vaz de<sup>2</sup>; e CUNHA, Danillo Francisco da<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Estudante do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA;

<sup>2</sup>Estudante do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA;

<sup>3</sup>Especialista, Professor do Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA.

A eletrólise é um processo que utiliza a eletricidade para induzir artificialmente e forçadamente uma corrente elétrica entre eletrodos com o intuito de quebrar moléculas de elementos químicos e biológicos, provocando a dissociação de tal maneira que, ao final deste processo se obtenha água e lodo. Têm-se os processos eletrolíticos como uma opção para o tratamento de águas residuárias, tais como os esgotos sanitários. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de tratamento, assim como os custos de implantação, aspectos operacionais e de manutenção, de um modelo piloto de utilização da eletrólise aquosa no tratamento de um efluente sanitário e do sistema de tratamento utilizado na Estação de Tratamento de Esgoto – ETE de Goianira-Go, a fim de comparar os resultados obtidos de cada sistema. O presente trabalho é uma análise comparativa entres os sistemas de tratamento de efluentes citados acima, que busca relatar as peculiaridades de cada um deles. Foram avaliadas a eficiência dessas estações através de resultados laboratoriais fornecidos pela empresa RESISTRAT que utiliza o método eletrolítico, comparando com relatórios de análise fornecidos pela empresa de Saneamento de Goiás S/A - SANEAGO, que utiliza o sistema convencional. Com os dados obtidos, foram realizadas análises conforme é recomendado pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (métodos padronizados para análise de água) e comparados com os padrões exigidos pela Resolução nº 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, analisando pH, DBO, DQO e Turbidez. Observou-se que ambos os processos de tratamento são eficazes e atendem a legislação vigente, mas por outro lado, o custo de implantação do tratamento compacto é maior consideravelmente em relação ao sistema convencional, mas a diferença não a torna inviável devido ao retorno na ocupação de espaço, que é substancialmente favorável comparado com o sistema convencional de lagoas de estabilização da ETE Goianira. A necessidade de grandes áreas para implantação do tratamento convencional se mostrou elevada. Quando se trata de custo de operação, a diferença entre os dois sistemas é pouca, pois existem muitos itens em comum para os dois sistemas, e ainda assim, o processo eletrolítico tem uma economia de 2,73% por mês. Assim o sistema eletrolítico mostrou uma considerável economia na operação e manutenção da estação de tratamento de esgoto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Saneamento básico. Esgoto. Sistema eletrolítico. Sistema convencional. Parâmetros.

