

II-017 - AVALIAÇÃO DA ELETROCOAGULAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE ANAERÓBIO DE ABATEDUO E FRIGORÍFICO DE SUÍNOS E POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE METANO

Flavia Manente da Silva

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Bolsista no grupo PETAMB

Fábio Orssatto⁽¹⁾

Tecnólogo Ambiental. Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da UTFPR – câmpus Medianeira

Eduardo Eynng

Engenheiro Químico. Doutor em Engenharia Química pela UNICAMP. Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da UTFPR – câmpus Medianeira

Laercio Mantovani Frare

Engenheiro Químico. Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual De Maringá. Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da UTFPR – câmpus Medianeira

Leandro Fleck

Tecnólogo em Gestão Ambiental. Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Docente da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul – câmpus Mundo Novo

Endereço⁽¹⁾: Avenida Brasil, 4232 – Parque Independência - Medianeira - PR - CEP: 85884-000 - Brasil - Tel: (45) 3240-8120 - e-mail: orssatto@utfpr.edu.br

RESUMO

O aumento na geração de efluente industriais, que possuem elevada carga poluidora, fez com que novas técnicas fossem desenvolvidas com o intuito de promover o tratamento adequado, garantindo que o lançamento destes efluentes não comprometam a qualidade do meio natural. Entre estas técnicas pode-se citar a eletrocoagulação, que tem como princípio básico a aplicação de corrente elétrica para promover a remoção de contaminantes do efluente. A técnica vem sendo estudada amplamente, buscando encontrar condições operacionais capazes de promover um tratamento de qualidade, mas sem gerar gastos exorbitantes, já que é necessário empregar energia elétrica para o funcionamento da mesma. Em vista disto, aplicou-se a eletrocoagulação no tratamento de efluente anaeróbio de um abatedouro e frigorífico de suínos, utilizando um sistema batelada de bancada. Para possibilitar uma análise estatística mais robusta montou-se um delineamento composto central rotacional (DCCR) com duas variáveis independentes: corrente elétrica aplicada (A) e tempo de eletrólise (minutos), com 4 pontos axiais e 4 repetições no ponto central. Os melhores percentuais de remoção foram 87% para cor no ensaio 4 (0,73 A e 18min34s), 76% para turbidez e 80% para DQO no ensaio 12 (0,55 A e 20min). O custo com o tratamento variou entre 0,5 e 4,5 reais por metro cúbico tratado, sendo que no ponto crítico de remoção da cor, o custo é de 3,21 R\$.m⁻³ com remoção de 84,63%. A geração de energia elétrica produzida no tratamento anaeróbio tem potencial para geração de 12.758 kWh.dia⁻¹, permitindo reduzir o custo do tratamento em 59,62%, considerando o custo de 3,21 R\$.m⁻³.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, Cor, Custo, DQO.

INTRODUÇÃO

A geração de efluentes devido a atividade industrial é um problema com grandes dimensões, uma vez que esses efluentes possuem elevada concentração de poluentes, que podem impactar o ecossistema se disposto inadequadamente. Tratá-los é uma medida imprescindível para garantir a segurança ambiental, sendo que para isso pode-se utilizar diversos métodos, como o tratamento biológico por meio de lagoas ou tratamento alternativos, como é o caso do tratamento eletrolítico.

Sahu et al. (2014) definem o processo eletrolítico como a sinergia entre três mecanismos: eletrocoagulação, com a desestabilização dos colóides devido a liberação de íons metálicos; eletroflotação, que é a interação entre as bolhas de gás formado e as partículas desestabilizadas e por fim, a eletroxidação, que envolve a decomposição da matéria orgânica.

De acordo com Mollah et al. (2004) a eletrocoagulação pode ser dividida em três etapas: formação do agente coagulante; desestabilização das suspensões e emulsões; agregação das fases desestabilizadas e formação de flocos. Para Nouri et al. (2010) a eletroflotação envolve três processos interdependentes: eletroquímica, coagulação e hidrodinâmica que atuam simultaneamente.

A eletrocoagulação foi estudada por Pauli et al. (2012) utilizando efluente de frigorífico, encontrado remoção de 94% para a cor, 98% para turbidez e 87% para DQO operando com corrente elétrica de 4 A, por 52m30s e pH do efluente de 5.

Biassi (2014) utilizou efluente de frigorífico de suíno para avaliar a eletrocoagulação encontrando remoção de 98% para cor, 99% para turbidez e 81% para DQO operando com 27 V por 20 minutos. Valente et al. (2015) aplicaram eletrocoagulação no tratamento de efluente de laticínio, obtendo remoção de 57% para DQO e 99% para turbidez com custo de 3,48 R\$.m⁻³.

Desta maneira o objetivo do trabalho consiste em avaliar a eficiência dos processos eletrolíticos para o tratamento de efluente anaeróbio proveniente da indústria de processamento de suínos.

METODOLOGIA

O efluente utilizado para a realização do estudo é oriundo de um frigorífico e abatedouro de suínos que gera em torno de 4.800 m³.dia⁻¹ de efluente, sendo este submetido ao tratamento com operações físicas, seguindo para o tratamento biológico e por fim operações físico-químicas, como pode ser visualizado na Figura 1. A coleta ocorreu na saída da lagoa anaeróbia I.

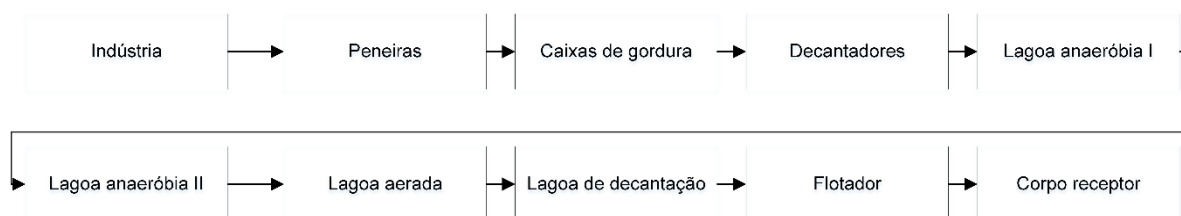


Figura 1. Fluxograma do tratamento adotado na indústria

Para avaliar a eficiência da eletrofloculação analisaram-se as remoções de demanda química de oxigênio (DQO), cor e turbidez por meio de um delineamento composto central rotacional (DCCR) com duas variáveis independentes: corrente elétrica aplicada (A), que corresponde a variável codificada X₁, e tempo de eletrólise (min), variável codificada X₂, obtendo um fatorial completo de 2² com 4 pontos axiais e 4 repetições no ponto central, totalizando 12 ensaios, que podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1. Matriz de ensaios do planejamento experimental

Ensaio	X ₁	X ₂	Densidade de corrente (A.cm ⁻²)
1	-1 (0,37)	-1 (11'27'')	0,0074
2	1 (0,73)	-1 (11'27'')	0,0146
3	-1 (0,37)	1 (18'34'')	0,0074
4	1 (0,73)	1 (18'34'')	0,0146
5	0 (0,55)	0 (15'00'')	0,0110
6	0 (0,55)	0 (15'00'')	0,0110
7	0 (0,55)	0 (15'00'')	0,0110
8	0 (0,55)	0 (15'00'')	0,0110
9	-1,41 (0,30)	0 (15'00'')	0,0060
10	1,41 (0,80)	0 (15'00'')	0,0160
11	0 (0,55)	-1,41 (10'00'')	0,0110
12	0 (0,55)	1,41 (20'00'')	0,0110

Os ensaios de eletrofloculação foram conduzidos em processo de batelada, para tanto utilizou-se um béquer com capacidade para 1 L onde adicionaram-se 0,8 L de efluente, que foi mantido em agitação constante. Os eletrodos de alumínio, com área de 50 cm² e espaçamento de 8,5 cm, foram completamente imersos no efluente e conectados a uma fonte de corrente contínua, que permitia o controle da corrente elétrica aplicada.

As análises físico-químicas seguiram os padrões estipulados pela *Apha Standarts Methods* (2011), sendo que para a cor utilizou-se o método espectrofotométrico (APHA 2120 C), para a turbidez o método nefelométrico (APHA 2130 B) e matéria orgânica, quantificada por meio da DQO, o método colorimétrico de refluxo fechado (APHA 5220 D) além do pH para a caracterização do efluente (APHA 4500-H⁺ B).

Calculou-se também o custo operacional do tratamento levando em conta o consumo de energia e o consumo dos eletrodos seguindo a metodologia proposta por Orssatto (2017), onde utilizam-se as Equações 1, 2 e 3, descritas da seguinte maneira:

$$J = \frac{U.i.T}{V} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

J: consumo de energia (Wh.m⁻³);
U: diferença de potencial (V);
i: corrente elétrica (A);
T: tempo de eletrólise (h);
V: volume de efluente tratado (m³);

$$M_{Al} = \frac{i.T.M}{e.f.V} \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

M_{Al}: massa consumida do eletrodo (kg.m⁻³);
i: corrente elétrica aplicada (A);
T: tempo de eletrólise (s);
M: massa molar do metal do eletrodo (26,89 g.mol⁻¹);
e: número de elétrons envolvidos na reação (3);
F: constante de Faraday (96.500 s.A.mol⁻¹).

$$Co = aJ + bM_{Al} \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

Co: custo operacional (R\$.m⁻³);
a: custo da energia elétrica (0,691 R\$.kWh⁻¹);
b: custo do alumínio (6,78 R\$.kg⁻¹).

Para estimar a produção de metano no processo anaeróbio, ao qual o efluente foi submetido antes da eletrofloculação, utilizou-se a metodologia proposta por Chernicharo (1997) que é descrita pelas equações 4 e 5:

$$V_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{A} \quad \text{equação (4)}$$

$$A = \frac{P.K}{R.(273+t)} \quad \text{equação (5)}$$

Em que:

V_{CH₄}: volume de metano produzido (L);
DQO_{CH₄}: carga de DQO removida no reator e convertida em metano (gDQO.dia⁻¹);

A: fator de correção para a temperatura (gDQO.L⁻¹);
P: pressão atmosférica (1 atm);
K: DQO correspondente a 1 mol de CH₄ (64 gDQO.mol⁻¹);
R: constante dos gases (0,08206 atm.L.mol⁻¹.K⁻¹);
t: temperatura de operação do reator (°C).

Além disso, para encontrar a carga de DQO que é convertida em metano é necessário descontar a DQO convertida em biomassa acidogênica e metanogênica, para isso utilizam-se as equações 6 e 7. Sendo que a carga de DQO convertida em metano pode ser calculada pela equação 8.

$$DQO_{acid} = Y_{acid} \cdot DQO_{rem} \quad (6)$$

$$DQO_{metan} = Y_{metan} \cdot (DQO_{rem} - DQO_{acid}) \quad (7)$$

$$DQO_{CH_4} = DQO_{rem} - DQO_{acid} - DQO_{metan} \quad (8)$$

Em que:

DQO_{acid}: carga de DQO convertida em biomassa acidogênica (gDQO.dia⁻¹);
Y_{acid}: coeficiente de produção celular para bactérias acidogênicas (0,15);
DQO_{rem}: carga de DQO removida no tratamento (gDQO.dia⁻¹);
DQO_{metan}: carga de DQO convertida em biomassa metanogênica (gDQO.dia⁻¹);
Y_{metan}: coeficiente de produção celular para as bactérias metanogênicas (0,03).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização do efluente anaeróbio pode ser encontrada na Tabela 2, percebe-se que o mesmo apresenta valores elevados para DQO, cor e turbidez quando comparado com as Resoluções CONAMA 430/11 e Resolução CEMA 070/09, indicando a necessidade em realizar um tratamento adequado para possibilitar seu lançamento em corpo hídrico.

Tabela 2. Caracterização do efluente anaeróbio utilizado nos ensaios

Parâmetro	Efluente anaeróbio	CONAMA 430/2011	CEMA 070/2009
DQO (mg.L ⁻¹)	2.185	-	200
Cor (UC)	5.000	-	-
Turbidez (UNT)	434	-	-
pH	8,71	5 a 9	-

Analisando a Figura 2 percebe-se que o comportamento das remoções dos parâmetros foi semelhante na maioria dos ensaios. O ensaio 9, realizado com corrente de 0,3 A por 15 minutos obteve as menores remoções, sendo 31,12 % para a DQO, 37,33% para a turbidez e 59,90% para a cor.

Por outro lado o ensaio 4 (0,73 A e 18min34s) demonstrou ser o mais eficiente para a remoção da cor, alcançando 87,30% de remoção. Para a turbidez e a DQO o ensaio 12 (0,55 A e 20min) obteve as maiores remoções, 76,38 % e 80,60%, respectivamente.

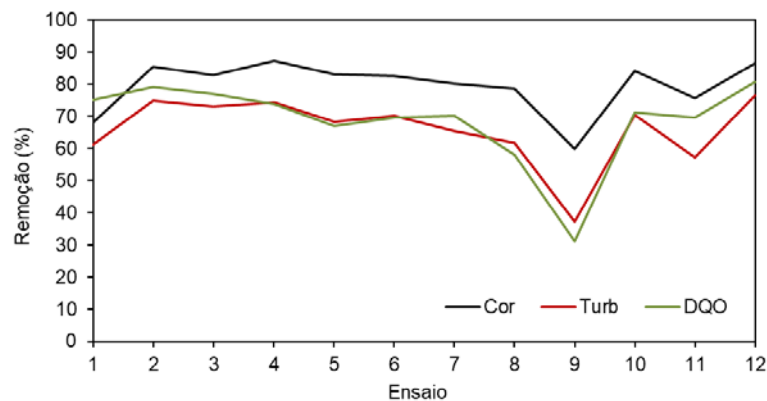


Figura 2. Eficiência de remoção de cor, turbidez e DQO

Observando os resultados da análise estatística para a turbidez, Tabela 3, percebe-se que apenas a variável X_1 linear é significativa em um nível de confiança de 95%, já que foi a única que obteve p-valor inferior a 0,05, apresentando efeito positivo sobre a remoção, ou seja, ao passar a variável do nível -1 para 1 a remoção da turbidez aumenta.

Nota-se ainda que as variáveis X_2 linear e X_2 quadrática possuem efeito positivo, ao contrário da variável X_1 quadrática e da interação entre as variáveis ($X_1.X_2$) que possuem efeito negativo, onde seu aumento de nível causa a diminuição da remoção.

Tabela 3. Análise de regressão para a remoção da turbidez

Fator	Efeito	Erro padrão	t(6)	p-valor	Coefficientes de regressão
Média	66,328	4,161	15,942	0,000	66,328
X_1 (L)	15,486	5,893	2,628	0,039	7,743
X_1 (Q)	-7,238	6,606	-1,096	0,315	-3,619
X_2 (L)	9,552	5,893	1,621	0,156	4,776
X_2 (Q)	5,800	6,606	0,878	0,414	2,900
$X_1.X_2$	-6,106	8,322	-0,734	0,491	-3,053

Com isso o modelo matemático obtido para a remoção de turbidez não é válido a 95% de confiança já que o $F_{calculado}$ (2,503) é inferior ao $F_{tabelado}$ (4,387), ou seja, o modelo não explica o comportamento dos resultados observados para a remoção da turbidez.

Para a DQO a análise de regressão, que pode ser visualizada na Tabela 4, demonstrou que nenhuma variável foi significativa em um intervalo de 95% de confiança, já que todas obtiveram p-valor superior a 0,05. Porém percebe-se que as variáveis X_1 linear, X_2 linear e X_2 quadrática apresentam efeito positivo sobre a remoção de DQO, ao passo que a variável X_1 quadrática e a interação entre as variáveis tem efeito negativo.

Tabela 4. Análise de regressão para a remoção de DQO

Fator	Efeito	Erro padrão	t(6)	p-valor	Coefficientes da regressão
Média	66,122	6,027	10,971	0,000	66,122
X_1 (L)	14,373	8,536	1,684	0,143	7,187
X_1 (Q)	-8,477	9,569	-0,886	0,410	-4,238
X_2 (L)	2,911	8,536	0,341	0,745	1,455
X_2 (Q)	15,695	9,569	1,640	0,152	7,847
$X_1.X_2$	-3,576	12,054	-0,297	0,777	-1,788

A ANOVA para a regressão dos resultados da remoção de DQO evidenciou que o modelo matemático obtido não é válido a 95% de confiança, já que o $F_{calculado}$ (1,450) é inferior ao $F_{tabelado}$ (4,387).

A análise de regressão para os resultados de remoção da cor demonstrou que as variáveis X_1 quadrática, X_1 e X_2 linear são significativas em um nível de confiança de 95%, já que possuem p-valor inferior a 0,05, como pode ser visualizado na Tabela 5.

Com relação ao efeito das variáveis, percebe-se que X_1 e X_2 linear, além de X_2 quadrática possuem efeito positivo, já as variáveis X_1 quadrática e a interação $X_1.X_2$ possuem efeito negativo.

Tabela 5. Análise de regressão para a remoção da cor

Fator	Efeito	Erro padrão	t(6)	p-valor	Coeficientes da regressão
Média	81,062	1,733	46,782	0,000	81,062
X_1 (L)	14,058	2,454	5,728	0,001	7,029
X_1 (Q)	-6,826	2,751	-2,481	0,048	-3,413
X_2 (L)	7,981	2,454	3,252	0,017	3,990
X_2 (Q)	2,177	2,751	0,791	0,459	1,089
$X_1.X_2$	-6,500	3,466	-1,876	0,110	-3,250

A ANOVA para a remoção da cor demonstrou que o modelo matemático encontrado é válido com 95% de confiança, já que o $F_{calculado}$ (10,953) é superior ao $F_{tabelado}$ (4,387), dessa maneira a remoção da cor pode ser descrita pela Equação 9, além de apresentar R^2 de 0,901.

$$\% \text{remoção da cor} = 81,062 + 14,058X_1 - 6,826X_1^2 + 7,981X_2 + 2,177X_2^2 - 6,500X_1X_2 \quad \text{equação (9)}$$

O modelo matemático para a remoção da cor pode ser representado graficamente pela superfície de contorno contida na Figura 3, onde percebe-se para valores de corrente acima de 0,55 A a remoção de cor alcança valores superiores a 80%.

No entanto existem duas regiões onde a remoção da cor alcança os valores máximos, uma região situa-se entre 10m e 11m27s com corrente de 0,73 a 0,8 A e a outra com tempo de 18m34s a 20m e corrente de 0,37 a 0,73 A.

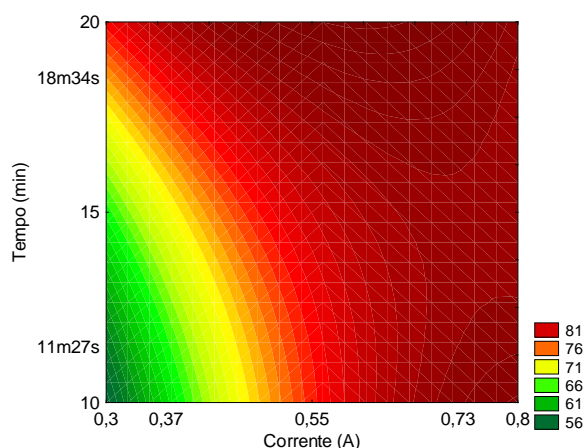


Figura 3. Superfície de contorno para a remoção da cor

Na Figura 4 pode observar-se a relação entre o custo dos ensaios com as remoções de cor, turbidez e DQO. O ensaio 9, que obteve os menores percentuais de remoção, obteve também o menor custo, em torno de 0,5 R\$.m⁻³. Os ensaios 4 (0,73 A e 18m34s) e 10 (0,8 A e 15m) alcançaram os maiores custos, em torno de 4 R\$.m⁻³.

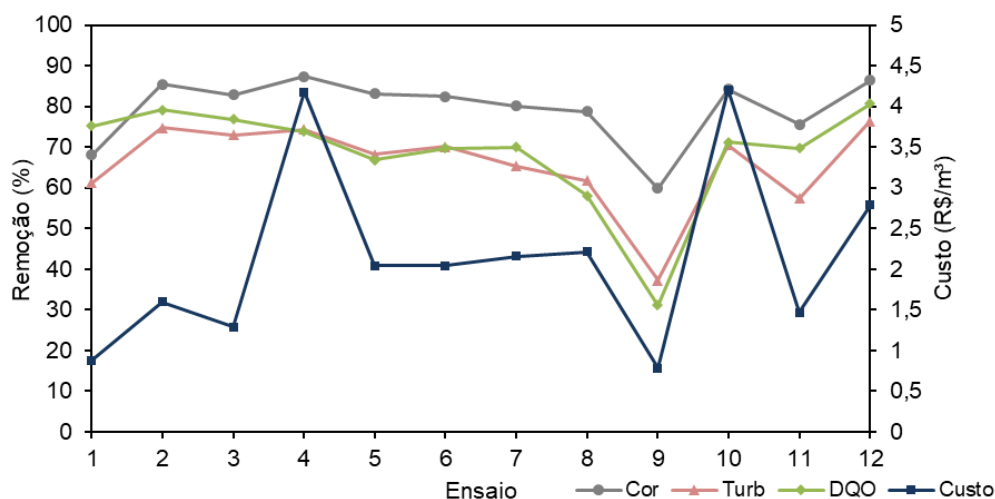


Figura 4. Comparação do custo de eletrólise dos ensaios com a remoção de cor, turbidez e DQO

A análise estatística para o custo de eletrólise demonstrou que as variáveis X_1 e X_2 linear, além da interação entre ambas ($X_1.X_2$) foram significativas com 95% de confiança e todas obtiveram efeito positivo, conforme pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6. Análise de regressão para o custo

Fator	Efeito	Erro padrão	t(6)	p-valor	Coefficientes da regressão
Média	2,113	0,156	13,525	0,000	2,113
X_1 (L)	2,114	0,221	9,553	0,000	1,057
X_1 (Q)	0,218	0,248	0,880	0,413	0,109
X_2 (L)	1,218	0,221	5,504	0,002	0,609
X_2 (Q)	-0,152	0,248	-0,611	0,563	-0,076
$X_1.X_2$	1,085	0,312	3,471	0,013	0,542

Além disso a ANOVA para a regressão mostrou que o modelo é válido com 95% de confiança, já que o $F_{calculado}$ (27,004) é superior ao $F_{tabelado}$ (4,387), com R^2 de 0,957. Com isso o modelo matemático para o custo é descrito pela Equação 10 e pode ser representado graficamente pela Figura 3.

$$\text{Custo (R$.m}^{-3}\text{)} = 2,133 + 1,057X_1 + 0,109X_1^2 + 0,609X_2 - 0,076X_2^2 + 0,542X_1X_2 \quad \text{equação (10)}$$

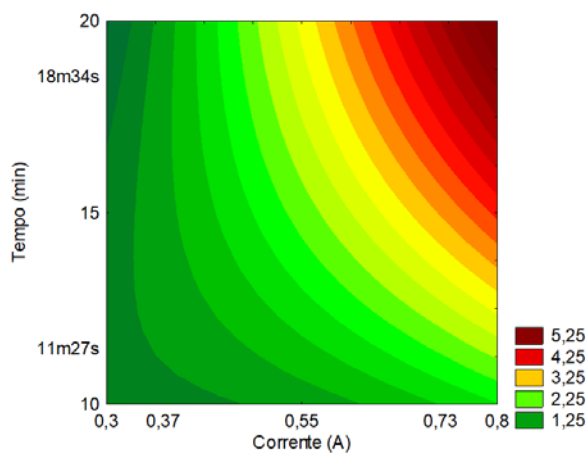


Figura 5. Gráfico de contorno para o custo

Analisando a Figura 5 percebe-se que os menores valores de custos situam-se em duas regiões, para tempo entre 10 e 11m27s e a outra para situações onde a corrente situa-se entre 0,3 e 0,37A.

Utilizando a metodologia para a estimativa de metano, e considerando a temperatura média para o município de 19,4°C (CLIMATE-DATA,2018) encontraram-se os resultados visualizados na Tabela 7, onde percebe-se a capacidade de geração de 1.279 m³ de metano por dia. Segundo Machado (2016) cada m³ de metano pode gerar até 9,97 kWh de energia, dessa maneira estima-se ser possível gerar em torno de 12.758 kWh por dia.

Tabela 7. Estimativa de produção de metano no tratamento anaeróbio

Parâmetro	Valor	Unidade
DQO afluente	3,05	g.L ⁻¹
DQO efluente	2,19	g.L ⁻¹
DQO removida	0,86	g.L ⁻¹
DQO acidogênica	621.00,00	g.DQO.dia ⁻¹
DQO metanogênica	105.570,00	g.DQO.dia ⁻¹
DQO _{CH₄}	3.413.430,00	g.DQO.dia ⁻¹
K(t)	2,67	gDQO.L ⁻¹
Volume CH ₄	1.279,73	m ³ .dia ⁻¹

O ponto crítico de remoção da cor situa-se na condição de 1,11 para X₁ e -0,17 para X₂, que correspondem aos valores reais de 0,74 A para corrente elétrica e 14min22s para o tempo. Neste ponto a remoção é de aproximadamente 84,63% com custo de 3,21 R\$.m⁻³.

Considerando apenas o custo com o consumo de energia, que equivale a 3,08 R\$.m⁻³, seriam necessários em torno de 21.399,61 kWh.dia⁻¹, com valor de 14.790,98 reais por dia para a realização o tratamento. Com a conversão do metano em energia elétrica é possível gerar aproximadamente 12.758,9 kW.dia⁻¹ e com isso reduzir o custo em 59,62% nos custos, considerando que a energia gerada utilizando o biogás equivale monetariamente a 8.818, 73 R\$ por dia.

CONCLUSÃO

Conclui-se que a técnica de eletrofloculação tem potencial para ser aplicada no tratamento de efluentes desta natureza, já que alcançou remoção de 87,30% para cor, 76,38% para turbidez e 80,60% para a DQO.

O custo é influenciado diretamente pela corrente e pelo tempo de eletrólise, sendo que para obter custo reduzido pode-se operar com tempo ou corrente baixa. O menor custo encontrado foi em torno de 0,5 R\$.m⁻³ no ensaio 9, no entanto este ensaio obteve também as menores remoções, concluindo-se que este valor não é o mais satisfatório para o objetivo do tratamento.

Avaliando o ponto crítico da remoção cor é possível obter remoção 84,63% com custo de 3,21 R\$.m⁻³. Além disso, o aproveitamento energético do biogás produzido no tratamento anaeróbio possibilita reduzir em 59% o custo do tratamento eletrolítico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, Washington, DC: APHA, 2011
2. BIASSI, B. F.; **Tratamento de efluente de matadouro e frigorífico de suíno em reator batelada de eletrofloculação**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5528/1/MD_COGEA_2014_2_08.pdf> acessado em 14 de abril de 2018
3. CHERNICHARO, C. A. de L.; **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Reatores anaeróbios**; 5 ed., 246p. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1997
4. CLIMATE-DATA; **Clima: Medianeira**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/43579/>> acessado em 30 de maio de 2018
5. MACHADO, G. B.; **Biogás**; Portal do Biogás. Disponível em: < <https://www.portaldobiogas.com/biogas/>> acessado em 31 de maio de 2016

6. MOLLAH, M. Y. A.; MORKOVSKY P.; GOMES, J. A. G.; KESMEZ, M.; PARGA, J.; COCKE, D. L.; Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation, **Journal os Hazardous Materials**, v. 114, ed. 3, p. 199-210, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389404004170>> acessado em 05 de abril de 2018
7. NOURI, J.; MAHVI, A. H.; BAZRAFSHAN, E.; Application of electrocoagulation process in removal of zinc and copper from aqueous solutios by aluminum electrodes, **Int. J. Environ. Res.**, v. 4, ed.2, p. 201-208, 2010. Disponível em: <https://ijer.ut.ac.ir/article_10_60a7441d001d5cfa6b871adf655cbd80.pdf> acessado em 05 de abril de 2018
8. ORSSATTO, F.; **Otimização do tratamento de efluente de matadouro e frigorífico de suínos pela eletrofloculação e combinação eletrofloculação/coagulação orgânica**; Tese (doutorado em engenharia agrícola) 103 f., Programa de pós-graduação em engenharia agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Unioeste, Cascavel, 2017
9. PAULI, A. R. de; ESPINOZA-QUINONES, F. R.; MÓDENES, A. N.; BORBA, C. E.; THEODORO, P. S.; Aplicação do planejamento experimental no método de eletro-coagulação para a remoção de matéria orgânica de efluentes frigoríficos; **Engevista**, v. 14, n. 3, p. 293-301, 2012. Disponível em: <www.uff.br/engevista/seer/index.php/engevista/article/download/386/210> acessado em 11 de abril de 2018
10. Resolução CEMA nº 070, de 01 de outubro de 2009. **Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências, para Empreendimentos Industriais.**
11. Resolução CONAMA 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 Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.**
12. SAHU, O.; MAZUMDAR, B.; CHAUDHARI, P. K.; Treatment of wastewater by electrocoagulation: a review; **Environmental Science and Pollution Research**; v. 21; p. 2397-2413, 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11356-013-2208-6.pdf>> acessado em 12 de abril de 2018
13. VALENTE, G. de F. S.; MENDONÇA, R. C. S.; PEREIRA, J. A. M.; The efficiency of electrocoagulation using aluminum electrodes in treating wastewater from a dairy industry; **Ciência Rural**, v. 45, n. 9., 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782015000901713> acessado em 12 de abril de 2018