



## II- 423 – PROCESSO DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO ASSOCIADO A FILTRAÇÃO LENTA NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LATÍCINIO

**Mariana Fernandes Alves<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

**Edilaine Regina Pereira<sup>(2)</sup>**

Engenheira Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Mestre e Doutora em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz - ESALQ/USP.

**Higor Aparecido Nunes de Oliveira<sup>(3)</sup>**

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitarista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

**Julio Cesar Angelo Borges<sup>(4)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pelotas.

**Layla Fernanda de Oliveira<sup>(5)</sup>**

Engenheira Ambiental e Sanitária pela Universidade Tecnológica Federal de Paraná. Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR- Londrina).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida dos Pioneiros, nº 3131 – Jardim Morumbi - Londrina - PR - CEP: 86036-370 - Brasil - Tel: (43) 99117-0212 - e-mail: marianafernandes@gmail.com

### RESUMO

A indústria de laticínios apresenta fundamental importância social no Brasil, porém as elevadas produções, acarretam um consumo eminente de água, gerando um elevado volume de efluentes, que quando não tratados, podem causar poluição e contaminação aos corpos hídricos. Sendo assim, este estudo teve como objetivo avaliar o tratamento do efluente de laticínio por meio dos processos de coagulação, floculação, flotação e filtração lenta, associados aos coagulantes inorgânicos PAC 18 (T1), o PROFLOC C 2093 (T2), o PAC 12 (T3), o PROFLOC P60 (T4) e o SUPERFLOC (T5). Para simular os processos de coagulação, floculação e flotação, utilizou-se o equipamento Flotest, onde para a flotação manteve-se uma taxa de recirculação de 20%. O efluente tratado foi transferido para o meio filtrante em duas velocidades diferentes: 16 cm.min<sup>-1</sup> (v1) e 24 cm.min<sup>-1</sup> (v2). O filtro era constituído por uma coluna de 15 cm de areia com granulometria de 0,425 a 0,850 mm utilizando a manta geotêxtil não tecida como base. Para as amostras coletadas após a filtração, analisou-se: pH, condutividade elétrica, DQO, cor aparente e turbidez. Os resultados obtidos foram submetidos a análises estatísticas de variância ANOVA, com confiabilidade igual à 5% quando aplicada ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Para o pH, observou-se uma elevação nos valores quando comparados ao bruto, já para a condutividade elétrica todos os tratamentos diminuíram em relação ao valor inicial. Na remoção de turbidez, todos os tratamentos apresentaram remoção entre 80% e 90% para as duas velocidades. A remoção de cor aparente também foi satisfatória para os cinco tratamentos em ambas as velocidades, para a remoção de DQO todas as taxas foram superiores a 80%, com T2 alcançando 94,7% e 95,6% de remoção para V1 e V2, respectivamente. A partir da análise ANOVA, não há diferença estatística entre os tratamentos e a variação de velocidade para a remoção de turbidez. Já para a remoção de cor aparente não houve diferença estatística para a variação da velocidade, porém, para os tratamentos, T2 apresentou diferença significativa e os demais tratamentos apresentavam semelhança estatística entre si. Os cinco tratamentos apresentaram semelhanças estatísticas para a remoção de DQO. Todos os coagulantes estudados possuíram resultados positivos aos parâmetros analisados. Ressalta-se que a quantidade utilizada do coagulante do tratamento T2 foi significativamente inferior aos demais, demonstrando um potencial ao seu uso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Flotação, Efluente de Laticínio, Coagulante, PAC, Filtração Lenta.



## INTRODUÇÃO

Com o crescimento acelerado da população mundial, as atividades industriais também estão aumentando rapidamente. No entanto, muitas indústrias dependem intensamente do uso da água em seus processos produtivos. Essa demanda excessiva está resultando em uma quantidade significativa de efluentes que, quando não tratados adequadamente, podem causar poluição e contaminação nos corpos hídricos (Borges; Costa; Gontijo, 2019).

O ramo da indústria láctea apresenta-se fundamental para a sociedade, considerando que os brasileiros em 2018 apresentaram um consumo per capita de 166, 4 L.hab<sup>-1</sup> de leite (EMBRAPA, 2019). Segundo Silva (2011) tal ramo tem por característica utilizar elevada quantidade de água para desenvolver seus processos, ocasionando um volume elevado de efluente, o qual, possui em sua composição: materiais sólidos, substâncias surfactantes provenientes da higienização dos equipamentos, lubrificantes, gorduras e proteínas, além do esgoto doméstico gerado pelos funcionários.

Desse modo, é essencial que ocorra o tratamento de dado efluente, antes do seu lançamento em qualquer corpo hídrico de maneira a atingir os padrões de lançamento expostos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n° 430/2011.

Uma das maneiras de realizar o tratamento do efluente é por meio dos processos biológico, físico ou físico-químico. O tratamento biológico é geralmente utilizado para efluentes que apresentem elevada carga orgânica, já o tratamento físico-químico necessita do auxílio de coagulantes orgânicos ou inorgânicos, junto aos processos de coagulação, floculação, sedimentação e flotação (Silva, 2011; Nunes, 2012).

Os coagulantes inorgânicos são amplamente utilizados no tratamento de efluentes, águas e esgoto devido à sua eficiência na remoção de impurezas. Um desses coagulantes é o policloreto de alumínio (PAC), um coagulante inorgânico catiônico à base de policloreto de alumínio. Sua estrutura química permite a formação de cadeias poliméricas hidroxiladas, que desempenham um papel fundamental nos processos de coagulação e floculação. Quando ocorre a hidrólise do PAC, ele é capaz de neutralizar as cargas presentes. Existem várias formas de coagulante PAC disponíveis, cada uma com diferentes características e composições. Algumas das formas mais comuns de coagulante PAC incluem: PAC 18, PAC 12, PROFLOC C 2093, PROFLOC P60 e o SUPERFLOC (Cagliari, 2018; Soares, 2020).

O processo de flotação ocorre por separação das partículas solidas ou liquidas podendo ser óleo por exemplo por adesão de bolhas, as bolhas aderem a essas partículas tornando a mais densa fazendo com que subam a superfície onde são coletadas (Penetra, 1998; Schoenhals, 2014).

Diante disso, este trabalho realizou o tratamento do efluente proveniente de uma indústria de laticínios por meio dos processos de coagulação, floculação, flotação e filtração, com o auxílio dos coagulantes inorgânicos a base de policloreto de alumínio tendo por objetivo analisar e comparar a eficiência das diferentes formas do coagulante PAC.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Laboratório de Recursos Hídricos da UTFPR – campus Londrina, com efluente proveniente de uma indústria de laticínios localizada na região Sul do município de Londrina - PR.

Como auxiliares no tratamento, utilizou-se cinco coagulantes a base de Policloreto de Alumínio, sendo eles o PAC 18 (T1), o PROFLOC C 2093 (T2), o PAC 12 (T3), o PROFLOC P60 (T4) e o SUPERFLOC (T5).

Para as soluções coagulantes, diluiu-se 1 mL do coagulante em 1 L de água destilada. A partir disso, realizou-se um pré ensaio para definição da concentração ideal a ser utilizada, chegando aos valores de: 10mL L<sup>-1</sup> (T1), 2 mL L<sup>-1</sup> (T2), 15 mL L<sup>-1</sup> (T3), 7 mL L<sup>-1</sup> (T4) e 15 mL L<sup>-1</sup> (T5).

Utilizou-se o equipamento Flotest para simulação dos processos de coagulação, floculação e flotação. Tal equipamento é composto por um motor agitador, uma câmara de pressurização com mangueiras ligadas aos jarros, os quais possuem a capacidade de dois litros, indicação da porcentagem da taxa de recirculação e duas saídas para coleta de amostras, conforme demonstrado na Figura 1 e 2.



**Figura 1: Câmara de pressurização.**



**Figura 2: Jarro com as duas saídas para coleta, indicação de volume e taxa de recirculação**

Inicialmente o efluente foi homogeneizado, logo após, iniciou-se o processo de coagulação com uma velocidade de 150 rpm por 3 minutos, em seguida a velocidade foi reduzida para 15 rpm por um período de 10 minutos, caracterizando o processo de floculação (Theodoro, 2012). Para o processo de flotação, adaptou-se a metodologia de Ariano (2009) onde utilizou-se a pressão de saturação do ar próximo a 4 bar na câmara de pressurização durante cinco minutos. Ao final do tempo de floculação o motor agitador foi desligado, e pelas mangueiras acopladas no jarro e na câmara de saturação foram liberadas as microbolhas de ar, até atingirem a taxa de 20% de recirculação. Após esse ponto, esperou-se trinta segundos para iniciar as coletas.

Para cada jarro, realizaram-se duas coletas de amostras, diferenciando-as pela variação da velocidade de coleta, com valores iguais a 16 cm.min<sup>-1</sup> (v1) e 24 cm.min<sup>-1</sup> (v2). Em seguida, o efluente tratado passou pelo meio filtrante, sendo coletadas ao final do processo novas amostras. O filtro foi construído por uma coluna de 15 cm de areia com granulometria de 0,425 a 0,850 mm utilizando a manta geotêxtil não tecida como base do filtro, a Figura 3 apresenta o sistema.



**Figura 3: Estrutura dos filtros.**

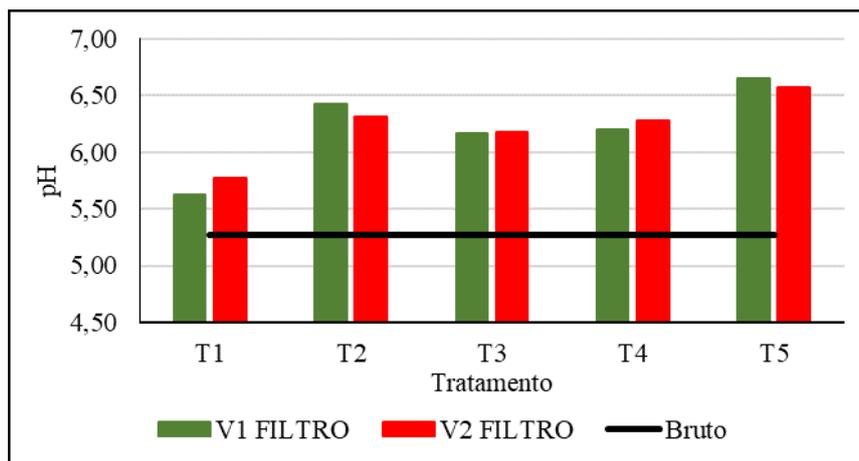
As amostras coletadas ao final do processo de filtração foram submetidas a análises de pH, condutividade elétrica, DQO, turbidez e cor aparente, de acordo com a metodologia APHA (2017). Os tratamentos foram realizados em duplicata e para os resultados obtidos aplicou-se análises estatísticas a partir da análise de



variância ANOVA, tendo a confiabilidade igual à 5% quando realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

## RESULTADOS

Os parâmetros pH, condutividade elétrica, DQO, turbidez e cor aparente foram analisados para o efluente bruto, apresentando os respectivos valores: 5,30, 1547 mS.cm<sup>-1</sup>, 2926,39 mg.O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>, 453 NTU e 1570 mgPtCl<sup>-1</sup>. A Figura 4 demonstra o comportamento do pH após o tratamento.



**Figura 4: Comportamento do pH.**

**Nota 1: PAC 18 (T1), PROFLOC C 2093 (T2), PAC 12 (T3), PROFLOC P60 (T4) e SUPERFLOC (T5)**

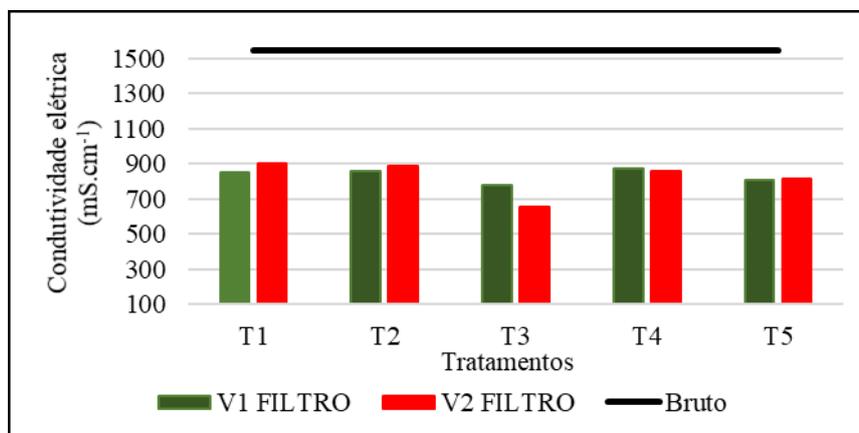
**Nota 2: V = variação da velocidade de coleta**

A Figura 4 mostra os resultados do tratamento realizado, evidenciando uma elevação nos valores de pH para todos os tratamentos após o processo. O T5 obteve os maiores valores de pH, alcançando 6,65 para V1 e 6,58 para V2. Em contraste, o T1 apresentou a menor variação em relação ao efluente bruto, com pH igual a 5,63 (V1) e 5,78 (V2). Os demais tratamentos obtiveram valores de pH variando entre 6,16 (T3) e 6,42 (T2), ambos resultados referentes a V1.

Ao comparar as alterações entre V1 e V2, nota-se que as variações foram mínimas em cada tratamento. Nos casos de T1, T3 e T4, a V2 apresentou uma elevação um pouco maior em comparação com a V1. No entanto, para T2 e T5, a V1 apresentou uma maior elevação em relação à V2. No geral, as variações nas velocidades de coleta entre cada tratamento não apresentaram diferenças significativas. Dessa forma, os resultados sugerem que os tratamentos T2 e T5 obtiveram maiores valores em termos de pH quando utilizando a V1, enquanto os demais tratamentos foram maiores com o V2.

Mesmo com a elevação do pH, os tratamentos estão de acordo com a Resolução CONAMA n°430/2011, a qual estabelece o limite para o pH de 5 a 9 para o lançamento de efluente em corpos hídricos.

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos para a condutividade elétrica após o tratamento.



**Figura 5: Desempenho da condutividade elétrica.**

Nota 1: PAC 18 (T1), PROFLOC C 2093 (T2), PAC 12 (T3), PROFLOC P60 (T4) e SUPERFLOC (T5)

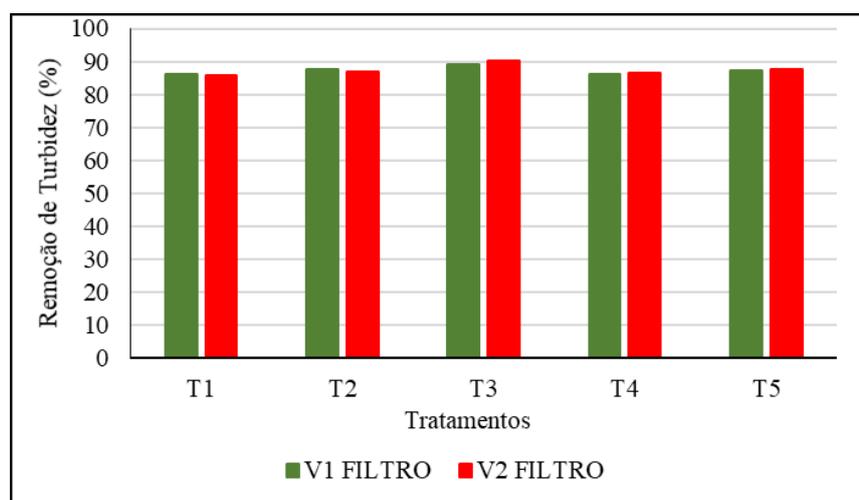
Nota 2: V = variação da velocidade de coleta

Ao analisar a Figura 5, nota-se que após o tratamento a condutividade elétrica dos cinco tratamentos apresentaram diminuição em relação ao efluente bruto, dado resultado pode ser justificado pois no processo de filtração os sais presentes no efluente tratado ficaram retidos no meio filtrante.

Destaca-se que nenhum tratamento apresentou após a filtração condutividade elétrica superior a 910 mS.cm<sup>-1</sup>, sendo o menor resultado apresentado por T3, atingindo 780,5 mS.cm<sup>-1</sup> com V1 e 655,5 mS.cm<sup>-1</sup> com V2; já T1 atingiu o maior valor dentre os tratamentos com condutividade elétrica igual a 903,5 mS.cm<sup>-1</sup> (V2). Ao analisar os resultados de condutividade elétrica nos tratamentos V1 e V2, observa-se uma inversão significativa nos valores para T3. Neste caso, o V1 apresentou um valor maior em comparação com o V2.

Já no T4 e T5, ambos V1 e V2 deram resultados semelhantes. Por outro lado, nos tratamentos T1 e T2, os maiores valores de condutividade elétrica foram observados para o V2. Esses resultados sugerem que a escolha entre V1 e V2 pode ter um impacto distinto nos tratamentos, dependendo do tratamento específico em questão.

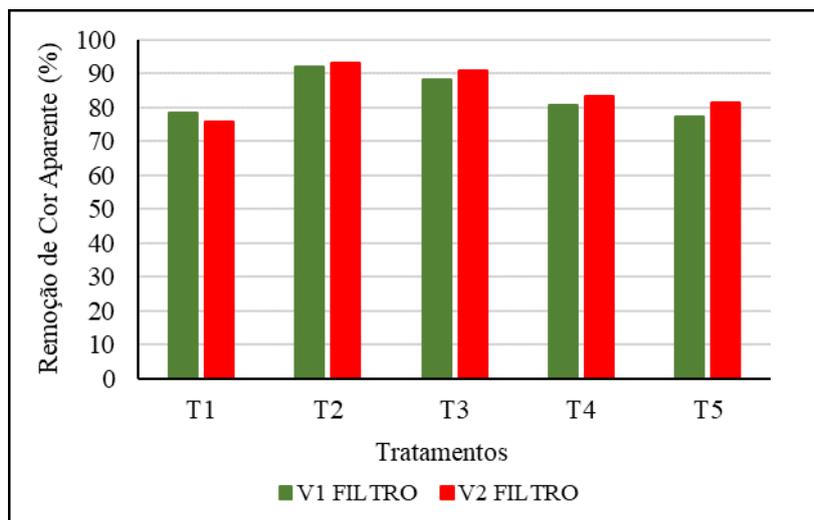
Os valores obtidos para a turbidez, cor aparente e DQO foram convertidos em taxa de eficiência de remoção e são apresentados nas Figuras 6, 7 e 8, respectivamente.



**Figura 6: Taxa de remoção de turbidez.**

Nota 1: PAC 18 (T1), PROFLOC C 2093 (T2), PAC 12 (T3), PROFLOC P60 (T4) e SUPERFLOC (T5)

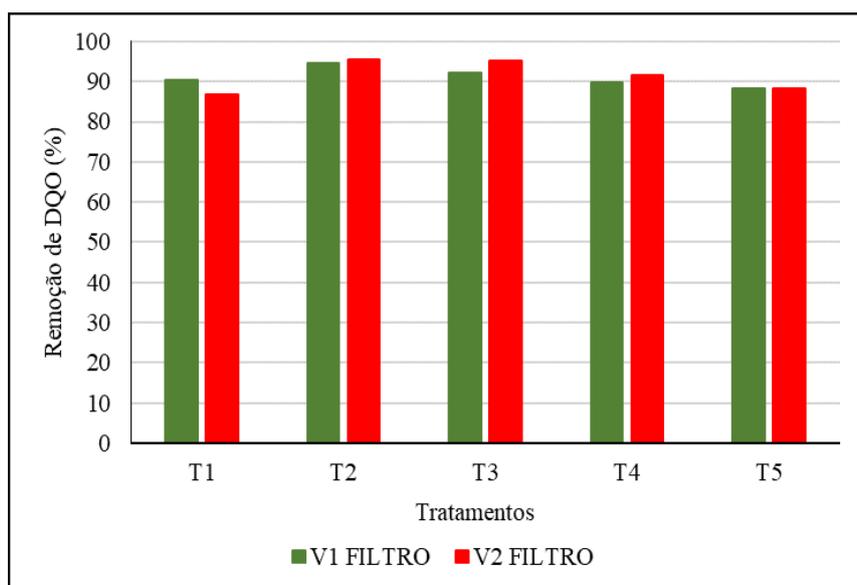
Nota 2: V = variação da velocidade de coleta



**Figura 7: Taxa de remoção de cor aparente.**

**Nota 1: PAC 18 (T1), PROFLOC C 2093 (T2), PAC 12 (T3), PROFLOC P60 (T4) e SUPERFLOC (T5)**

**Nota 2: V = variação da velocidade de coleta**



**Figura 8: Taxa de remoção de DQO.**

**Nota 1: PAC 18 (T1), PROFLOC C 2093 (T2), PAC 12 (T3), PROFLOC P60 (T4) e SUPERFLOC (T5)**

**Nota 2: V = variação da velocidade de coleta**

Ao analisar a Figura 6, todos os tratamentos alcançaram uma taxa de remoção de turbidez satisfatória, situando-se entre 80% e 90%, tanto para V1 quanto para V2. Dentre eles, o T3 se destacou ao apresentar a melhor taxa de remoção, atingindo 90% para V2 e 89% para V1. Os tratamentos T1 e T2 atingiram a melhor taxa de remoção com V1, com os respectivos valores 86,02% e 87,77%. Já T4 e T5, assim como T3 obtiveram o melhor desempenho com V2, tendo atingido as taxas de 86,68% e 87,75% respectivamente.

Para a remoção de cor aparente, a partir da Figura 7, nota-se que o T2 se destacou quando comparado aos outros tratamentos, tendo atingido as melhores taxas de remoção, com valores iguais a 92,13% (V1) e 93,25% (V2). Em seguida tem-se o T3 com taxas de 88,18% (V1) e 91,02% (V2), já T1, T4 e T5 apresentaram remoção entre 75,76% e 83,54%, 81%. A melhor velocidade de coleta foi V2, com exceção do tratamento T1.

A Figura 8 mostra que a taxa de remoção de DQO foi superior a 80% em todos os tratamentos. A V2 teve o melhor desempenho, com exceção do tratamento T1. O tratamento T2 teve as taxas de remoção mais altas, alcançando 94,7% e 95,6% para V1 e V2, respectivamente. Para T1, as taxas foram de 90,40% (V1) e 86,8% (V2), sendo esta última a menor taxa observada nas análises. Para T3, T4 e T5, as taxas variaram entre 95%, 92% e 88% para as velocidades V1 e V2. Todos os tratamentos apresentaram resultados de remoção ótimos.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os parâmetros remoção de turbidez, cor aparente e DQO foram submetidos a análises estatísticas a partir da análise de variância ANOVA. Além disso, calculou-se a normalidade a partir do teste de Shapiro-Wilk com significância de 5%, apresentando a normalidade dos dados. Os resultados são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente.

**Tabela 1. Resultados estatísticos apresentados para o parâmetro turbidez.**

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tratamento	4	31,84	5	1,07494	0,41869
Velocidade	1	0,02	2	0,00277	0,95909
Tratamento* velocidade	4	2,481	3	0,08375	0,98555
Resíduo	10	74,051	4		
Total	19	108,392	1		

**Tabela 2 - Resultados estatísticos apresentados para o parâmetro cor aparente.**

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tratamento	4	715,17	3	5,8016	0,01113
Velocidade	1	14,01	2	0,4547	0,51542
Tratamento* velocidade	4	29,78	5	0,2415	0,90833
Resíduo	10	308,18	4		
Total	19	1067,14	1		

**Tabela 3 - Resultados estatísticos apresentados para o parâmetro DQO.**

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Tratamento	4	146,4	3	3,9975	0,03437
Velocidade	1	0,75	2	0,0818	0,78072
Tratamento* velocidade	4	25,43	4	0,6944	0,61271
Resíduo	10	91,56	5		
Total	19	264,133	1		

Na Tabela 1 nota-se que não há diferença estatística entre os tratamentos e a variação de velocidade, visto que o p-valor é maior que 0,05. Nota-se pela Tabela 2 e 3 que para a remoção de cor aparente e DQO houve diferença estatística significativa apenas para os tratamentos aplicados.

As médias obtidas pelo Teste de Tukey para os parâmetros cor aparente e a DQO são expostos por meio da Tabela 4, onde as letras minúsculas iguais representam taxas estatísticas iguais.

**Tabela 4 - Análise estatística de comparação entre as médias de cor aparente e DQO.**

Tratamentos	Remoção de cor aparente (%)	Remoção de DQO média (%)



PAC 18 (T1)	77,13 b	88,59 a
Profloc C 2093 (T2)	92,69 a	95,15 a
PAC 12 (T3)	89,6 ab	93,59 a
Profloc P60 (T4)	82,15 ab	90,7 a
Superfloc (T5)	79,36 b	88,33 a

Observa-se a partir da Tabela 4, que para a remoção de cor aparente o tratamento T2 apresentou a maior média de tratamento, com remoção de 92%, seguido do tratamento T3 e T4 que apresentam semelhança estatística significativa tanto com T2, quanto com T1 e T5.

Já para a remoção de DQO, tratamento T2 também apresentou o melhor desempenho, com uma taxa de remoção de 95%, porém observa-se que todos os demais tratamentos apresentam resultados estatísticos iguais.

## CONCLUSÕES

Após o uso da flotação seguido da filtração nota-se que os cinco coagulantes a base de policloreto de alumínio auxiliaram positivamente no tratamento do efluente proveniente de laticínio. Destaca-se que o tratamento com PROFLOC C 2093 utilizou a menor concentração da solução coagulante e obteve as melhores taxas de remoção para os parâmetros cor aparente e DQO. Pela análise estatística tem-se que a variação de velocidade no momento da coleta não apresentou significância estatísticas, pois não houve variação entre suas medias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA. Agência Nacional de Águas. Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil. Brasília: ANA, 2012.
2. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23ª ed. Washington, 2017 American Public Health Association. 1082p., 2017.
3. ARIANO, G. C. Coagulação, floculação e flotação do efluente de reatores anaeróbios, tratando esgoto sanitário, com aplicação de diferentes dosagens de coagulante em função da variação da turbidez do esgoto afluente ao longo do dia. 2009.193 f. Dissertação. (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, 2009.
4. BORGES, T. N.; COSTA, R. M.; GONTIJO, H. M. Caracterização do efluente de uma indústria de laticínios: proposta de tratamento. Research, Society and Development, v. 8, n. 1, p. e5081742, 1 jan. 2019.
5. BRASIL. (1997) Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília.
6. CAGLIARI, A. L. Padronização do uso de Policloreto de Alumínio e Poliacrilamida em uma ETA de Porto Alegre, 2018.
7. CONAMA, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, Resolução número 430, 13 de maio de 2011.
8. DANTAS, A. D. B.; DI BERNARDO, L; VOLTRAN, P. E. N. Sistema de Abastecimento de Água - Controle Básico de ETAs I – Coagulação: nível 2, Guia do profissional em treinamento – RECESA, 2008.
9. GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALES, V. G. Orientações para a utilização de Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. Set. 2005.
10. HENARES, J. F. CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE LATICÍNIO: análise e proposta de tratamento. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão, 2015.
11. NUNES, B. T.; COSTA, R. M.; MEDEIROS G. H. Caracterização do efluente de uma indústria de laticínios: proposta de tratamento. Research, Society and Development, vol. 8, núm. 1, 2019
12. PENETRA, R. G. Pós-tratamento físico-químico por flotação de efluentes de reatores anaeróbios de manta de lodo. p. 140, 1998.
13. SILVA, D. J. P., Resíduos na Indústria de Laticínios. Universidade Federal de Viçosa: Departamento de Tecnologia de Alimentos, 20 p. Viçosa, Minas Gerais, 2011



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO  
DE ENGENHARIA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL



14. SOARES, L. T. Avaliação da viabilidade técnica de utilização de Policloreto de Alumínio em comparação ao Sulfato de Alumínio em uma ETA no Rio Grande do Sul, 2020.
15. SCHOENHALS, MA. Avaliação da eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluentes de abatedouro avícola. *Engevista*, v. 16, p. 404–413, 2014.
16. THEODORO, J.D.P. Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano. 2012. 184f. Tese de Doutorado (Departamento de Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.