

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS  
CENTRO DE ENGENHARIAS  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA



Trabalho de Conclusão de Curso

**Análise do uso de coagulante orgânico na separação de cianobactéria do efluente de laticínios**

Louise Hoss

Pelotas, 2016

**LOUISE HOSS**

**Análise do uso de coagulante orgânico na separação de cianobactéria do efluente de laticínios**

Trabalho acadêmico apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana da Silva Manetti

Pelotas, 2016

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação na Publicação

H829a Hoss, Louise

Análise do uso de coagulante orgânico na separação de cianobactéria do efluente de laticínios / Louise Hoss ; Adriana Gonçalves da Silva Manetti, orientadora. — Pelotas, 2016.

46 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) — Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, 2016.

1. Tratamento de efluentes. 2. Efluentes agroindustriais. 3. Microalgas. 4. Aphanothece. 5. Coagulante orgânico. I. Manetti, Adriana Gonçalves da Silva, orient. II. Título.

CDD : 628

Banca examinadora:

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana da Silva Manetti - Centro de Engenharias/UFPel - Orientadora

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vanessa Sacramento Cerqueira - Centro de Engenharias/UFPel

Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Cláudia Fernanda Lemons e Silva - Centro de Engenharias/UFPel

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar minha graduação.

À minha orientadora, professora Adriana, por todo o conhecimento passado, a paciência e ajuda durante minha formação.

À todos os professores que, de alguma forma contribuíram para a minha formação acadêmica e pessoal.

À Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim e equipe, por cederem o espaço e colaborarem nas análises realizadas.

À empresa Tanac, pela amostra de tanino gentilmente enviada.

À minha família, por todo o apoio, carinho e dedicação, por acreditarem em mim e no meu futuro.

Agradeço à minha mãe, Carla, e meu padrasto, Fabiano, por toda a paciência, amor e compreensão, por ser um exemplo de força e perseverança.

Aos meus avós, Maray (in memoriam) e Zeno, e minha bisavó Theresinha, por sempre cuidarem de mim e torcerem pela minha conquista.

À Isabela e Anna, por serem as melhores amigas que eu poderia querer ter.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional durante a graduação.

## RESUMO

HOSS, Louise. **Análise do uso de coagulante orgânico na separação de cianobactéria do efluente de laticínios.** 2016. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

As indústrias de laticínios são responsáveis pela geração de efluentes com grande poder poluidor, os quais apresentam alta carga orgânica, sólidos suspensos e nitrogênio. Dentro deste contexto, as cianobactérias têm se mostrado agentes potencialmente úteis no tratamento de águas residuárias, uma vez que possuem a habilidade de remover matéria orgânica e nutrientes dos efluentes incorporando-os à biomassa. Porém, um dos maiores problemas na utilização de microalgas para a remoção de nutrientes é a sua recuperação do efluente tratado. As cianobactérias possuem um diâmetro pequeno ( $\leq 20 \mu\text{m}$ ). Esta característica, junto com o fato que a maioria das espécies possui a densidade específica ligeiramente maior do que a água, torna a sua separação difícil e onerosa. O uso de coagulantes entra como uma boa alternativa visando sua coagulação, em que irá interromper a estabilidade do sistema, com isso a sedimentação das células pode ser obtida. Com isso, o trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do coagulante tanino na separação de biomassa gerada no efluente da indústria de laticínios. Os cultivos foram conduzidos heterotróficamente usando o efluente de laticínios como meio de cultura em biorreatores de coluna de bolhas nas condições de inóculo de  $200 \text{ mg. L}^{-1}$ , pH ajustado a 7,6, reator isotérmico operando na temperatura de  $25^\circ\text{C}$  e tempo de detenção hidráulico de 8 h, C/N 20 e N/P 10. A definição da melhor condição para a separação da biomassa foi obtida, utilizando um planejamento experimental fatorial com três níveis ( $3^2$ ), com os fatores: concentração do coagulante ( $50 \text{ mg.L}^{-1}$ ;  $300 \text{ mg.L}^{-1}$ ;  $550 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e pH (6,0; 7,0; 8,0) realizados para os três coagulantes. Os ensaios foram realizados em Teste de Jarros, agitação rápida de 110 rpm/30s, lenta de 50 rpm/10s e tempo de sedimentação de 15 min. Foram consideradas como respostas: demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total Kjeldahl (N-NTK), turbidez e sólidos suspensos (SS). Nas condições estudadas a melhor condição indicada foi  $300 \text{ mg.L}^{-1}$  de tanino em pH 7,0 na separação da biomassa com eficiência de remoção de DQO, N-NTK, Turbidez e SS de até 90 %, 98 % e 95% e 94%, respectivamente.

Palavras-chave: tratamento de efluentes, efluentes agroindustriais, microalgas, *Aphanethece*, coagulante orgânico.

## **ABSTRACT**

HOSS, Louise. Analysis of the use of organic coagulant in the separation of cyanobacteria from dairy effluent, RS. 2016. 46f. Course Conclusion Paper (TCC). Graduation in Environmental and Sanitary Engineering. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The dairy industries are responsible for the generation of effluents with high polluting power, which have high organic load, suspended solids, nitrogen. In this context, cyanobacteria have been shown to be potentially useful agents in the treatment of wastewater, since they have the ability to remove organic matter and nutrients from the effluents by incorporating them into the biomass, but one of the major problems in the use of microalgae for Nutrient removal is the recovery of the treated effluent. Cyanobacteria have a small diameter ( $\leq 20 \mu\text{m}$ ). This feature, coupled with the fact that most species have a specific density slightly higher than water, makes their separation difficult and costly. The use of coagulants enters as a good alternative aiming at its coagulation, in which it will interrupt the stability of the system, with that the sedimentation of the cells can be obtained. The objective of this work was to evaluate the effect of tannin coagulant on the separation of biomass generated in the effluent from the dairy industry. The cultures were conducted heterotrophically using the dairy effluent as culture medium in bubble column bioreactors under 200 mg inoculum conditions. L-1, pH adjusted to 7.6, isothermal reactor operating at 25°C and hydraulic detention time of 8h, C / N 20 and N / P 10. The definition of the best condition for the separation of biomass was obtained, (50 mg L-1, 300 mg L-1, 550 mg L-1) and pH (6.0, 7.0, 8.0) performed for the three coagulants. The tests were carried out in Jar Test, rapid agitation of 110 rpm / 30s, slow of 50 rpm / 10s and sedimentation time of 15 min. Chemical oxygen demand (COD), Kjeldahl total nitrogen (N-NTK), turbidity and suspended solids (SS) were considered as responses. Under the conditions studied, the best indicated condition was 300 mg. L-1 of tannin at pH 7.0 in the separation of biomass with removal efficiency of COD, N-NTK, Turbidity and SS of up to 90%, 98% and 95% and 94%, respectively.

**Key words:** wastewater treatment, agroindustrial effluents, micro-algae, *Aphanethece*, organic coagulant.

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>12</b> |
| <b>1.1.1 Objetivo Geral .....</b>  | <b>14</b> |
| <b>1.1.2 Objetivo Específico.....</b>  | <b>14</b> |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>2.1 Efluentes agroindustriais .....</b>                                       | <b>16</b> |
| <b>2.1.1 Características de efluentes da indústria de laticínios .....</b>       | <b>16</b> |
| <b>2.2 Tratamento de efluentes de laticínios .....</b>                           | <b>19</b> |
| <b>2.3 Tratamento biológico com <i>Aphanothece microscopica</i> Nägeli .....</b> | <b>23</b> |
| <b>2.4 Processo de coagulação e flocação.....</b>                                | <b>24</b> |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>   | <b>27</b> |
| <b>3.1 Obtenção do efluente.....</b>   | <b>27</b> |
| <b>3.2 Preparo do inóculo.....</b>   | <b>27</b> |
| <b>3.3 Tratamento Biológico com <i>Aphanothece</i>.....</b>                      | <b>28</b> |
| <b>3.4 Tratamento com coagulante.....</b>  | <b>28</b> |
| <b>3.4.1 Experimentos em Teste de Jarros .....</b>                               | <b>28</b> |
| <b>3.4.2 Planejamento experimental .....</b>                                     | <b>29</b> |
| <b>3.5 Avaliação dos resultados .....</b>  | <b>31</b> |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>32</b> |
| <b>4.1 Caracterização do efluente.....</b>                                       | <b>32</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>4.2 Eficiências de remoção dos parâmetros avaliados utilizando coagulante tanino .....</b> | <b>34</b> |
| <b>5. CONCLUSÃO.....</b>  | <b>43</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>44</b> |

## **LISTA DE FIGURAS**

|   |    |
|---|----|
| Figura 1- Gráfico de Pareto para as respostas eficiências de remoção dos parâmetros avaliados ( $p \leq 5\%$ )..... | 39 |
| Figura 2- Linhas de contorno para a eficiência de remoção de DQO utilizando tanino .....                            | 41 |
| Figura 3- Linhas de contorno para a eficiência de remoção de turbidez utilizando tanino .....                       | 41 |
| Figura 4- Linhas de contorno para a eficiência de remoção de SS utilizando tanino                                   | 41 |

## **LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Características médias dos efluentes líquidos industriais de diferentes unidades industriais de laticínios..... | 18 |
| Tabela 2 – Composição do meio de cultura BG-11.....  | 28 |
| Tabela 3- Matriz do planejamento experimental.....   | 30 |
| Tabela 4 - Características do efluente de laticínios utilizado nos experimentos.....                                       | 32 |
| Tabela 5 – Concentração dos parâmetros analisados após coagulante tanino. ....   | 35 |
| Tabela 6 - Eficiência de remoção dos parâmetros avaliados utilizando tanino .....  | 36 |
| Tabela 7- Modelos de regressão para as variáveis respostas .....   | 40 |

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

DQO Demanda Química de Oxigênio

SS Sólidos Suspensos

N-NTK Nitrogênio Total Kjedhal

mg.L<sup>-1</sup> miligramas por litro

µm micrômetros

## 1. INTRODUÇÃO

Os efluentes industriais são oriundos dos mais diversificados processos de industrialização. Eles têm sido, ao longo do tempo, um importante fator de degradação ambiental, pois o seu despejo, tanto nos corpos hídricos quanto na rede de esgoto a ser tratada, sem o devido tratamento prévio, provoca sérios problemas sanitários e ambientais (ARCHELA et al., 2003).

O tratamento de efluentes é uma das mais importantes questões ambientais no que diz respeito ao atendimento da legislação e à proteção ao meio ambiente. Apesar de evoluindo, a falta de recursos para investimentos, as políticas oficiais de inovação tecnológica - que parecem não considerar a realidade das micro e pequenas empresas brasileiras, entre outras questões, são entraves que fazem com que o setor de tratamento de efluentes no Brasil ainda deixe muito a desejar (ANDRADE & SARNO, 1990).

Dentre as atividades industriais, o setor de alimentos se destaca por um grande consumo de água e uma maior geração de efluentes por unidade produzida, além de gerar um grande volume de lodo nas estações com tratamento biológico (RAMJEAWON, 2000). Apesar de representarem uma importante atividade econômica, as indústrias de laticínios são responsáveis pela geração de efluentes líquidos com alto potencial poluidor (ANDRADE, 2011). O tratamento desses efluentes conta, geralmente, com uma etapa preliminar, para remoção de sólidos grosseiros, um tratamento primário, para remoção de sólidos suspensos e gorduras, e um tratamento secundário, que reduz a carga orgânica do efluente, sendo este tratamento na maioria das vezes biológico, feito com o uso de microrganismos (FEAM, 2014).

O uso de cianobactérias e microalgas no tratamento de efluentes é uma alternativa técnico-econômica potencial em relação aos sistemas convencionais de tratamento secundário e terciário de efluentes (ZEPKA et al., 2010). A existência de uma carga superficial negativa em muitas cianobactérias resulta em alta afinidade com íons de metais pesados, o que torna estes microrganismos especialmente efetivos na remoção desses componentes (VOLTOLINA et al., 1998; BASHAN et al., 2002; MOHAN et al., 2005). O uso destes microrganismos tem a vantagem de não gerar poluição adicional, uma vez que a biomassa pode ser separada e utilizada como suplemento alimentar, além de permitir uma eficiente reciclagem dos nutrientes (CRAGGS et al., 1997). Além disso, são fixadoras de N<sub>2</sub> e usadas para a recuperação de solos improdutivos e alcalinos, como adubo orgânico e para cultivo em solo encharcado de arroz (BABU et al., 2001).

Um dos problemas na utilização de microalgas para a remoção de nutrientes é a sua recuperação do efluente tratado, pois as células de cianobactérias possuem um diâmetro pequeno (< 20 µm). Esta característica, junto com o fato que a maioria das espécies possui a densidade específica ligeiramente maior do que a água torna a sua separação difícil. Uma maneira de resolver este problema é mediante o uso de coagulantes/floculantes, podendo ser separadas por sedimentação ou floculação, ou então a utilização de tecnologia de imobilização, na qual os microrganismos são fixados em uma matriz, o que impede o arraste da biomassa nos biorreatores facilitando a separação (LALIBERTÉ et al., 1997; CRAGGS et al., 1997; BASHAN et al., 2002).

De acordo com Molina-Grima et al. (2003), a coagulação/flocação é um eficiente processo de pré tratamento de efluentes, bem como de separação da

biomassa gerada de efluentes tratados por microalgas. Tem como base a adição de compostos químicos inorgânicos ou de polímeros de natureza orgânica no efluente a ser tratados, ou após tratamento, neste caso com o propósito de separar a biomassa. Estes compostos são capazes de induzir a agregação de células microalgais e materiais em suspensão, os quais se aderem à superfície coloidal, provocando a aglomeração das partículas (CHEN et al., 2006; SILVA-MANETTI, 2009; SILVA MANETTI, 2013).).

Os coagulantes orgânicos têm sido utilizados como alternativa aos inorgânicos para produção de água potável visando a melhoria dos processos de tratamento, resultando a redução do lodo gerado e ausência de metais aumentando a perspectiva do aproveitamento da biomassa e da água tratada (CHO et al., 2011; RIAÑO et al., 2012). Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do coagulante tanino na separação da biomassa de *Aphanethece microscopica* Nägeli gerada no tratamento do efluente da indústria de laticínios.

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral do trabalho foi avaliar o efeito do coagulante orgânico tanino na separação da biomassa de *Aphanethece microscopica* Nägeli gerada no tratamento do efluente da indústria de laticínios.

### **1.1.2 Objetivo Específico**

- Caracterizar o efluente da indústria de laticínios.

- Verificar a eficiência de remoção de *Aphanethece microscopica* Nägeli nos parâmetros DQO, SS, N-NTK e turbidez.
- Analisar o efeito da concentração de coagulante e o pH na remoção de DQO, SS, N-NTK e turbidez.
- Obter a melhor concentração do coagulante e pH do meio.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Efluentes agroindustriais

Os efluentes agroindustriais são gerados no processamento de alimentos, por exemplo, em laticínios e matadouros, indústria de curtume, produção de açúcar e álcool, etc., tendo geralmente produção sazonal, de acordo com a maturidade da cultura ou oferta da matéria-prima. A geração desses efluentes podem ser através da lavagem do produto, escaldamento, cozimento, pasteurização, resfriamento e lavagem do equipamento de processamento e das instalações (MATOS, 2005).

Efluentes gerados no processamento de produtos animais tem alto poder poluidor, podendo ter em sua composição gordura, sólidos orgânicos e inorgânicos, além de substâncias químicas que podem ser adicionadas durante as operações de processamento, enquanto que efluentes gerados no processamento de produtos de origem vegetal podem conter, além de elevada carga orgânica, outros poluentes como solo, restos de vegetais e pesticidas. O lançamento desses efluentes em corpos hídricos pode proporcionar grande decréscimo na concentração de oxigênio dissolvido nesse meio, cuja magnitude depende da concentração de carga orgânica e da quantidade lançada, além da vazão do curso d'água receptor (MATOS, 2005).

#### 2.1.1 Características de efluentes da indústria de laticínios

As indústrias de laticínios são consideradas, dentre as indústrias alimentícias, as mais poluentes, devido ao seu elevado consumo de água e geração de efluentes líquidos, que por sua vez, constituem a principal fonte de poluição dessa tipologia de indústria (VOURCH *et al.*, 2008).

Os efluentes são gerados durante diversos processos dentro da indústria de laticínios, principalmente por perdas no processo produtivo, descartes de subprodutos ou produtos rejeitados, derrames devido a falhas na operação, lavagem e limpeza dos tanques de transporte do leite, tubulações, tanques de processo, pasteurizador e padronizadora, pisos e demais equipamentos envolvidos direta ou indiretamente no processo produtivo (FEAM, 2014). Esses processos demandam grandes quantidades de água, gerando então grandes volumes de efluentes, podendo resultar para cada litro de leite processado a geração de até onze litros de efluente (BRIÃO, 2000; MARKOU & GEORGAKAKIS, 2011).

As características dos efluentes variam de acordo com as atividades de industrialização do leite, conforme mostra a Tabela 1.

**Tabela 1** – Características médias dos efluentes líquidos industriais de diferentes unidades industriais de laticínios

| <b>Unidade industrial</b>                    | [DBO]<br>(mg/L) | Carga<br>específica de<br>DBO (kg<br>DBO/m <sup>3</sup> ) | Equivalente populacional<br>(equivalente hab./leite<br>processado) |
|--|-----------------|---|--|
| <b>Posto de recepção</b>                     |                 |   |  |
| <b>e resfriamento de<br/>leite</b>           | 600 – 1200      | 1,2   | 2,4  |
| <b>Empacotamento<br/>de leite e manteiga</b> | 800 – 1600      | 3,0   | 60   |
| <b>Queijaria</b>                             | 3000 – 6000     | 18,0  | 368  |
| <b>Logurte</b>                               | 1500 – 3500     | 5,0   | 100  |
| <b>Torre de secagem<br/>de leite</b>         | 600 – 1200      | 1,3   | 27   |

Fonte: FEAM, 2014

Efluentes de laticínios são compostos principalmente por proteínas, dentre as quais se ressalta a caseína, carboidratos, principalmente lactose, gorduras, sólidos suspensos, nitrogênio, fósforo e alguns poluentes inorgânicos (BRITZ *et al.*, 2008).

Os sólidos suspensos são derivados de coágulos de leite, finos de queijo ou outros aditivos. A presença de nitrogênio está relacionada com a alta concentração

de proteínas, enquanto o fósforo é proveniente do uso de ácido fosfórico e detergentes na lavagem de instalações (ANDRADE, 2011).

Em relação aos compostos inorgânicos, estudos relatam a presença de, principalmente, sódio, potássio, magnésio, cobalto, ferro e cálcio, além de cobre, níquel e zinco em níveis não prejudiciais aos tratamentos biológicos. É observado que concentrações particularmente altas de sódio indicam o uso de grandes quantidades de hidróxido de sódio como agente de limpeza (DEMIREL *et al.*, 2005).

A lactose e as proteínas são consideradas facilmente biodegradáveis, embora algumas proteínas presentes no leite, como a caseína, sejam mais resistentes ao tratamento biológico (ORHON *et al.*, 1992). Em contrapartida, a degradação das gorduras é mais lenta, e pode ser considerada um fator limitante nos tratamentos biológicos (ANDRADE, 2011).

## **2.2 Tratamento de efluentes de laticínios**

O controle e tratamento dos efluentes líquidos industriais devem contemplar uma sequência de operações unitárias e processos constituídos basicamente por três subsistemas: um tratamento preliminar, para separação de sólidos grosseiros carreados nos despejos, um tratamento primário, onde são removidos sólidos em suspensão e gorduras, com a consequente redução na concentração de DBO e um tratamento secundário, onde ocorrerá a redução da matéria orgânica, através de processos biológicos, propostos como última etapa do tratamento (FEAM, 2014).

Como pré-tratamento dos efluentes de laticínios, geralmente é empregado gradeamento para remoção de sólidos grosseiros, tais como resíduos de

embalagens, pequenos fragmentos de pedras e coágulos de leite. No caso de fábricas onde o período de trabalho não é integral ou onde os efluentes são gerados apenas em alguns momentos do dia, os tanques de equalização também são adotados. Nesses tanques também pode ocorrer a correção de pH, que dependendo das estratégias de limpeza aplicadas, pode variar de 1,6 a 14,0 (BRITZ *et al.*, 2008).

Após o tratamento preliminar, é realizado o tratamento primário, onde usualmente são empregadas as etapas de decantação, filtração, coagulação/flocação e/ou flotação com ar comprimido ou com ar dissolvido, sendo a flotação talvez o processo mais usual (BRAILE e CAVALCANTI, 1993; BRITZ *et al.*, 2008).

Nesse processo são separadas partículas sólidas ou líquidas da fase líquida, através da injeção de pequenas bolhas de ar no efluente. As bolhas se aderem às partículas e a força ascendente do conjunto partícula-bolha faz com que as partículas subam até a superfície. Desta forma, faz-se ascender até a superfície partículas de densidade maior que a do líquido. Esse sistema é utilizado tanto na separação de sólidos suspensos quanto para a redução da concentração de gorduras, tendo vantagens sobre o sistema convencional (caixa de gordura) como a eficiência de separação do material sobrenadante e economia de área.

Como esse é um efluente com elevada concentração de matéria orgânica biodegradável, como tratamento secundário o tratamento biológico é o mais utilizado e os processos aeróbios são os mais frequentes, destacando-se os lodos ativados, filtros biológicos e lagoas aeradas (BRAILE e CAVALCANTE, 1993; PEIRANO, 1995), embora ultimamente o uso de processos anaeróbios venha aumentando (CAMMAROTA e FREIRE, 2006).

O tratamento por lodos ativados pode se dar de modo convencional ou por fluxo intermitente (sistema em bateladas). O modo convencional consiste em uma unidade de aeração, uma unidade de decantação e uma elevatória de recirculação de lodos. No tanque de aeração, as bactérias crescem aproveitando a DBO do efluente, cuidando-se para que a população microbiana não cresça em excesso, o que dificultaria a transferência de oxigênio para todas as células. Para manter o sistema em equilíbrio, é necessário que se retire aproximadamente a mesma quantidade de biomassa que é aumentada por reprodução. Este é, portanto, o lodo biológico excedente, que pode ser extraído diretamente do reator ou da linha de recirculação. O lodo excedente após desidratação pode ser enviado para disposição final adequada, em solos de utilização agrícola ou aterros licenciados (FEAM, 2014).

O processo de lodos ativados em batelada consiste em unir todas as operações em um único tanque, onde há um reator de mistura completa onde acontecem todas as etapas do tratamento. Isto é conseguido através do estabelecimento de ciclos de operação com durações definidas. Assim, são sucedidas as etapas de enchimento, aeração, sedimentação, esvaziamento e repouso (FEAM, 2014).

Constam na literatura eficiências de remoção de DBO em sistemas de lodos ativados para tratamento de efluentes de laticínios entre 73 e 99%. A concentração de biomassa no tanque de aeração normalmente se encontra entre 3.000 e 4.000 mg/L e o tempo de detenção hidráulica (TDH) médio usado é de 7 horas (BRAILE e CAVALCANTI, 1993).

As lagoas aeradas geralmente operam com TDH de 3 a 6 dias e, embora a variação de carga e algum grau de toxicidade do efluente possam ser minimizados

pelo grande volume da lagoa, os parâmetros de lançamento nem sempre são atendidos, além de existirem problemas associados com perdas de substratos tóxicos por volatilização, controle de odores, proliferação de insetos, crescimento de vegetais e elevada concentração de algas. Outro problema desse processo é a necessidade da retirada periódica do lodo do fundo da lagoa ou ainda a instalação de um decantador secundário para melhorar a clarificação do efluente final (MORAIS, 2005).

Os filtros biológicos percoladores podem reduzir em até 65% a DBO desses efluentes (BRAILE e CAVALCANTE, 1993). Devido à possibilidade de bloqueio dos espaços entre os suportes por gorduras e/ou precipitação de sais, não é recomendável a operação com altas cargas orgânicas volumétricas, devendo ser utilizado valores próximos a 0,30 kg DBO/m<sup>3</sup> como referência (BRITZ *et al.*, 2008).

Os sistemas anaeróbios apresentam vantagens como baixos requisitos energéticos devido à dispensa de aeração, baixos custos de implantação, baixa produção de sólidos, produção de biogás que pode ser utilizado como fonte para geração de energia e aplicabilidade em pequena e grande escala (DEMIREL *et al.*, 2005; MENDES *et al.*, 2006). Entretanto esse tipo de processo é muitas vezes encarado como um tratamento parcial, uma vez que geralmente são obtidas eficiências de remoção de matéria orgânica de apenas 50% para TDHs de quatro dias (BRAILE e CAVALCANTI, 1993), embora alguns autores reportem eficiências maiores (DEMIREL *et al.*, 2005).

## 2.3 Tratamento biológico com *Aphanothece microscopica* Nägeli

O tratamento de efluentes com cianobactérias é um processo que apresenta diversas vantagens, como tratar efluentes e gerar produtos celulares de interesse, sendo essa uma alternativa viável que está sendo estudada (TAM & WRONG, 2000; QUEIROZ et al., 2004; QUEIROZ et al., 2006a; b QUEIROZ et al., 2007, 2007a,b,c; ZEPKA et al., 2010; SILVA-MANETTI et al., 2011).

Os resíduos agroindustriais apresentam características adequadas para suportar os cultivos de cianobactérias, além da elevada concentração de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, que resultam geralmente em razões CN e NP adequadas, apresentam compostos de fácil assimilação, e geralmente ausência de compostos tóxicos ou inibidores de crescimento. As cianobactérias são capazes de assimilar formas nitrogenadas orgânicas e inorgânicas, como aminoácidos e ureia (FLORES E HERRERO, 1994).

Embora apresentem a fotossíntese como modelo metabólico preferencial, as cianobactérias são capazes de realizar o metabolismo heterotrófico no escuro, consumindo moléculas orgânicas solúveis tais como açúcares, ácidos orgânicos e acetato (DUMAS et al., 1998; QUEIROZ et al., 2002; BASTOS et al., 2004; JACOBLOPES et al., 2006; QUEIROZ et al., 2007; ZEPKA et al., 2008; ZEPKA et al., 2010; PEREZ-GARCIA et al., 2011; PEREZ-GARCIA et al., 2011a).

As vantagens da utilização de microalgas e cianobactérias na remoção de fósforo e nitrogênio incluem o baixo custo de operação e a possibilidade de aproveitamento dos nutrientes incorporados na biomassa das algas, evitando o

problema de tratamento do lodo e descarga dos efluentes em corpos d'água (Aslan e Kapdan,2006).

A cianobactéria *Aphanothecce microscopica* Nägeli, que possui grande ocorrência no sul do Brasil, tem sido amplamente estudada para valoração de resíduos agroindustriais, tendo demonstrado grande potencial de remoção de DQO e nitrogênio (BASTOS *et al.*,2010).

Uma série de trabalhos tem demostrado a eficiência de remoção de nutrientes por esta cianobactéria em diferentes condições de cultivo. Experimentos em condições fotossintéticas, utilizando como meio de cultivo outros efluentes, como o do processamento de milho, pêssego e figo foram desenvolvidos por Silva et al., 2005. Neste trabalho foram registradas eficiências de remoção de 42,1 % de DQO e 58,5 % de nitrogênio total, 53,7 % para DQO e de 73,2 %, respectivamente.

Sob outra perspectiva, segundo Queiroz et al. (2002) esta cianobactéria é capaz de se desenvolver no escuro a partir da matéria orgânica presente no efluente. Estes autores avaliaram a remoção de nutrientes do efluente da parboilização do arroz por estes micro-organismos na ausência de luz, registrando remoções de 97,67 % de matéria orgânica e 90,37 % de nitrogênio em tempo de detenção celular de 15 h, inóculo de 300 mg.L<sup>-1</sup> e temperatura de 25°C (SILVA-MANETTI *et al.*, 2011).

## 2.4 Processo de coagulação e floculação

O processo de coagulação e floculação visa aglomerar em partículas maiores as impurezas que se encontram em suspensão (ou em estado coloidal) e algumas

que se encontram dissolvidas, de modo que possam ser removidas por decantação ou filtração.

No processo de aglomeração podem ocorrer duas ações distintas: uma desestabilização gerada pela adição produtos químicos, os coagulantes, onde são neutralizadas as forças elétricas superficiais e são anuladas as forças repulsivas, denominado processo de coagulação.

Pode ocorrer também o processo de floculação, onde são aglomerados coloides neutralizados até a formação de flocos mais densos que sedimentam a uma velocidade adequada, facilitada pela agitação suave, para facilitar a aglomeração dos flocos (CARDOSO, 2003).

O processo de coagulação-floculação não pode ser utilizado como tratamento único em efluentes que contém compostos persistentes, por sua característica de não degradar os compostos, e sim apenas os transferir de fase (GENENA, 2009).

Os agentes coagulantes normalmente utilizados são sais de ferro e alumínio, como o sulfato férrico ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ), o cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) e sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ). Apesar de amplamente utilizado, o sulfato de alumínio gera, ao final do processo, lodo com concentrações elevadas de alumínio, e pode deixar remanescentes na água tratada.

Uma alternativa ao uso de coagulantes químicos é a utilização de coagulantes orgânicos durante o processo. Vários estudos têm sido realizados sobre a utilização destes coagulantes poliméricos em substituição dos coagulantes químicos, com o objetivo de melhorar o processo, reduzir o lodo gerado e eliminar a presença de metais do mesmo (MORAES, 2004).

Dentre os coagulantes orgânicos, destacam-se os derivados de taninos, que têm mostrado eficiência no tratamento de efluentes e águas para consumo humano. Estes são descritos como moléculas fenólicas biodegradáveis com capacidade de formar complexos com proteínas e outras macromoléculas e minerais (CASTRO-SILVA et al., 2004). Além disso, possui afinidade com íons metálicos e corantes dispersos nos efluentes industriais. Estas afinidades são atribuídas a seus grupos funcionais, como carboxílicos, álcoois éteres e anéis aromáticos (PARK & YOON, 2009; BELTRAN-HEREDIA, 2010; FARIZOGLU & UZUNER, 2011; DOLPHEN et al., 2011; LUO et al., 2012).

O tanino é extraído da casca de vegetais como a Acácia Negra (*Acacia decurrens*), e atua em sistemas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre essas partículas, sendo este processo responsável pela formação dos flocos e posterior sedimentação. Como sua característica, o tanino não altera o pH da água tratada, uma vez que não consome a alcalinidade do meio, sendo efetivo em uma ampla faixa de pH, de 4,5 a 8,0 (MARTINEZ, 1996; MARTINEZ et al., 1997).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Obtenção do efluente**

O efluente foi coletado após o tanque de equalização do sistema de tratamento de uma empresa processadora de laticínios da cidade de Pelotas – RS. O efluente foi caracterizado quanto aos parâmetros: turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos e nitrogênio total Kjeldahl de acordo com os procedimentos descritos em métodos padrão para análise de águas e efluentes (APHA, 2005). A turbidez foi medida em turbidímetro da marca Termo Orion, modelo Aquafast II.

#### **3.2 Preparo do inóculo**

Os cultivos de *Aphanethece microscopica* Nägeli foram realizados em meio BG-11 (Braun – Grunow Medium) (RIPPKA et al., 1979), a 25°C, pH 7,8, fotoperíodo de 12 h e 2000 lux de luminosidade (QUEIROZ, et al., 2004). Determinou-se gravimetricamente a concentração celular através da filtração de volume conhecido de meio de cultura, na fase exponencial de crescimento, em filtro de diâmetro 0,45 µm, seco a 60°C por 24 horas.

A composição do meio BG-11 pode ser observada na Tabela 2.

**Tabela 2 – Composição do meio de cultura BG-11**

| Componentes  | Concentração<br>(g. L <sup>-1</sup> ) |
|--|---------------------------------------|
| K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> . 3H <sub>2</sub> O  | 0,04                                  |
| MgSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O                | 0,075                                 |
| Na <sub>2</sub> EDTA                                 | 0,001                                 |
| H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>                       | 2,86                                  |
| MnCl <sub>2</sub> . 4H <sub>2</sub> O                | 1,81                                  |
| ZnSO <sub>4</sub> . 7H <sub>2</sub> O                | 0,222                                 |
| Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> . 2H <sub>2</sub> O | 0,39                                  |
| CuSO <sub>4</sub> . 5H <sub>2</sub> O                | 0,079                                 |
| CaCl <sub>2</sub> . 6H <sub>2</sub> O                | 0,04                                  |
| Ácido cítrico  | 0,006                                 |
| Citrato férrico e amônio                             | 0,006                                 |
| NaNO <sub>3</sub>                                    | 15                                    |
| pH   | 7,4 – 7,6                             |

Fonte: RIPPKA et al., 1979

### 3.3 Tratamento Biológico com *Aphanothecce*

Os experimentos foram conduzidos em reator com capacidade de 4,5 L, contendo o efluente de laticínios, em sistema descontínuo de mistura perfeita, com inóculo em torno de 200mg/L de células de *Aphanothecce*. Um volume de cultura equivalente ao requerido foi separado do sobrenadante através de sedimentação e transferido para o reator sob aeração constante (1VVM), pH 7,8, 25°C, ausência de luminosidade, razão C/N ajustada a 20, ajustada com glicose e N/P 10 com fosfato dissódico e tempo de detenção hidráulico de 8 horas (HORNES & QUEIROZ, 2004).

### 3.4 Tratamento com coagulante

#### 3.4.1 Experimentos em Teste de Jarros

Ensaios de coagulação/flocação foram realizados em Teste de Jarros (Jar-Test Milan – JT 101 model) com seis jarros (copos com capacidade de 2000 mL, altura de 19 cm e largura de 12,5 cm). O pH foi ajustado utilizando ácido clorídrico e

hidróxido de sódio. A coagulação/flocação e eficiência na remoção de turbidez, DQO, N-NTK e SS foram avaliadas com o coagulante tanino (Tanfloc-SG, Tanac), polímero catiônico, obtido por meio de um processo de lixiviação da casca da acácia negra, constituído basicamente de tanato quaternário de amônia, certificado pela *National Saneament Federal – USA* (TANAC, 2008). As análises foram realizadas de acordo com APHA, 2005. A turbidez foi medida em turbidímetro da marca Termo Orion, modelo Aquafast II.

Os ensaios foram realizados com agitação rápida de 110 rpm durante 30 segundos, seguida de etapa lenta com velocidade de 50 rpm durante 10 segundos e tempo de sedimentação de 15 minutos. A suspensão foi mantida em repouso para que ocorresse a sedimentação dos flocos e após 15 minutos foi determinada a qualidade do líquido clarificado em função das características químicas do efluente (SILVA, et al., 2009; SILVA-MANETTI, et al., 2011).

### **3.4.2 Planejamento experimental**

Os ensaios de coagulação/flocação da biomassa de *Aphanethece microscopica* Nägeli foram realizados segundo um planejamento fatorial completo  $3^2$  resultando em 27 ensaios em triplicata. Os fatores em estudo foram concentração do coagulante e pH do efluente em três níveis (SILVA-MANETTI, et al., 2011). Foi utilizado o coagulante tanino (Tanfloc-SG, Tanac). Foi avaliado o efeito destas variáveis sob a remoção de DQO, N-NTK, SS e turbidez. Os níveis e variáveis dos valores reais e codificados para o coagulante estudado são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3- Matriz do planejamento experimental**

| Experimento | Valores reais e codificados |                |
|-------------|-----------------------------|----------------|
|             | X <sub>1</sub>              | X <sub>2</sub> |
| 1           | -1 (50)                     | -1 (6,0)       |
| 2           | 0 (300)                     | -1 (6,0)       |
| 3           | +1 (550)                    | -1 (6,0)       |
| 4           | -1 (50)                     | 0 (7,0)        |
| 5           | 0 (300)                     | 0 (7,0)        |
| 6           | +1 (550)                    | 0 (7,0)        |
| 7           | -1 (50)                     | +1 (8,0)       |
| 8           | 0 (300)                     | +1 (8,0)       |
| 9           | +1 (550)                    | +1 (8,0)       |

X<sub>1</sub>: concentração de coagulante; X<sub>2</sub>: pH

Os efeitos de cada variável foram calculados de acordo com as respostas do planejamento experimental, e as interações entre elas foram determinadas.

As superfícies de respostas foram obtidas, através da definição de modelos empíricos, segundo a Equação 1.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2$$

**Equação 1**

Onde  $X_1$  e  $X_2$  são os níveis codificados das variáveis independentes;  $\beta$  é o coeficiente de regressão ( $\beta_0$ : intercepção;  $\beta_1$  e  $\beta_2$ : linear;  $\beta_{12}$ : interação e  $\beta_{11}$ ,  $\beta_{22}$ : coeficientes quadráticos.

A partir dos valores registrados será calculada a eficiência de remoção para cada tratamento mediante a Equação 2.

$$\text{Eficiência} = \left[ \frac{(EA - EAC)}{EA} \right] \times 100$$

### **Equação 2**

Onde:

EA: Efluente do tratamento por *Aphanothece*

EAC: Efluente tratado por *Aphanothece* e coagulante

### **3.5 Avaliação dos resultados**

Os dados foram analisados por regressão, o ajuste dos modelos polinomiais foi expresso pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e a eficiência estatística confirmada pelo teste F.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização do efluente

As características dos efluentes do processamento de laticínios dependem da planta de processamento e consequente unidades de processamento, resultando em um efluente com alta carga orgânica, lactose e sais minerais (VOURCH et al., 2008; MARKOU & GEORGAKAKIS et al., 2011; CHEN & LIU et al., 2012). Este fato é observado nos resultados expressos na Tabela 4, onde estão expressas as características do efluente bruto e após o tratamento com *Aphanothece*. Pode-se verificar a alta variabilidade nos valores obtidos para os parâmetros avaliados, principalmente ao que se refere a DQO, N-NTK e sólidos. O pH do efluente bruto encontrava-se entre 8,0 e 9,0.

**Tabela 4 - Características do efluente de laticínios utilizado nos experimentos**

| Parâmetros | Efluente bruto |       | *Efluente após trat. Biológico |       |
|------------|----------------|-------|--------------------------------|-------|
|            | Média          | C.V.  | Média                          | C.V.  |
| DQO        | 2949           | 24,25 | 455                            | 21,55 |
| N-NTK      | 49,48          | 20,45 | 6,95                           | 25,08 |
| Turbidez   | 178            | 12,75 | 315                            | 13,67 |
| SS         | 260            | 14,65 | 643                            | 11,65 |

Parâmetros em mg. L<sup>-1</sup> exceto turbidez (NTU); C.V.: coeficiente de variação (%); \*Efluente tratado por *Aphanothece*. Dados amostrais referentes há 6 meses.

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) determina a quantidade de oxigênio consumido durante a oxidação química da matéria orgânica. É um parâmetro amplamente utilizado quando se fala de poluição, por estar relacionado com a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), que é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica bioquimicamente. Este parâmetro pode indicar a perda de produto durante a produção e pode ainda servir de principal indicador de eficiência dos processos de tratamento (BRIÃO, 2000).

A análise de nitrogênio em efluentes é de grande importância, visto que a descarga de nutrientes em corpos hídricos causa a eutrofização dos mesmos. Estima-se que a descarga de 1kg de nitrogênio pode resultar na reconstrução de 16 kg de biomassa, o que corresponde a 20kg de demanda química de oxigênio no corpo receptor. Pode ainda ocorrer maior diminuição dos níveis de oxigênio, através de processos de nitrificação, onde são consumidos aproximadamente 4 kg de oxigênio dissolvido para cada 1 kg de amônia descarregada no corpo hídrico (CHERNICHARO, 2007).

Destaca-se, quanto aos valores de N-NTK máximo de 57,27 mg. L<sup>-1</sup> e mínimo de 26,05 mg. L<sup>-1</sup>, o fato destas concentrações serem baixas quando em comparação a outros efluentes agroindustriais, como o efluente da parboilização do arroz e da indústria da pesca (QUEIROZ et al., 1998; BASTOS et al., 2004; JACOB-LOPES et al., 2006; ZEPKA et al., 2007; QUEIROZ et al., 2011).

A turbidez é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar uma amostra de água, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral etc. O aumento da turbidez se dá pela erosão de

margens de rios e mau uso do solo, assim como pelo despejo de esgotos domésticos e industriais. Sua elevação ocasiona na redução da fotossíntese, podendo suprimir a produção de peixes, ou seja, pode influenciar as comunidades biológica aquáticas (CETESB, 2009).

#### **4.2 Eficiências de remoção dos parâmetros avaliados utilizando coagulante tanino**

Na Tabela 5 estão expressas as concentrações dos parâmetros estudados em cada experimento, conforme Tabela 3.

**Tabela 5 – Concentração dos parâmetros analisados após coagulante tanino.**

| *Experimentos | DQO (CV)    | N-NTK<br>(CV) | Turbidez<br>(CV) | SS<br>(CV) |
|---------------|-------------|---------------|------------------|------------|
| 1             | 189,2(9,96) | 0,325 (0,025) | 37(0,45)         | 120(5)     |
| 2             | 209 (9,96)  | 0,48 (0,075)  | 13(0,45)         | 73(2,5)    |
| 3             | 289 (10)    | 0,48 (0,075)  | 18(0,05)         | 238(2,5)   |
| 4             | 34,88(4,96) | 0,250 (0,05)  | 41((0,32)        | 275(10)    |
| 5             | 44,7 (4,96) | 0,10 (0,1)    | 15(0,16)         | 33(2,5)    |
| 6             | 229,1(9,92) | 0,38 (0,025)  | 24(0,16)         | 98(2,5)    |
| 7             | 129 (9,97)  | 0,450(0,05)   | 49(0,22)         | 108(2,5)   |
| 8             | 289 (9,96)  | 0,53(0,025)   | 12(0,29)         | 90(5)      |
| 9             | 209 (9,96)  | 0,48(0,025)   | 24(0,32)         | 138(2,5)   |

\*Experimentos: tratamentos realizados de acordo com a matriz do planejamento experimental (Tabela 3). Parâmetros em mg. L<sup>-1</sup> exceto turbidez (NTU). C.V.: coeficiente de variação (%). Médias obtidas da duplicita, para cada experimento.

Os coagulantes orgânicos são motivo de pesquisa de diferentes trabalhos no tratamento de efluentes agroindustriais, bem como a remoção de lodo gerado durante os tratamentos biológicos, por não causarem uma poluição adicional, substituindo os coagulantes tradicionais como o sulfato de alumínio ou cloreto férreo (TONDI et al., 2009; BELTRÁN-HEREDIA et al., 2010). Os taninos destacam-se por apresentarem habilidade de desestabilizar coloides aniônicos e resultarem em elevadas remoções de matéria orgânica (BELTRÁN-HEREDIA et al., 2010;

SÁNCHEZ-MARTÍN & BELTRÁN-HEREDIA, 2012; BELTRÁN-HEREDIA et al., 2010).

As eficiências de remoção foram calculadas de acordo com a Equação 2, e podem ser observadas na Tabela 6.

**Tabela 6 - Eficiência de remoção dos parâmetros avaliados utilizando tanino**

| Tratamentos | E-DQO | E-N-NTK | E-turbidez | E-SS |
|-------------|-------|---------|------------|------|
| 1           | 58    | 95      | 88         | 81   |
| 2           | 54    | 93      | 95         | 88   |
| 3           | 36    | 93      | 94         | 63   |
| 4           | 92    | 96      | 87         | 57   |
| 5           | 90    | 98      | 95         | 94   |
| 6           | 49    | 94      | 92         | 84   |
| 7           | 71    | 93      | 84         | 83   |
| 8           | 36    | 92      | 96         | 85   |
| 9           | 54    | 93      | 92         | 78   |

\*Tratamentos: de acordo com a matriz do planejamento experimental (Tabela 3); E-DQO: eficiência de remoção da demanda química de oxigênio (%); E-N-NTK: eficiência de remoção de nitrogênio total Kjeldahl (%); E-turbidez: eficiência de remoção de turbidez (%); E-SS: eficiência de remoção de sólidos suspensos (%).

É relatado que os polieletrólitos de alto peso molecular são geralmente melhores agentes para a neutralização das cargas elétricas e a alta concentração de biomassa na suspensão também ajuda a coagulação/flocação devido aos encontros frequentes entre células (BILANOVIC et al., 1988). Isto pode justificar as elevadas eficiências de remoção de DQO, turbidez e SS de até 90 %, 95 % e 94 %, respectivamente (Tabela 6).

Foram apresentadas também elevadas remoções de N-NTK (90 %). Este desempenho pode ser atribuído à disponibilidade, no polímero orgânico utilizado de sítios capazes de adsorver e neutralizar as partículas coloidais, desestabilizando-as (KAWAMURA, 1991; BELTRÁN-HEREDIA et al., 2010; SÁNCHEZ-MARTÍN & BELTRÁN-HEREDIA, 2012).

Os resultados indicam que a dosagem de 300 mg. L<sup>-1</sup> a pH 7,0, experimento 5, foi o mais apropriado, o que refletiu nas maiores eficiências de remoção dos parâmetros analisados, atingindo valores de 90 %, 98 %, 95 % e 94 % para os parâmetros DQO, N-NTK, turbidez e SS, respectivamente.

É de se salientar as importantes remoções de N-NTK e SS para qualquer condição experimental (Tabela 3). Estes resultados são bastante promissores, considerando que a literatura relata que os coagulantes naturais apresentam várias vantagens em relação aos coagulantes químicos por serem biodegradáveis e não tóxicos, e ainda produzirem lodo em menor quantidade e com menores teores de metais (KAWAMURA, 1991; BELTRÁN-HEREDIA et al., 2010; SÁNCHEZ-MARTÍN & BELTRÁN-HEREDIA, 2012).

A análise da Figura 1 (A a D) apresenta os efeitos e interações para a ação das concentrações de tanino e pH, na remoção dos parâmetros estudados.

Observa-se efeitos significativos a nível de 95 % de confiança para os parâmetros pH e concentração de coagulante, o que demonstra que estas variáveis são altamente influenciáveis, em todas as respostas consideradas.

Observa-se que o aumento da concentração de coagulante está relacionado ao aumento de biomassa sedimentada, uma vez que esta variável apresentou efeito positivo para quase todos os parâmetros analisados, em especial sob a resposta turbidez e SS, onde a concentração apresentou os maiores efeitos positivos. Isso evidencia que nos níveis superiores do planejamento, ou seja, nas concentrações dos níveis 0 ( $300 \text{ mg. L}^{-1}$ ) e +1 ( $550 \text{ mg. L}^{-1}$ ) as eficiências de remoção serão maiores. A exceção foi registrada para eficiências de remoção de DQO e N-NTK, em que apresentaram efeito negativo, indicando que para se obter as maiores eficiências de remoção destes parâmetros concentrações na ordem de  $50 \text{ mg. L}^{-1}$  (nível-1) e  $300 \text{ mg. L}^{-1}$  (nível 0) são as mais indicadas.

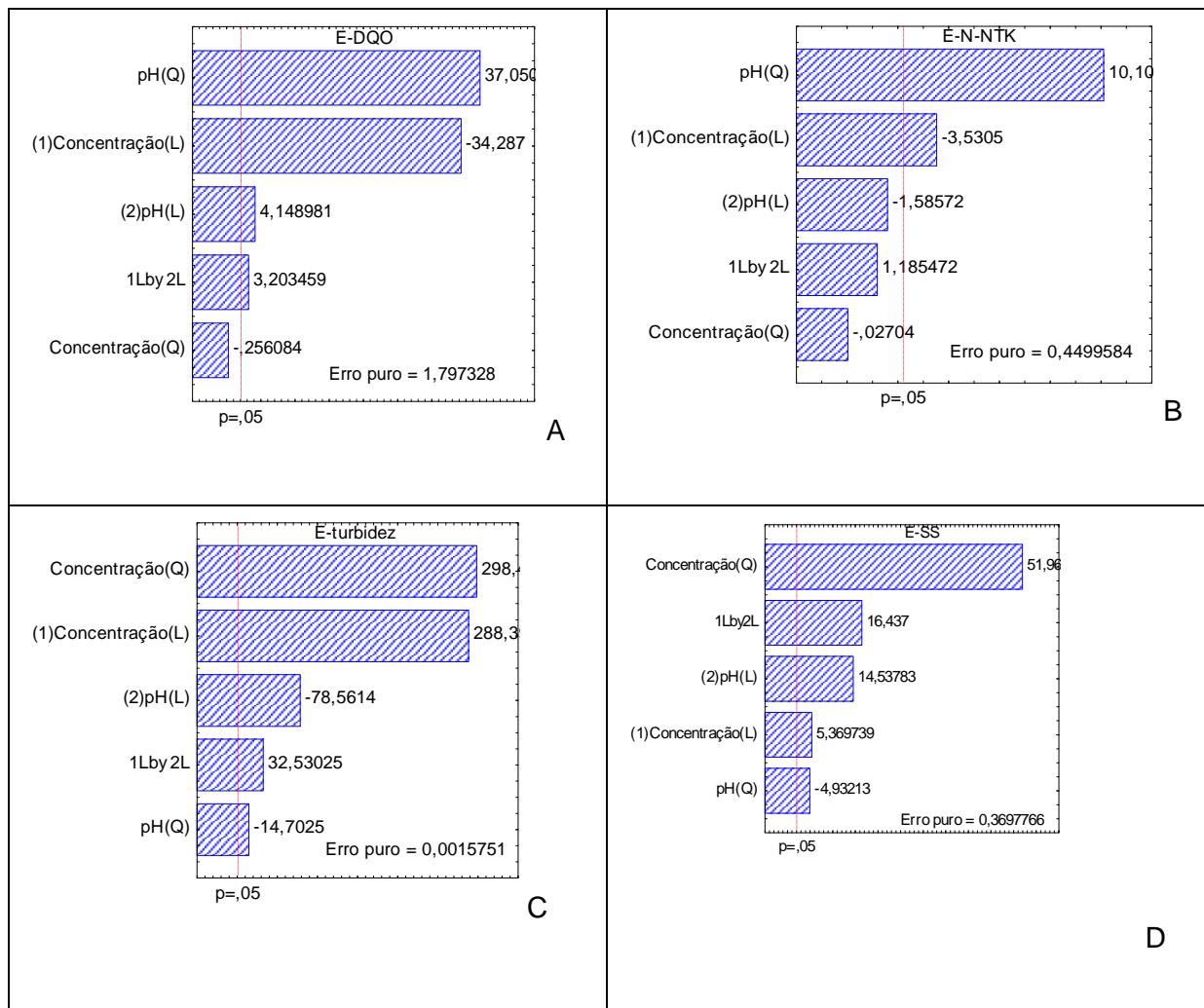


Figura 1- Gráfico de Pareto para as respostas eficiências de remoção dos parâmetros avaliados ( $p \leq 5\%$ )

A Tabela 7 apresenta os modelos polinomiais na forma codificada gerados a partir da análise de regressão para as respostas eficiência de remoção de DQO, N-NTK, turbidez e SS quando utiliza-se o tanino. Os modelos foram gerados a partir dos parâmetros estatisticamente significativos ao nível de 95 % de confiança para as respostas consideradas.

**Tabela 7- Modelos de regressão para as variáveis respostas**

| Modelos Codificados  | R <sup>2</sup> |
|--|----------------|
| E-DQO = 90,7574 - 21,4947.X <sub>1</sub> - 20,4100.X <sub>1</sub> <sup>2</sup> - 9,5510. X <sub>2</sub> - 0,95 Eq. 3<br>45,4171.X <sub>2</sub> <sup>2</sup> + 1,5184.X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> + 12,3379.X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> <sup>2</sup> + 16,7351.X <sub>1</sub> <sup>2X<sub>2</sub> +<br/>30,8724X<sub>1</sub><sup>2</sup>X<sub>2</sub><sup>2</sup></sup> |                |
| E-N-NTK = 99,2537 - 0,96782.X <sub>1</sub> - 3,42428.X <sub>1</sub> <sup>2</sup> - 6,82395.X <sub>2</sub> <sup>2</sup> + 0,99 Eq. 4<br>5,15003.X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>   |                |
| E-turbidez = 95,50693 + 3,30403.X <sub>1</sub> - 5,92190.X <sub>1</sub> <sup>2</sup> - 0,90005.X <sub>2</sub> + 0,97 Eq. 5<br>0,29175.X <sub>2</sub> <sup>2</sup> + 0,45645.X <sub>1</sub> .X <sub>2</sub>   |                |
| E-SS = 95,1105 + 14,1944.X <sub>1</sub> - 24,7698.X <sub>1</sub> <sup>2</sup> - 1,3318.X <sub>2</sub> - 7,4720.X <sub>2</sub> <sup>2</sup> + 0,97 Eq. 6<br>3,5338.X <sub>1</sub> .X <sub>2</sub> - 19,8777X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> <sup>2</sup> + 5,8256.X <sub>1</sub> <sup>2</sup> X <sub>2</sub> + 13,4574X <sub>1</sub> <sup>2</sup> X <sub>2</sub> <sup>2</sup>  |                |

X<sub>1</sub>: concentração de coagulante; X<sub>2</sub>: pH; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação

As Figuras de 2 a 4 apresentam as linhas de contorno elaboradas a partir dos modelos de regressão expressos na Tabela 7, os quais descrevem o comportamento da remoção de DQO, turbidez e SS em função dos fatores em estudo descritos pela matriz de planejamento experimental (Tabela 3).

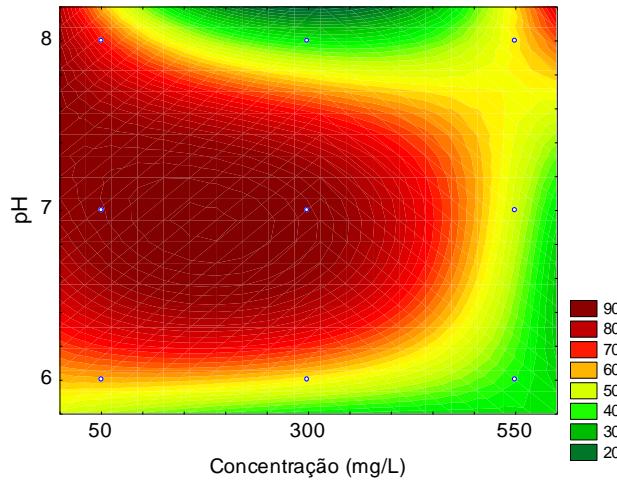


Figura 2- Linhas de contorno para a eficiência de remoção de DQO utilizando tanino

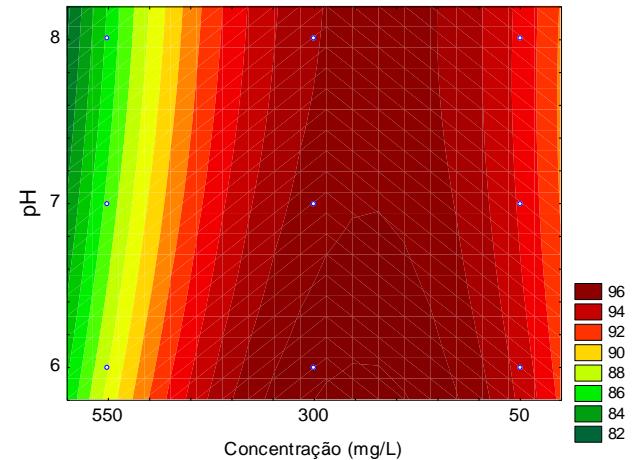


Figura 3- Linhas de contorno para a eficiência de remoção de turbidez utilizando tanino

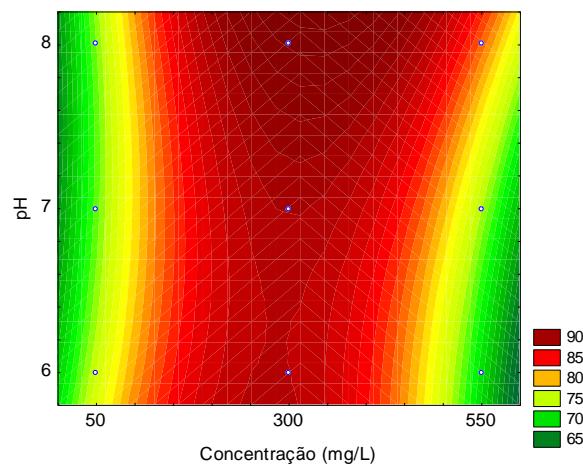


Figura 4- Linhas de contorno para a eficiência de remoção de SS utilizando tanino

Conforme já verificado na Figura 1, um dos fatores que interfere no processo de coagulação/flocação é o pH. A concentração dos íons hidrogênio não apenas controla as cargas das impurezas coloidais, mas também determina a natureza dos produtos formados (BELTRÁN–HEREDIA et al., 2010; SÁNCHEZ-MARTÍN &

BELTRÁN-HEREDIA, 2012). Assim, observa-se pela análise das Figuras de 2 a 5, que as maiores remoções dos parâmetros estudados ocorrem a pH 7,0 e 8,0, refletindo-se em altas eficiências de remoções. Quanto a análise das superfícies de contorno, é importante salientar ainda, que as maiores remoções ocorrem no nível intermediário do planejamento, nível zero (Tabela 3) quando se utiliza pH 7,0 e 300 mg. L<sup>-1</sup> de coagulante, para todas as variáveis independentes utilizadas.

## 5. CONCLUSÃO

Nas condições experimentais, foi possível concluir, que a concentração de coagulante e pH do efluente influenciam significativamente, ao nível confiança de 95% na separação da biomassa de *Aphanothece*.

O experimento que apresentou os melhores resultados foi o experimento 5, quando foi utilizado  $300 \text{ mg.L}^{-1}$  de coagulante em pH 7,0, em que se obteve eficiências de remoção de DQO, N-NTK, turbidez e SS de 90%, 98%, 95% e 94%, respectivamente.

A utilização de tanino é uma alternativa viável quando se visa o tratamento de efluente da indústria de laticínios, bem como separação da biomassa de *Aphanothece microscopica* Nägeli, contribuindo para um processo de tratamento mais limpo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, L. H. Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reuso (Dairy industry effluent treatment with two configurations of membrane bioreactors and nanofiltration aiming at reuse). 2011. Tese de Doutorado. Masters Thesis, Post-Graduation on Sanitary and Environmental Engineering, Federal University of Minas Gerais, Brazil.

ARCHELA, Edison et al. Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. GEOGRAFIA (Londrina), v. 12, n. 1, p. 517-526, 2010.

BAUR, L. Estudo e identificação de nitrogênio em efluentes de curtume. 2012.

BRIÃO, V. B; TAVARES, C.R.G. Geração de efluentes na indústria de laticínios: atitudes preventivas e oportunidades. 2005. Trabalho apresentado no 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, 2005.

BRIÃO, V. B. Estudo de Prevenção à Poluição de Resíduos Líquidos em uma Indústria de Laticínios. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá. Maringá/PR, 2000.

BRIÃO, V.B.; TAVARES, C.R.G. Ultrafiltração como processo de tratamento para o reuso de efluentes de laticínios. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 12, p. 134 - 138, 2007.

CARDOSO, M. Efeito do tipo de coagulante na produção de lodo de estação de tratamento de água. Florianópolis, Santa Catarina, 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina.

CIKOSKI, Ademir et al. Caracterização de efluentes gerados no processo agroindustrial: caso da indústria frigorífica. Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí-Universidade de Goiás, n. 11, p. 92-102, 2008.

COMPANHIA, DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo, 2009.

CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R.; BASSETTI, F. J. Estudo da viabilidade de utilização do polímero natural (TANFLOC) em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de águas para consumo. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION. 2009. p. 20-22.

DE LEMOS CHERNICHARO, C. A. Anaerobic reactors. IWA publishing, 2007.

DOLPHEN, R; THIRAVETYAN, P. Adsorption of melanoidins by chitin nanofibers. Chemical Engineering Journal, 166, 890 – 895, 2011.

FEAM. Guia técnico ambiental da indústria de laticínios. Minas Gerais, 2014. Disponível  
em: <[http://www.feam.br/images/stories/producao\\_sustentavel/GUIAS\\_TECNICOS\\_AMBIENTAIS/guia\\_laticinios.pdf](http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_laticinios.pdf).> Acesso em: 17 de jul. de 2016.

GENENA, Aziza Kamal et al. Tratamento de efluente agroindustrial contendo compostos persistentes por meio dos processos de coagulação-flocação, fenton, foto-fenton, foto-peroxidação e ozonização. 2009.

MATOS, A. T. Tratamento de resíduos agroindustriais. Viçosa: 2005. 9 p. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAAYNoAL/tratamento-residuos-agroindustriais> Acesso em: 18 de jul. de 2016.

PEREZ-GARCIA, O.; ESCALANTE, F. M. E.; DE-BASHAN, L. E.; BASHAN, E. Y. Heterotrophic cultures of microalgae: Metabolism and potential products. Water Research, v. 45, p. 11 - 36, 2011.

QUEIROZ, Maria Isabel et al. The kinetics of the removal of nitrogen and organic matter from parboiled rice effluent by cyanobacteria in a stirred batch reactor. Bioresource Technology, v. 98, n. 11, p. 2163-2169, 2007.

ZEPKA, L.Q.; JACOB-LOPES, E.; GOLDECK, R.; SOUSA-SOARES, L.A.; QUEIROZ, M.I. Nutritional evaluation of single-cell protein produced by *Aphanothecace microscopica* Nägeli. Bioresource Technology, v. 101, p. 7118 - 7122, 2010.

ZEPKA, L. Q. ; JACOB-LOPES, E. ; GOLDBECK, R. ; QUEIROZ, M. I. . Production and biochemical profile of the microalgae *Aphanothecace microscopica* Nägeli submitted to different drying conditions. Chemical Engineering and Processing, v. 47, p. 1305 - 1310, 2008.